UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ALBERTO SALVIO VASCONCELOS DE LYRA

Metodologia e ferramentas de projeto aplicadas à mecanização agrícola: ênfase nos pequenos fabricantes de máquinas e implementos agrícolas

São Carlos-SP
2023

ALBERTO SALVIO VASCONCELOS DE LYRA

Metodologia e ferramentas de projeto aplicadas à mecanização agrícola: ênfase nos pequenos fabricantes de máquinas e implementos agrícolas

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Área de concentração: Dinâmica e Mecatrônica.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Becker

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos
2023

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

V331m

Vasconcelos de Lyra, Alberto Salvio
Metodologia e ferramentas de projeto aplicadas à mecanização agrícola: ênfase nos pequenos fabricantes de máquinas e implementos agrícolas / Alberto Salvio Vasconcelos de Lyra; orientador Marcelo Becker. São Carlos, 2023.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Dinâmica e Mecatrônica -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2023.

1. Mecanização Agrícola. 2. Metodologia de Projeto. 3. Pequenos Fabricantes. 4. Colheita de palma forrageira. 5. Colheita de Opuntia ficus-inidica. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **ALBERTO SALVIO VASCONCELOS DE LYRA.**

Título da tese: "Metodologia e ferramentas de projeto aplicadas à mecanização agrícola: ênfase nos pequenos fabricantes de máquinas e implementos agrícolas"

Data da defesa: 08/02/2023.

Comissão Julgadora	**Resultado**
Prof. Associado **Marcelo Becker** **(Orientador)** (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC-USP)	APROVADO
Prof. Dr. **Ricardo Cezar Joaquim** (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo /IFSP)	APROVADO
Prof. Associado **Franco Giuseppe Dedini** (Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)	APROVADO
Dr. **Tadeu Vinhas Voltolini** (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária /EMBRAPA)	APROVADO
Prof. Associado **Rouverson Pereira da Silva** (Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP)	APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica:
Prof. Associado **Adriano Almeida Gonçalves Siqueira**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

Dedico este trabalho aos meus pais Feliciano e Eunice (em memória), aos meus sogros Pedro e Suzete. À minha esposa Susana Lyra que contribuiu de infinitas formas. Aos filhos Ramon e Pedro e noras Daiane e Iasmin. Ao meu professor e orientador Marcelo Backer.

AGRADECIMENTOS

A Santíssima Trindade, por ouvir e atender as nossas orações permitindo vencer todos os desafios encontrados ao longo do doutorado.

A Nossa Senhora das Graças, que atendendo as orações dos familiares e intercedendo à Jesus Cristo, este concedeu o milagre da cura da Covid, permitindo chegar a esse momento.

A minha esposa Susana Lyra, filhos Ramon e Pedro, noras Daiane e Iasmin, pelo apoio, confiança, motivações e destino de tudo que faço.

Ao meu orientador prof. Dr. Marcelo Becker, por todo apoio, compreensão, forma como soube conduzir o trabalho e a amizade construída ao longo desse período.

A professora Dra. Zilda de Castro Silveira pelas orientações e participação na qualificação e por todos os ensinamentos e contribuições nos trabalhos desenvolvidos no estudo de caso.

Aos amigos Henrique T. Idogava e Artur Valadares que o estudo de caso me ofereceu e no qual fizeram um trabalho brilhante.

Ao amigo e professor Ricardo Joaquim com participação completa em meu doutorado, desde a sugestão de participar e principalmente aceitando o convite de participar das bancas.

Aos professores da Pós-graduação da EESC com seus ensinamentos e exemplos de vida.

Aos amigos e professores do IFSP e companheiros da Pós na EESS Denis e Fernando Del Monte, não existe palavras para agradecer o tanto quanto fizeram por mim.

Ao amigo e professor Coelho e sua família, já lhe tenho como parente.

Ao amigo e professor Claiton, as suas vitórias pessoais ao longo de 2022, mantendo a fé em Deus, foram determinantes para me fortalecer e vencer os desafios finais do doutorado.

Aos professes e amigos Aldo, Elvio, Fabiano, Felipe, Mioralli, Palota, Elso, Lobato, através dos quais estendo os agradecimentos a todos os que fazem parte do IFSP Catanduva.

Ao IFPS pelo apoio a capacitação proporcionando todas as condições necessárias, incluindo o afastamento remunerado, para realização do doutorado.

Aos colegas e amigos da pós-graduação em Engenharia Mecânica da EESC/USP, em especial aos do LabRom – Grupo de Robótica Móvel.

A Iara e demais integrantes da Secretária e da pós-graduação, foram diversas ajudas imprescindíveis.

Aos funcionários da Biblioteca da EESC, em especial Eduardo Grazioli Silva, que em tempo hábil atendeu aos curtos prazos para sanar as dúvidas das referências bibliográficas e da ficha catalográfica.

Aos amigos Tadeu Voltolini e Alberto Suassuna, amizade construída nesse período.

A todos os meus familiares por acreditarem, incentivarem e apoiarem de diversas formas.

Ao Prof. Dian e a aluna Fernanda da UNIVASP pela realização dos ensaios da palma forrageira.

A CASALE, ao Mário Casale e o Adriano pela parceria no estudo de caso.

A EMPRAPII por proporcionar as condições de parceira do projeto com a CASALE.

A FUNAÇÃO DE APOIO À FÍSICA E À QUÍMICA – FAFQ pelas bolsas concedidas.

EPÍGRAFE

“Se você tem uma laranja e troca com outra pessoa que também tem uma laranja, cada um fica com uma laranja. Mas se você tem uma ideia e troca com outra pessoa que também tem uma ideia, cada um fica com duas”. Confúcio

RESUMO

LYRA, A. S. V. **Metodologia e ferramentas de projeto aplicadas à mecanização agrícola: ênfase nos pequenos fabricantes de máquinas e implementos agrícolas.** 2023. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

Existe uma necessidade crescente de soluções para o aumento da demanda relacionada a mecanização agrícola, que normalmente envolve o desenvolvimento de novas máquinas, implementos ou ferramentas agrícolas, ou ainda, melhorias nas já existentes, sendo importante que essas soluções sejam buscadas ou implementadas, pois apresentam grande importância para o agronegócio brasileiro, que entre outros resultados tornou o Brasil o quarto maior produtor mundial de alimentos. Além disso, existem os acordos internacionais relacionadas as mudanças climáticas, a sustentabilidade ambiental e as proteções ao trabalho humano nos quais a inovação na mecanização agrícola se torna indispensável para que sejam realizados. Neste sentido, a disponibilidade de metodologias e ferramentas de projeto ou modelos de referências para desenvolvimento de produtos, são fundamentais, pois contribuem para que os projetos de novos produtos ou melhorias necessárias nos existentes alcancem os objetivos previstos de uma forma mais assertiva. Entretanto, o volume e nível das informações, as exigências em estruturas, gestão de projetos e pessoas da forma como estão disponibilizados, dificultam o seu uso pelos pequenos fabricantes de máquinas e implementos agrícolas e tornam a mecanização agrícola dependente dos grandes e médios fabricantes. Sendo assim, visa-se propor uma metodologia e ferramentas de projeto aplicadas à mecanização agrícola que consigam se adequar melhor as limitações e características dos pequenas fabricantes de máquinas e implementos agrícolas. Para isso, foi realizado um referencial teórico com conceitos e definições relacionados aos principais temas abordados, seguido de: uma revisão bibliográfica sistemática acerca da metodologia de projeto e modelos de referência na área de mecanização agrícola; uma análise de um trabalho que contempla o desenvolvimento de uma máquina e um implemento agrícola e, um estudo de caso no qual se utiliza uma metodologia e algumas ferramentas de projeto aplicadas à uma demanda na mecanização agrícola. Como resultado foi definida a metodologia, sendo ela de sistematização de fases, formada pelas etapas: informacional, conceitual, preliminar e detalhada; contendo atividades, tarefas e ferramentas pré-determinadas, bem como o fluxo de realização e as precedências, quando existentes. A mesma é apresentada em forma de uma figura e de tabelas, com as definições e descrições necessárias ao seu entendimento, tornando compatíveis as características e limitações das pequenas empresas de máquinas e implementos agrícolas.

Palavras-chave: Mecanização Agrícola. Metodologia de Projeto. Pequenos Fabricantes. Colheita de palma forrageira. Colheita da Opuntia fícus-indica.

ABSTRACT

LYRA, A. S. V. **Methodology and design tools applied to agricultural mechanization: emphasis on small manufacturers of agricultural machinery and implements.** 2023. Thesis (Doctorate) - São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, 2023.

There is a growing need for solutions to the increased demand related to agricultural mechanization, which usually involves the development of new machines, implements or agricultural tools, or even improvements in existing ones, and it is important that these solutions are sought or implemented, as they present great importance for Brazilian agribusiness, which among other results made Brazil the fourth largest food producer in the world. In addition, there are international agreements related to climate change, environmental sustainability and human labor protections in which innovation in agricultural mechanization becomes indispensable for them to be carried out. In this sense, the availability of project methodologies and tools or reference models for product development, are fundamental, as they contribute to the projects of new products or necessary improvements in existing ones to reach the foreseen objectives in a more assertive way. However, the volume and level of information, the demands on structures, project management and people as they are made available, make their use difficult for small manufacturers of agricultural machinery and implements and make agricultural mechanization dependent on large and medium-sized manufacturers. Therefore, the aim is to propose a methodology and design tools applied to agricultural mechanization that can better adapt to the limitations and characteristics of small manufacturers of agricultural machinery and implements. For this, a theoretical framework was carried out with concepts and definitions related to the main topics addressed, followed by: a systematic bibliographical review about the design methodology and reference models in the area of agricultural mechanization; an analysis of a work that contemplates the development of a machine and an agricultural implement and, a case study in which a methodology and some design tools are used applied to a demand in agricultural mechanization. As a result, the methodology was defined, being that of systematization of phases, formed by the steps: informational, conceptual, preliminary and detailed; containing predetermined activities, tasks and tools, as well as the execution flow and precedence, when existing. It is presented in the form of a figure and tables, with the definitions and descriptions necessary for its understanding, making the characteristics and limitations of small companies of agricultural machines and implements compatible.

Keywords: Agricultural Mechanization. Project methodology. Small Manufacturers. Forage palm harvest. Harvest of Opuntia ficus-indica.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Produção e Exportações Brasileiras no Ranking Mundial em 2020 27
Figura 2 – Valor Bruto da Produção no Brasil em 2020 e 2021 (em R$ bilhões) 27
Figura 3 – Página de abertura do Site da John Deere 34
Figura 4 – ABIMAQ em números ano 2021 38
Figura 5 – Macro Setor da Agropecuária da ABIMAQ 39
Figura 6 – Acesso as empresas Associadas da CSMIA 39
Figura 7 – Fases do desenvolvimento de produtos 47
Figura 8 – Organograma do estudo de viabilidade geral 48
Figura 9 – Quadro morfológico para a órtese com duas possíveis soluções 49
Figura 10 – Organograma do projeto preliminar de caráter geral 50
Figura 11 – Organograma do projeto detalhado de caráter geral 51
Figura 12 – Interação entre as áreas e a gerência no método integrado 53
Figura 13 – Macrofases, fases e saídas 55
Figura 14 – Elementos da estrutura do modelo de referência para o PDMA 55
Figura 15 – MP de projeto para a segurança: Fases informacional e conceitual do projeto 57
Figura 16 – Representação esquemática do RBS *Roadmap* 60
Figura 17 – Desenho esquemático da fase de Processamento do RBS *Roadmap* 60
Figura 18 – Fluxograma da primeira fase da metodologia 64
Figura 19 – Projeto 3D carreta agrícola 66
Figura 20 – Análises estruturais realizadas pelo Método de elementos finitos: (A) análise do guincho; (B) análise do chassi 67
Figura 21 – (a) Reservatório de braços articulados. Braços articulados (b) do giro, (c) levantamento, e (d) extensão 69
Figura 22 – Esquema de (a) cilindro da colhedora envolto pela tampa protetora, (b) colhedora completa (Variante 19), (c) mecanismo de colheita, e (d) colhedora (Variante 20) 70
Figura 23 – Horizontal (a) maximum and (b) minimum distances. (c) Maximum vertical reach of the detachment mechanism 70
Figura 24 – Estrutura de funções para a plataforma de corte e sistema de condução 71
Figura 25 – Protótipo da fatiadora de cactácea 72
Figura 26 – Fluxograma de desenvolvimento nas duas primeiras fases 75
Figura 27 – Produção de palma nos municípios do semiárido [toneladas].....78
Figura 28 – Número de bovinos nos municípios do semiárido 79
Figura 29 – Número de tratores nos municípios do semiárido 80

Figura 30 – Cultivares de Palma Forrageira do Nordeste do Brasil 82
Figura 31 – Imagem da altura de corte da palma forrageira 83
Figura 32 – Corte do caule vegetal mostrando diferentes tecidos 84
Figura 33 – Análise em microscópio confocal em amostras de palma forrageira 84
Figura 34 – Corte manual de palma forrageira 85
Figura 35 – Diagrama MEI para a colheita de Palma 92
Figura 36 – Quadro morfológico com três soluções definidas 93
Figura 37 – Croquis das Soluções 1 e 2 95
Figura 38 – Croqui da Solução 3 95
Figura 39 – Consumo e Produção per capita de leite no Brasil de 1990 a 2019 96
Figura 40 – Distribuição das Microrregiões de acordo a produção de leite por área na região Nordeste em 2017 97
Figura 41 – Exemplos de cálculo do custo de hora-máquina em fazendas hortifrutícolas 98
Figura 42 – Cronograma de atividades 103
Figura 43 – Modelo genérico de barra de corte proposta como a Opção 1 104
Figura 44 – Modelo de sistema de corte por discos com lâminas e transmissão por correias, proposta como a Opção 2 105
Figura 45 – Tempo de colheita manual normalizado para 1 hora 106
Figura 46 – Transporte de palma em carroça de burro na Fazenda Santa Maria (Itaíba-PE) .106
Figura 47 – Colocação da palma em um misturador vertical – Fazenda Carnaúba 107
Figura 48 – Palma processada colocada diretamente no coxo – Fazenda Carnaúba 108
Figura 49 – Dimensões da palma Orelha de Elefante Mexicana com determinação do intervalo de corte 109
Figura 50 – Morfologia da planta relativa ao porte 110
Figura 51 – Cortadoras rotativas do tipo disco (b) ou tambor (c) 112
Figura 52 – Análise da ação (cicloidal) de corte da lâmina em uma cortadora rotativa 112
Figura 53 – Sistema de chapas e engrenagens da barra de corte SwiftCUT da empresa SaMASZ 113
Figura 54 – Barra de corte SwifcCUT 160 113
Figura 55 – Barra de corte disponível na empresa Casale 114
Figura 56 – Lâminas 115
Figura 57 – Desenho esquemático (2D) da opção 2, com transmissão por polias/correias em V 115
Figura 58 – Desenho esquemático (3D) da montagem das polias, eixos e discos 115
Figura 59 – Força cortante atuante em um dos eixos 116

Figura 60 – Momento fletor atuante em um dos eixos 117
Figura 61 – Identificação dos itens do Sistema de Corte da Opção 1 121
Figura 62 – Avaliação dos itens do Sistema de Corte da Opção 1 121
Figura 63 – Identificação dos itens do Sistema de Corte da Opção 2 122
Figura 64 – Avaliação dos itens do Sistema de Corte da Opção 2 122
Figura 65 – Metodologia de projeto proposta 125
Figura 66 – Estrutura do SDP-MA 147
Figura 67 – Apresentação do SDP-MA em Diretórios 148
Figura 68 – Modelo de referência proposto para as empresas moageiras 149
Figura 69 – Definição dos objetivos e atividades para cada fase 150
Figura 70 – Entradas, saídas e ferramentas de apoio para as atividades do modelo 151
Figura 71 – *General vision of the marketing model in the pre-development and development of agricultural machines* 151
Figura 72 – Modelo de PDP para cerâmica (Fases) 153
Figura 73 – Modelo detalhado do PDP para cerâmica (Fases e Atividades) 154
Figura 74 – Visão macro proposta final 155
Figura 75 – Proposta final de pré-desenvolvimento 155
Figura 76 – Representação gráfica do Modelo de Referência para o PGPA/Mec 157
Figura 77 – Representação descritiva do Modelo de Referência do PGPA/Mec – Fase físico ambiental 158
Figura 78 – Fluxograma para o desenvolvimento da fundamentação teórica 159
Figura 79 – Representação gráfica do modelo de monetização de valor 159
Figura 80 – Gráfico para determinação do perfil da correia 172
Figura 81 – Fator de correção K1 174
Figura 82 – Fator de correção K2 174
Figura 83 – Forças atuantes na correia 174
Figura 84 – Esquema das forças (radiais e tangenciais) atuantes nas polias 176
Figura 85 – Desenho esquemático do eixo com as seções de verificação 177
Figura 86 – Recorte da aba Pré-dimensionamento na planilha de cálculos 178
Figura 87 – Recorte da aba “Fadiga torção pura” na planilha de cálculos 178
Figura 88 – Recorte da aba “Fadiga padrão” na planilha de cálculos 179
Figura 89 – Recorte da planilha de dimensionamento das uniões eixo-cubo (chavetas) 179
Figura 90 – Recorte da planilha de dimensionamento e seleção dos rolamentos 180
Figura 91 – Identificação dos componentes para os Sistemas de Elevação e Descarregamento.. 181

Figura 92 – Avaliação dos componentes para os Sistemas de Elevação e Descarregamento 182
Figura 93 – Identificação dos componentes da Estrutura (Carenagem) e dos Sistemas de Deslocamento e Armazenamento (Distribuição) 183
Figura 94 – Avaliação dos componentes da Estrutura (Carenagem) e dos Sistemas de Deslocamento e Armazenamento (Distribuição) 183

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Balança comercial: total e agronegócio (2020 e 2021) 28

Tabela 2 – Número total de pessoas ocupadas no agronegócio 28

Tabela 3 – Dados das empresas visitadas nos seus sítios através do portal da CSMIA 40

Tabela 4 – Síntese dos resultados das RBS 62

Tabela 5 - Variantes que obtiveram um valor adicional às pontuações, com classificações superiores a 4,0 pontos 69

Tabela 6 – Análise dimensional da Palma Gigante e Miúda 83

Tabela 7 – Principais resultados do Ensaio de Compressão 86

Tabela 8 – Principais resultados do Ensaio Charpy 87

Tabela 9 – Solução 1 - FMEA (Análise de modo e efeito de falhas) 94

Tabela 10 – Produtividade de leite por vaca ordenhada (litros/vaca/ano) na região Nordeste e nas suas unidades da Federação – 2011 e 2017, em litro 96

Tabela 11 – Demanda para o sistema de colheita mecanizada de palma forrageira 97

Tabela 12 – Levantamento de custos das operações de colheita manual da palma 98

Tabela 13 – Principais cálculos para estimar custo operacional do sistema proposto 99

Tabela 14 – Quantidade de rebanho necessária para bancar investimento 99

Tabela 15 – Cálculo com cenário: demanda, preço previsto e custo de fabricação 100

Tabela 16 – Demais colunas estimadas e calculadas automaticamente para o cálculo com cenário 101

Tabela 17 – Resultados da viabilidade econômica do cenário 101

Tabela 18 – Resumo dos parâmetros de produção de palma forrageira Gigante, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana 105

Tabela 19 – Tabela de Pré-Escopo 107

Tabela 20 – Planilha de Sistemas e Componentes para a Opção 1 118

Tabela 21 – Planilha de Sistemas e Componentes para a Opção 2 119

Tabela 22 – Planilha da fase informacional 126

Tabela 23 – Planilha da fase conceitual 128

Tabela 24 – Planilha da fase preliminar 130

Tabela 25 – Planilha da fase detalhada 131

Tabela 26 – Síntese das respostas ao questionário 2 144

Tabela 27 – *Summary of the reference model for the marketing in the Pre-Development and8comparison with the activities with participation of the marketing domain (ROMANO, 2003)* 152

Tabela 28 – Proposta final de pré-desenvolvimento 156

Tabela 29 – Fases marcos e atividades 156
Tabela 30 – Fator de serviço conforme a condição de trabalho 171
Tabela 31 – Fatores de correção Kb e Kc 175

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese de evolução do setor de máquinas e agrícolas 36
Quadro 2 – Ano, autor, publicação e país, relacionadas a MP 43
Quadro 3 – Teses de doutorado dos grupos de pesquisa UFSC e USP 45
Quadro 4 – Síntese de MP ou de PDP 52
Quadro 5 – Participação das áreas da empresa nas fases do projeto com Método Integrado 53
Quadro 6 – Resumo das fases 63
Quadro 7 – Lista de requisitos 65
Quadro 8 – Lista de concepções 66
Quadro 9 – Lista de requisitos 2 68
Quadro 10 – Matriz de subfunções e soluções para as funções 68
Quadro 11 – Levantamento de equipamentos com princípio de colheita 89
Quadro 12 – Benchmark de princípios construtivos nos produtos Casale 90
Quadro 13 – Princípios e embodiments mais votados 91
Quadro 14 – Lista com exemplos de algumas das ferramentas fase conceitual 130
Quadro 15 – Representação do modelo de referência para o MOVA-MA 160
Quadro 16 – Relação entre macrofases e fases para o MOVA-MA 160

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMAQ	Associação Brasileira da Industria de Máquinas e Equipamentos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	*American Society for Testing and Materials*
BDTD	Biblioteca Digital de Tese e Dissertações
CAD	*Computer Aided Desing*
CAE	*Computer Aided Engineering*
CAPES	Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CSEAG	Câmera Setorial de Equipamentos para Armazenagem
CSEI	Câmera Setorial de Equipamentos de Irrigação
CSMIA	Câmera Setorial de Máquinas e Implementos Agrícolas
CSGF	Câmera Setorial de Equipamentos Motorizados para Manutenção de Grama e Jardim e Máquinas Portáteis para Manejo Florestal
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMBRAPII	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FMEA	*Failure Mode and Effect Anlysis*
	(Análise de modos e efeitos de falha)
ha	hectare
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFSP	Instituto Federal de São Paulo
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
MIA	Máquinas e Implementos Agrícolas
MA	Mecanização agrícola
MP	Metodologia de Projeto
NBR	Norma Brasileira
PDP	Processo de desenvolvimento de produto
PDMA	Processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas
PIB	Produto Interno Bruto
QFD	*Quality Function Deployment*

RBS	Revisão bibliográfica sistemática
RPN	*Risk Priority Number*
SINDIMAQ	Sindicato Nacional da Indústria de Máquinas
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNIVASF	Universidade Federal do Vale do São Francisco
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 27
1.1 Objetivos 30
1.2 Motivação 30
1.3 Organização do trabalho 31
2 REFERENCIAL TEÓRICO 33
2.1 Mecanização Agrícola 33
2.1.1 Conceitos 33
2.1.2 Industrias e mercado de máquinas e implementos agrícolas 35
2.2 Metodologia e ferramentas de projeto 42
2.3 Metodologia e ferramentas de projeto para máquinas agrícolas 54
3 METODOLOGIA E MATERIAIS 59
3.1 Revisão Bibliográfica Sistemática 59
3.1.1 Modelo de referência 59
3.1.2 Execução da RBS 61
3.2 Tese de Fernandes (2018) 71
3.3 Metodologia e ferramentas de projeto aplicados à mecanização agrícola desenvolvido em um estudo de caso envolvendo a colheita da palma forrageira 73
3.3.1 Análise de Viabilidade de Desenvolvimento de Sistema Automatizado para Colheita de Palma Forrageira 73
3.3.2 Desenvolvimento do protótipo de um implemento agrícola para o corte e colheita de palma forrageira. 102
4 PROPOSTA DE METODOLOGIA E FERRAMENTAS DE PROJETO 125
5 CONCLUSÕES 133
REFERÊNCIAS 135
APÊNDICE A – Pesquisa em pequenas fabricantes 143
APÊNDICE B – *Strings* usadas nas bases de dados 145
APÊNDICE C – Relatório síntese da RBS 147
APÊNDICE D – Cronograma da fase 1 do Estudo de Caso item 3.2.1 161
APÊNDICE E – Questionário aplicado para fase informacional 163
APÊNDICE F – Questionário aplicado para fase conceitual 165
APÊNDICE G – Variáveis e equações utilizadas nos cálculos de corte 169
APÊNDICE H – Resumo de cálculos das correias 171
APÊNDICE I – Dimensionamento dos eixos 177
APÊNDICE J – FMEA dos demais sistemas 181
ANEXO A – Sites de Empresas 185

ANEXO B – Cursos de Pós-Graduação em Gestão de Projetos 189
ANEXO C – Primeiras páginas dos Contratos do projeto descrito no item 3.3..... 191
ANEXO D – Resumo de Patentes de colhedora de palma forrageira 193

1 INTRODUÇÃO

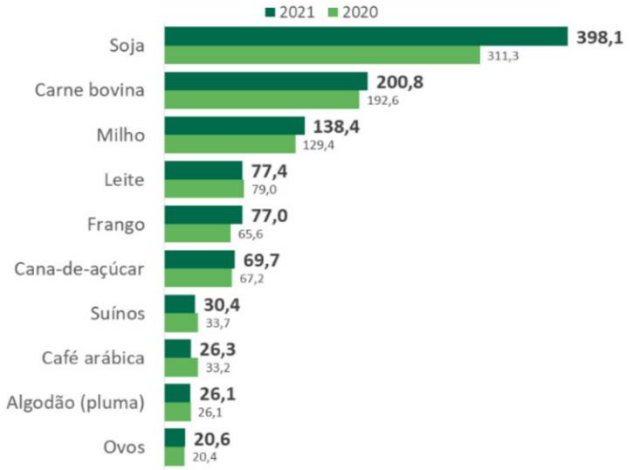
O agronegócio brasileiro fez com que o Brasil se consolide como uma das potências agrícolas do mundo e ocupe ao final de 2020 a posição de quarto maior exportador mundial de produtos agropecuários, o maior produtor mundial em soja, café, suco de laranja e açúcar, como pode ser visto na Figura 1 (CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL, 2022).

Figura 1 – Produção e Exportações Brasileiras no Ranking Mundial em 2020

Fonte: Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (2022).

Os valores brutos da produção para os principais produtos do agronegócio brasileiro para os anos 2020 e 2021 podem ser visualizados na Figura 2. No ano 2021 se atingiu o valor de R$ 1,20 trilhão, do qual R$ 792,0 bilhões na produção agrícola e R$ 406,3 bilhões no segmento pecuário, com um incremento de 8,6% em relação a 2020 (CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL, 2022).

Figura 2 – Valor Bruto da Produção no Brasil em 2020 e 2021 (em R$ bilhões)



Fonte: Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (2022).

Uma outra visão da importância do agronegócio para o Brasil pode ser vista por meio da balança comercial ou do mercado de trabalho, apresentados nas Tabela 1 e 2 a seguir.

Tabela 1 – Balança comercial: total e agronegócio (2020 e 2021)

Setores	Exportações			Importações			Saldo (US$ bilhoões)	
	2020 (US$ bilhoões)	2021 (US$ bilhoões)	Variação (%)	2020 (US$ bilhoões)	2021 (US$ bilhoões)	Variação (%)	2020	2021
Agronegócio	100,7	120,6	19,7	13,1	15,5	18,9	87,6	105,1
Demais Setores	108,5	160,0	47,5	145,7	203,9	39,9	-37,3	-43,8
Total	209,2	280,6	34,2	159,8	219,4	38,2	50,4	61,2
Participação do agronegócio (%)	48,1	43,0	-	8,2	7,1	-	-	-

Fonte: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2022).

Tabela 2 – Número total de pessoas ocupadas no agronegócio

Segmentos	2021	2022	
	3º trimestre	2º trimestre	3º trimestre
Insumos	241.531	258.141	251.849
Primário	8.818.727	8.481.173	8.408.123
Indústria	3.956.049	4.084.313	4.065.795
Serviços	5.884.373	6.262.585	6.345.715
Agronegócio	18.900.680	19.086.212	19.071.482
Brasil	92.976.446	98.268.822	99.269.187
Agro Br/ Brasil Toal	20,33%	19,42%	19,21%

Fonte: Centro de estudos avançados em economia aplicada (2022a).

Verifica-se na Tabela 1 que o agronegócio foi responsável por 43% das exportações em 2021, além de gerar um saldo positivo de 105,1 bilhões de dólares, que amortiza o balanço negativo de 43,8 bilhões de dólares dos demais setores e gera um superavit comercial de 61,2 bilhões de dólares no ano.

Em relação ao mercado de trabalho, observa-se na Tabela 2 um total de pessoas ocupadas no agronegócio no 3º trimestre de 2022 de 19,071 milhões de pessoas, que representa uma quantidade muito significativa de pessoas em termos percentuais em relação ao total, um valor de 19,21%. As variações nos valores são pequenas em relação aos demais trimestres apresentados. Também é possível analisar a ocupação por seguimento, como é o caso do setor primário, que possui o maior número de pessoas ocupadas com 8,408 milhões de pessoas. Na tabela original os valores para o Agro Br/ Brasil Total eram de 20,55% para o 3º Trimestre de 2021, 20,41% para o 2º Trimestre de 2022 e 20,33% para 3º trimestre de 2022, quando na realidade os valores corretos são os que aparecem na tabela, ou seja, 20,33%, 19,42% e 19,21%, respectivamente.

Estes resultados obtidos pelo agronegócio brasileiro, tanto na produção agrícola, como no segmento da pecuária, só são possíveis pelo crescimento e avanços da mecanização agrícola. Lembrando que ela possibilita a produção em alta escala, o aumento de produtividade, a

pontualidade das operações agrícolas, a redução de custos e do trabalho humano penoso e, melhora a qualidade de vida do homem que trabalha no campo (FRANCISCO, 2022; TATSCH, 2015; TOLEDO; SIMÕES, 2010).

O crescimento e avanços da mecanização agrícola acompanham a história e a evolução da indústria de máquinas e implementos agrícolas (MIA) e o mercado a ela relacionado, que assim como em todas as áreas da atualidade, iniciam suas transformações com o desenvolvimento científico e tecnológico ocorrido à partir da revolução industrial. Nos últimos 60 anos as transformações se intensificaram e na atualidade existem industrias de pequeno, médio e grande porte que oferecem ao mercado de mecanização agrícola as mais variadas soluções em máquinas, implementos e ferramentas agrícolas. (BARICELO, 2015; SILVA, 2015).

O porte dessas indústrias tem forte influência na capacidade de desenvolvimento de novos produtos ou mesmo da realização de projetos de atualização e melhorias e, que apresenta uma maior capacidade, quanto maior é o porte da mesma (LUCENTE, 2010). Isto também é válido para o acesso aos conhecimentos científicos, tecnológicos e de engenharia, que são maiores conforme cresce a capacidade financeira e de recursos humanos das empresas. Fato este que vale também para o uso de metodologias de projeto (MP).

Por meio de Dedini (2018) pode ser visto como a MP evoluiu significativamente nas últimas décadas e, que ela permite encontrar soluções de engenharia otimizadas, viáveis economicamente e que atendam aos requisitos de todos os elementos da cadeia produtiva, entre eles: cliente, fornecedor e sociedade. As principais vantagens da utilização de uma MP são: sistematização na busca de soluções, uso de métodos científicos em projetos, redução de custos, reutilização para futuros aperfeiçoamentos, identificação de falhas e estimativa de durabilidade.

Ao longo dos últimos 20 anos se intensificaram os estudos e disponibilidade também no Brasil de MP ou Modelos de Referência para Desenvolvimento de Produto, entre eles o de Romano (2003) que é um dos pioneiros para máquinas agrícolas. Entretanto, observações prévias, o estudo de Toledo e Simões (2010) sobre gestão do desenvolvimento de produto em empresas de pequeno e médio porte do setor de MIA do Estado de SP e a aplicação recente de um questionário em quatro fabricantes com esse perfil (ver APÊNDICE A) mostra que, por suas características, entre elas um quadro reduzido de profissionais dedicados a projetos, ainda não fazem uso ou mesmo conhecem esses estudos.

Com isso a atuação dos pequenos fabricantes fica comprometida na sua capacidade de criar novos produtos ou de realizar inovações, melhorias e adequações aos produtos já existentes, principalmente, para atender às exigências e pressões relacionadas ao meio

ambiente, sustentabilidade e condições de trabalho do homem do campo. Vale ressaltar que eles têm um papel fundamental no desenvolvimento da mecanização agrícola nas atividades com menores volumes de produção ou menos atrativas comercialmente, mas que também contribuem com os bons resultados no agronegócio brasileiro. Desta forma, propor uma metodologia e ferramentas de projeto aplicada à mecanização agrícola e acessível aos pequenos fabricantes se torna extremamente relevante.

1.1 Objetivos

O presente trabalho, inserido na área de dinâmica e mecatrônica, tem como **objetivo geral** propor uma metodologia e ferramentas de projeto aplicada à mecanização agrícola.

Assim, ficam estabelecidos os seguintes **objetivos específicos**:

a) Realizar o embasamento teórico, incluindo uma revisão bibliográfica sistemática (RBS) acerca da metodologia e ferramentas de projeto aplicada à mecanização agrícola;
b) Analisar os casos mais relevantes encontrados e com maior contribuição para o que se propõe nesse trabalho;
c) Apresentar a aplicação de uma metodologia e ferramentas de projeto utilizadas em um estudo de caso que embasa a proposta desta tese;
d) Simplificar o entendimento das metodologias para adequar as características dos pequenos fabricantes;
e) Definir e descrever a proposta de uma metodologia e ferramentas de projetos simplificada aplicadas à mecanização agrícola.

1.2 Motivação

Com a consolidação da importância e diversidade do agronegócio para o Brasil, torna necessário o desenvolvimento e aperfeiçoamento continuo da mecanização agrícola, de tal forma que se consiga elevar cada vez mais o ganho competitivo desse segmento em relação aos competidores externos e atender as demandas crescentes por alimento. A evolução da engenharia de desenvolvimento de produtos em conjunto com metodologias e ferramentas de projeto permitem o aumento da capacidade de encontrar soluções aplicadas à mecanização agrícola, bem como o aumento da eficácia das soluções. Entretanto, só as grandes empresas e uma parte das médias empresas fazem uso efetivo do que se encontra disponível em relação as metodologias e ferramentas de projeto. O elevado nível e quantidade de informações

disponíveis, que requerem setores específicos, pessoas altamente qualificadas, grupos multidisciplinares, entre outros aspectos, geram uma realidade na qual a maioria das médias empresas e quase a totalidade das pequenas empresas não conhecem e não fazem uso desse conhecimento. Estabelecer uma metodologia e as ferramentas de projeto compatíveis com a realidade dessas empresas torna-se extremamente relevante para que as mesmas permaneçam ou até aumentem sua competitividade no mercado, bem como, encontrar soluções para problemas que por questões de viabilidade de mercado não são atrativos para as grandes empresas.

1.3 Organização do trabalho

O presente capítulo realiza a contextualização do trabalho com os aspectos mais relevantes do agronegócio brasileiro, no qual está inserido a mecanização agrícola, bem como da importância que as metodologias e ferramentas de projeto possuem na engenharia de desenvolvimento de produtos. Definir os objetivos gerais e específicos, motivado pela possibilidade de contribuir efetivamente com à mecanização agrícola, por meio do aumento de competitividade dos pequenas fabricantes de MIA.

O texto segue no capítulo 2 com o referencial teórico sobre mecanização agrícola e apresenta os principais conceitos, sua evolução e momento atual. Segue para a MP com seu histórico, autores, conceitos e aplicações. Finaliza com o estudo das metodologias de projeto propostas para máquinas agrícolas.

No capítulo 3 são abordadas as metodologias e os materiais empregados no desenvolvimento deste trabalho, por meio de uma revisão bibliográfica sistemática (RBS), da análise de uma tese correlacionada com o que se propõe nesse trabalho e, por último, um estudo de caso no qual se aplicou uma metodologia e ferramentas de projeto no estudo da colheita de palma forrageira. O capítulo 4 apresenta a proposta da metodologia e ferramentas aplicada à MA. No capítulo 5 encontra-se a conclusão e sugestões de trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, são apresentados os conceitos e definições que permitem a compreensão e delimitação dos principais temas abordados nesse trabalho. Inicia-se pela MA, passa para a metodologia e ferramentas de projeto e finaliza pelas metodologias propostas para máquinas agrícolas.

2.1 Mecanização Agrícola

2.1.1 Conceitos

A MA é a realização de operações agrícolas por meio da utilização racional de máquinas e implementos (FRANCISCO, 2022). As operações agrícolas acompanham a humanidade desde que esta mudou de caça e coleta para sociedades agrárias, fixando em um local e cultivando alimentos (SRIVASTAVA et al., 2006).

Como conceito para máquinas e implementos segue os apresentados por Biulchi (2016): máquinas agrícolas "são aquelas que são projetadas especificamente para realizar integralmente ou coadjuvar à execução da operação agrícola" e implemento agrícola como sendo "o implemento ou sistema mecânico, com movimento próprio ou induzido, em sua forma mais simples, cujos órgãos componentes não apresentam movimentos relativos". Ele também define ferramenta agrícola "como o implemento em sua forma mais simples, o qual entra em contato direto com o material trabalhado, acionado por uma fonte de potência qualquer".

Por utilização racional na abordagem de Francisco (2022, p. 10) entende-se:

> *o emprego de um conjunto ou sistema de máquinas, inclusive as de tração animal e as ferramentas operadas manualmente, de forma técnica e economicamente organizada, na execução das tarefas agrícolas, visando obter o máximo de rendimento útil com um mínimo de dispêndio de energia, tempo e dinheiro.*

As tarefas ou operações agrícolas são as intervenções humanas necessárias à agricultura, que consistem em conduzir o desenvolvimento das plantas em todos os seus estágios: preparo de solo, plantio, tratos culturais e colheita (SRIVASTAVA et al, 2006). Elas precisam ser realizadas por etapas cronologicamente distintas, em virtude da dependência da periodicidade das condições climáticas e das fases de desenvolvimento das plantas e animais (FRANCISCO, 2022). Francisco (2022, p. 11) também apresenta a terminologia da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que define operação agrícola como "toda atividade direta e permanentemente relacionada com a execução do trabalho de produção agropecuária".

Essas operações listadas por Francisco (2022, p. 11) são:

- *Preparo do solo, inicial e/ou periódico;*
- *Semeadora, plantio e transplantio;*
- *Aplicação de fertilizantes e de corretivos;*
- *Cultivo e irrigação;*
- *Aplicação de defensivos;*
- *Colheita, carregamento e transporte;*
- *Secagem e beneficiamento; e*
- *Armazenamento e conservação.*

Para exemplificar o conceito de operações agrícolas, é ilustrada na Figura 3 imagens com máquinas e implementos atuais, extraída da página de abertura do site da John Deere, que é um dos maiores fabricantes de MIA a nível mundial. Nela está ilustrado o preparo de solo com um trator tracionando uma grade, o plantio com um trator e uma semeadora de fluxo continuo, o trato cultural com um pulverizador autopropelido e a colheita, por meio de uma colhedora de grãos (fotos da esquerda para direita).

Figura 3 – Página de abertura do Site da John Deere

Fonte: John Deere (2022).

A MA é motivada por diversos fatores como apresentado em Srivastava et al. (2006, tradução nossa): “reduzir o trabalho humano penoso, aumentando a produtividade, melhorando a pontualidade das operações agrícolas, como plantar e colher e, reduzir as demandas de trabalho de pico.” Pode-se também reforçar esses fatores com a afirmação de Francisco (2022, p. 11) que diz “É um sistema de organização econômica que deve provocar o acréscimo do bem-estar social pelo abaixamento dos preços, pelo aumento da quantidade e pelo melhoramento da qualidade dos produtos.”

Os fatores acima listados sempre estiveram presentes em maior ou menor intensidade, ao longo da história humana, mas assim como ocorreu em diversas áreas, a MA muda de forma definitiva com a revolução industrial. Esta proporcionou mudanças e desenvolvimento sem precedentes nas máquinas agrícolas, implementos e ferramentas. Bem como, nas relações de trabalho, na dinâmica das populações migrando do campo para cidade para o desenvolvimento

de atividades industrias, no aumento do consumo de alimentos por uma população que já não mais a produzia, entre outros (ADAMS, 2007, SRIVASTAVA et al., 2006).

Para Abboud (2013, p. 542) quatro avanços que marcam tecnicamente as mudanças que iniciaram na revolução industrial na MA são:

> - *a invenção das primeiras máquinas a vapor; a partir do século XVIII, possibilitando um grande aumento da área mecanizada;*
> - *a concepção do primeiro motor de combustão interna, no ano de 1862, pelo pesquisador Alphons Beau de Rochas, apenas executada em 1872, por Nicholas Otto;*
> - *a construção de outro tipo de motor – o motor de ciclo Diesel – em 1893, por Rudolph Diesel;*
> - *a construção, após a Segunda Guerra Mundial, de novas máquinas e equipamentos mais eficientes, a partir de estudos de compactação do solo realizados para fins militares.*

2.1.2 Industrias e mercado de máquinas e implementos agrícolas

No estudo de Silva (2015), sobre a indústria de máquinas agrícolas, é possível compreender como os avanços descritos no item anterior contribuíram na transformação de pequenas oficinas de ferreiros e carpinteiros em grandes indústrias de máquinas agrícolas. Essas grandes empresas estão em processo constante de transformação por meio de fusões e aquisições e acabam se tornando em oligopólios internacionalizados.

Essa transformação do mercado de máquinas agrícolas também pode ser compreendida em Baricelo (2015). Ele fez um estudo sobre a evolução da indústria de máquinas agrícolas, considerando os casos norte-americano e brasileiro. Desta forma compreende-se os fatores industriais e de política agrícola que influenciam tanto na indústria, como no mercado de máquinas agrícolas. Um dos resultados encontrados é que a evolução foi diferenciada, no caso norte-americano, um desenvolvimento mais independente do apoio do estado e no caso brasileiro, mais dependente da intervenção estatal, tanto por meios de incentivos para a criação da indústria, quanto por meio de crédito subsidiado que fomentou as vendas, além de necessidade de desenvolvimento de uma agricultura tropical.

Verifica-se então, tanto em Baricelo (2015) como Silva (2015) que a evolução da indústria de máquinas agrícolas e, consequente do mercado a ela relacionado, são fortemente influenciados por aspectos: econômicos; políticos; tamanho e capacidade das empresas; evoluções e disponibilidade de tecnologias; mudanças nas operações agrícolas pelos avanços específicos da agricultura pós segunda guerra e, mais recentemente, pelas pressões ambientais e de sustentabilidade. Aliado a isso sempre houve a necessidade de pessoas e/ou empresas com a capacidade de empreender, inventar, inovar e produzir as máquinas e implementos.

Uma síntese da evolução do setor de máquinas agrícolas, no qual apresenta a estrutura de mercado, estratégia das empresas em novos produtos, competição, linhas de produtos, papel do estado, crescimento do mercado e distribuição geográfica das empresas, foram reunidas por Machado (2018) e podem ser vistos no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Síntese de evolução do setor de máquinas e agrícolas

(continua)

Tópicos	**Períodos**		
	1892 a 1945	*1946 a 1990*	*1991 a 2009*
Estrutura de mercado	- Mercado concorrencial. - Muitas empresas pequenas competindo. - Ausência de barreiras à entrada de produtos (processo de montagem descontínuo e inventores empreendedores que criavam e vendiam seus produtos). - Empresas esparsas. - Consumidores locais.	- Oligopólio diferenciado. - Mercado cada vez mais globalizado. - Tendência à conglomeração das empresas. - Rearranjo no número de empresas atuantes no mercado. - Aparecimentos de Comitês e Associações encarregadas por sugerir especificações formais para o produto.	- Oligopólio diferenciado. - Forte conglomeração das empresas por meio de fusões e aquisições das grandes marcas por pequenas empresas. - Domínio de grandes empresas no mercado (John Deere, CNH e AGCO). - Crescimento do mercado de peças e equipamentos.
Estratégia das empresas em novos produtos	- Inovações disrruptivas. - *Learning by Doing* (experiência proveniente do fazer pelo produto dos produtores) - *Learning by Using* (experiência proveniente do uso do produto pelos produtores). - Máquinas sem padrão.	- Inovações não radicais. - Forte tendência a "estandartização" a partir dos anos de 1950. - Perda no dinamismo tecnológico. - Sistematização pelas empresas do *Learning by Doing*. - Sistematização pelas empresas do *Learning by Using* - Processo de padronização das máquinas agrícolas.	- Foco na automação das máquinas e equipamentos agrícolas. - Maior potência dos tratores e colhedoras. - Equipamentos de alta tecnologia (máquinas controladas por GPS). - Desenvolvimento de máquinas e equipamentos que atendem às especificidades de diferentes regiões.
Competição	- Mercado regionalizado, restrito à área onde os construtores de máquinas atuavam. - Após o desenvolvimento do sistema de transporte, começou a expandir a comercialização dos produtos - Comercialização focada no fornecimento de equipamentos que facilitasse a vida do produtor	- As empresas direcionaram seu foco para a competição na vida útil dos equipamentos e no desempenho. - Foco na distribuição geográfica dos produtos para atingir a liderança em vendas. - Produtos padronizados - Criação de *Full-line* para o agricultor ficar cada vez mais dependentes dos produtos e serviços das empresas	- Desenvolvimento de máquinas e equipamentos que atendem as especificidades regionais. - Criação de bancos pelas empresas para atender os agricultores. - Criação de novas linhas de serviços. - Inserção no mercado de construção civil, mineração, entre outros.

(conclusão)

Tópicos	Períodos		
	1892 a 1945	*1946 a 1990*	*1991 a 2009*
Linha de produtos	- Máquinas de descaroçar algodão, semeadeiras. - Utensílios agrícolas. - Arado de ferro forjado, adaptáveis ao solo de pradaria. - Ceifadeiras e enfardadeiras por meio de tração animal. - Tratores sem padrão tecnológico, motor de baixa potência e difícil mobilidade. - Colhedoras movidas à vapor. - 1º trator movido à gasolina.	- Tratores com mais segurança para o operador e maior potência. - Colhedoras com maior produtividade e com sistema tecnológico mais complexo. - Implementos Agrícolas (início do "full-line").	- Tratores e Colhedoras munidas de alta tecnologia. - Implementação de alta tecnologia nos equipamentos já existentes. - Sistemas de gestão de água monitorado via satélite.
Papel do Estado	inovação por meio de contratação de técnicos da área de mecânica para o desenvolvimento dos equipamentos. - *Homestead Act*, que transferia a terra do estado para os civis produtores rurais. - *New Deal*, nos EUA.	começam a apoiar a industrialização em seus países, atraindo e incentivando empresas de fora para o estabelecimento em seus territórios nacionais. - Criação de linhas de créditos para agricultura e linhas de financiamentos de máquinas agrícolas em diversos países.	créditos para agricultores. - Fortalecimentos das linhas de financiamentos para compra de máquinas e equipamentos agrícolas. - Maior abertura para o comércio internacional entre os países, facilitando a exportação de máquinas e equipamentos agrícolas.
Crescimento do mercado	- Expansão do mercado para as pradarias americanas. - Com o desenvolvimento de meios de transportes mais eficientes, o comércio começou a se fortalecer. - Início da produção de empresa americanas em outros países com potencial na agricultura, como Brasil e Argentina. - Surgimentos de empresas locais no mercado Europeu.	- Após o término da segunda guerra houve forte aumento nas vendas de máquinas agrícolas. - A partir da década de 1980 o mercado apresentou crescimento, devido à relativa maturidade dos mercados, nos EUA e Europa. - Crescimento de reposição de máquinas obsoletas.	- Aumento da demanda de máquinas por países do leste europeu. - Crescente demanda da China por alimentos. - Expansão da produção de Biodiesel no mundo. - Expansão da mecanização em países com baixo nível de mecanização.
Distribuição geográfica das empresas	- Concentrado nos EUA e na Europa (principalmente na Inglaterra).	- Maior participação de outras regiões como compradoras destes equipamentos. - Expansão para a América Latina (as empresas se instalam nos principais países produtores de produtos agrícolas, como Brasil). - Expansão para Leste Europeu - A Massey Ferguson, Ford, International Harvester e John Deere dominavam o mercado.	- América Latina passa ter maior importância nas vendas de equipamentos e máquinas agrícolas, foco no Brasil. - Ásia e Pacífico apresentam crescimento nas compras de equipamentos, apresentando grande potencial de expansão na China e Índia. - Surgimento da AGCO e CNH, confirmação da John Deere como líder de mercado.

Fonte: Machado (2018) adaptado de Vian e Junior (2010).

Uma dimensão desse mercado para o Brasil é apresentada por Penteado (2021) e mostra que no Censo Agropecuário 2017, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 55,86% das propriedades agrícolas, independentemente do porte, têm tratores; 19,32%, semeadoras e plantadoras; 15,7%, adubadoras e/ou distribuidoras de calcário; e 9,12%, colhedoras, totalizando mais de 2 milhões de máquinas agrícolas. Mesmo representando números significativos, também demonstram o potencial existente nesse mercado, com grandes oportunidades para à MA como um todo, pois a grande maioria das propriedades ainda não possuem as principais máquinas agrícolas.

Em Monteleone (2022) encontra-se uma visão do mercado de produção agropecuária, no qual se insere a MA, por meio do número e tamanho dos estabelecimentos agropecuários disponibilizados no Censo Agropecuário 2017. São mais de 5,07 milhões de estabelecimentos, dos quais 70% com área entre 1 e 50 hectares, 7,2 % de 100 a 500 hectares e 2% de 500 a 10.000 hectares. Considerando cada estabelecimento com potencial para MA, tem muito a ser conquistado.

Em relação a participação no Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio brasileiro, obteve-se um valor em 2021 de 27,4% e que é a maior desde 2004 quando foi de 27,53% (CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA, 2022b).

Uma avaliação mais específica do mercado brasileiro de MA pode ser feita por meio do mercado de máquinas e equipamentos realizado pela Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ) e pelo Sindicato Nacional da Indústria de Máquinas (SINDIMAQ), que completaram 85 anos em 2022. Na Figura 4 tem-se a ABIMAQ em números.

Figura 4 – ABIMAQ em números ano 2021

Fonte: Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (2022a).

Existem dentro da ABIMAQ as Câmaras Setoriais, agrupadas em Macro Setores, de acordo com as áreas industriais em que atuam, com o objetivo de facilitar a identificação das mesmas. Na Figura 5 está ilustrado o Macro Setor da Agropecuária, observa-se quatro câmaras na mesma: CSEAG, CSGF, CSEI e CSMIA. Com atuação direta na MA tem-se a Câmara Setorial de Máquinas e Implementos Agrícolas (CSMIA), na qual se encontram as indústrias de MIA. Através dessas empresas são possíveis encontrar uma grande quantidade de soluções em máquinas, implementos e ferramentas para MA.

Figura 5 – Macro Setor da Agropecuária da ABIMAQ

Fonte: Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (2022b).

Os fabricantes de MIA que podem fazer parte da CSMIA segundo a Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos, 2022b são:

> *os que englobam soluções específicas desenvolvidas para atender a uma grande variedade de lavouras, solos, topografias, condições climáticas e de mão-de-obra rural. As tecnologias desenvolvidas pelo setor vão desde máquinas para o preparo do solo, plantio, trato cultural, colheita, pós-colheita, criação de animais (pecuária, avicultura, suinocultura, piscicultura), tratores agrícolas, além de suas partes, peças e componentes.*

No portal da CSMIA é possível acessar todas as empresas associadas. Elas se encontram organizadas por ordem alfabética com o nome das empresas, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Acesso as empresas Associadas da CSMIA

Fonte: Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (2022c).

Ao se fazer o acesso nos sites oficiais dessas empresas, em busca da sua história, atuação, produtos, entre outros, verifica-se vários dos aspectos apresentados por Baricelo (2015) e Silva (2015), quanto a evolução do mercado de MIA agrícolas do Brasil, principalmente, do surgimento dessas indústrias à partir das décadas de 1960 e, das mudanças à partir da década de 1990, em sua grande maioria se transformaram de pequenas oficinas, com a criação dos seus primeiros produtos e, foram expandido gradativamente a gama de máquinas e/ou implementos produzidos e que as tornaram indústrias dos mais diversos portes.

Foi feito o acesso entre setembro e outubro de 2022 a todos os sítios on-line das 402 empresas que no período da consulta fazem parte da CSMIA, buscou-se saber entre outras informações por sua história, data da fundação, localização e linhas de produtos, registrando também as que já foram visitadas pessoalmente ou as que se conhece por meio feiras, eventos ou outras formas. Estas informações encontram-se na Tabela 3 a seguir. Como forma de ilustrar parte dessa pesquisa, no ANEXO A encontram-se as informações para as empresas: AGCO do Brasil Soluções Agrícolas LTDA, Agrimec Agro Industrial e Mecânica LTDA e Máquinas Agrícolas Jacto S/A.

Tabela 3 – Dados das empresas visitadas nos seus sítios através do portal da CSMIA

Total de Empresas		402	Sítio não acessa		51
Localização	Quantidade	Fundação		Conhecimento	
Argentina	1	Até 1969	86	Visitou	7
Ceará	1	De 1970 a 1989	73	Feira e outros	66
Espírito Santo	2	De 1990 a 2009	102	Não conhecia	278
Goiás	4	2010 acima	23	Total	351
Mato Grosso	1	Sem informação	67		
Minas Gerais	28	Total	351		
Multinacional	23				
Paráiba	1				
Paraná	50				
Pernanbuco	1				
Rio de Janeiro	2				
Rio Grande do Sul	64				
Santa Catarina	50				
São Paulo	123				
Total	351				

Fonte: próprio autor.

Com o levantamento do perfil das empresas que participam da CSMIA confirma-se também a afirmação de Lucente (2010, p. 86) para o seguimento de MIA:

> *O segmento de MIA possui uma estrutura heterogênea, uma vez que abriga empresas de diferentes portes, com distintas características técnicas e organizacionais. As empresas diferenciam-se, sobretudo, em relação ao tamanho, ao grau de complexidade do produto e do sistema produtivo gerencial.*

Lucente (2010) ainda apresenta “um histórico do segmento e sua evolução, a distribuição geográfica dos fabricantes e das vendas, as classificações das MIA, características de produção e comercialização, além de aspectos relacionados à inovação tecnológica.”.

Uma das conclusões do trabalho de Lucente (2010, p. 155) foi que o porte das empresas tem significativa importância “na capacidade de inovação, tanto para empresas exportadoras, como para as não-exportadoras”. As razões para o efeito positivo do porte da empresa sobre a atividade inovativa ainda segundo ele são: “(i) as firmas maiores tem mais facilidade para financiar projetos inovativos e (ii) os retornos da inovação são mais significativos quando a empresa tem maior volume de vendas, de modo que os custos fixos são mais facilmente absorvidos.”

O aspecto da inovação é de interesse desta tese, tendo em vista que está diretamente relacionado as contribuições que a metodologias e ferramentas de projeto oferecem para as empresas realizarem suas inovações tecnológicas, seja na criação de novos produtos, nas suas melhorias e nas adaptações para a realidade do mercado.

As características da maioria das empresas de MIA no Brasil abordadas por Romano (2003) ainda estão validas:

- São empresas familiares ou ainda em fase de transição para uma gestão mais profissional;
- Focam na diversificação de seus produtos e em inovações adaptativas;
- Apresentam baixo volume de produção por tipo de equipamento, se comparadas, por exemplo, à indústria automobilística;
- Enfrentam forte sazonalidade da demanda; e
- Apresentam a necessidade de desenvolver soluções específicas para atender uma grande variedade de tipos de lavoura, solo, topografia, condições climáticas e de mão-de-obra rural no país.

Além das limitações técnicas, financeiras e de pessoal, que influenciam diretamente no gerenciamento e estruturação do processo de desenvolvimento de produto (PDP) (TOLEDO E SIMÕES, 2010), os pequenos e médios fabricantes de MIA possuem algumas características, já abordadas por Romano (2003), que contribuem ainda mais para as deficiências na utilização do PDP, entre elas:

- A ausência de documentação que defina as atividades do PDP, sendo este processo realizado de modo informal e sequencial, de acordo com a experiência dos responsáveis;
- A realização do PDP de modo formal se dá de forma excepcional;
- A adoção da estrutura organizacional funcional (departamental) nas empresas; e
- Foco no desenvolvimento de projetos derivativos (aperfeiçoamento de produtos existentes) adaptativos.

Nos resultados apresentados por Toledo e Simões (2010) confirma-se as dificuldades dos pequenos fabricantes na utilização do PDP, mesmo que a maioria delas estivessem procurando realizar projetos de novos produtos.

Estes novos produtos, quando desenvolvidos, ou as novas tecnologias e as novidades em MIA no Brasil são normalmente apresentadas em feiras agrícolas e realimentam o processo de inovação. Uma das maiores, inclusive no mundo, é a AGRISHOW – Feira Internacional de Tecnologia Agrícola em ação. Sua 27º edição ocorreu no período de 25 e 29 de maio de 2022 em Ribeirão Preto – SP. Nela estiveram presentes mais de 800 expositores, mais de 193 mil visitantes e com movimentação comercial acima de 12 bilhões de reais.

2.2 Metodologia e ferramentas de projeto

Iniciando pela compreensão do termo projeto, para delimitar o mesmo na sua abordagem nesse trabalho, por meio de Santos (2020, p. 62 apud Asimow, 1968, p. 9), pode definido como sendo uma "atividade orientada para o atendimento das necessidades humanas, principalmente daquelas que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos de nossa cultura".

Para Madureira, 2013 "os projetos são o meio gerador de produtos, processos, serviços ou sistemas usados pelas empresas para alcançar seus objetivos estratégicos."

De acordo com Santos (2020, p. 59):

> *o termo evoluiu do campo apenas das intenções para o campo também das ações, passando a designar também o conjunto dos esforços efetuados para a concretização de um intento visado. Sendo assim, o termo projeto passou a englobar um número, por vezes bem elevado, de tarefas interligadas, com complexidades variáveis, que representavam a fase de execução daquilo que fora previamente desejado ou delineado (ROMEIRO et al. 2010).*

Na definição de Dedini (2018 p. 1) para projeto e desenvolvimento de projeto, temos uma que engloba todas as anteriores e fica abrangente o suficiente para o que este trabalho necessita, ou seja, projeto:

> *refere-se às atividades envolvidas na criação da estrutura do produto ao selecionar materiais, processos e componentes necessários para que o produto cumpra com uma função pré-determinada. Por desenvolvimento entende se um conjunto de processos que se iniciam na identificação das oportunidades de mercado, requisitos funcionais e testes, modificações e refinamento do produto para posterior fabricação. Além disso, devem constar no projeto as funções, processos e operações, elementos necessários para processos e sistemas, ciclo de vida do produto, operadores, estado da arte do tema, distribuição, entrega, descarte, além de aspectos ligados à ecologia, estética e ergonomia, normas e padrões, moral e cultura, economia e qualidade.*

Das definições acima observa-se uma série de ações ou atividades ligadas ao conceito de projeto e que resultam em um produto, processo ou serviço. A forma como as ações ou atividades devem ser executadas não pode ser aleatória, empírica ou a depender de definições pessoais, existem metodologias que auxiliam no desenvolvimento das mesmas, fazendo com que os resultados esperados sejam alcançados.

Adota-se nesse trabalho segundo o Dicionário Online de Português (2022) para metodologias como sendo um sinônimo de métodos ou "à parte da ciência que se dedica aos procedimentos organizados, aos métodos, utilizados pela própria ciência", ou ainda, segundo do dicionário Houaiss (2022), para método: "é um procedimento, técnica ou meio de fazer alguma coisa". Desta forma a MP consiste em procedimentos, técnicas ou meios para desenvolver o próprio projeto, ou seja, serve no PDP.

A MP de produto segundo Dedini (2018) surge nas décadas de 1950 e 1960, por meio dos autores de primeira geração, com uma conceituação baseada na aplicação sistemática, racional e científica. A segunda geração de autores foram os das décadas de 1970 e 1980, que buscam soluções satisfatórias ou apropriadas em que há um trabalho em conjunto entre projetistas e clientes, consumidores, usuários e/ou comunidade. Ainda de acordo com ele, estamos na terceira geração de autores, que vem desde 1990, e buscam utilizar, integrar e aprimorar os conceitos desenvolvidos nas duas gerações anteriores.

A maior parte destes autores e algumas de suas publicações pode ser vista em Pahl et al. (2007), por meio da "(*Table 1.1. Chronological overview of the development of design methodology*)", organizada em ordem cronológica por meio do ano de publicação, com os autores, temas ou títulos e país em que foram publicados. Uma informação semelhante e mais resumida está presente no Quadro 2 a seguir, extraídas de parte das referências bibliográficas dos trabalhos de: Pahl et al. (2007), Madureira (2013), Dedini (2018) e Santos (2020).

Quadro 2 – Ano, autor, publicação e país, relacionadas a MP

(continua)

Ano	**Autor**	**Publicação**	**País**
1953	Bischoff, Hansen	Rationelles Konstruieren	Alemanha Oriental
1962	Asimow, M.	Introduction to Design	USA
1968	Asimow, M.	Introdução ao projeto. Tradução de José Walderley Coelho Dias.	Brasil
1979	Tjalve, E.	Short Course in Industrial Design	Inglaterra
1983	Back, N.	Metodologia de Projeto de Produtos Industriais	Brasil

(conclusão)

Ano	Autor	Publicação	País
1977	Pahl, Beitz	Konstruktionslehre, 1st Edition	Alemanha Ocidental
1990	Akao, Y.	Quality function deployment: integrating customer requirements into product design. Translated by Glen H. Mazur. Introduction by Bob King.	EUA
1991	Pugh, S.	Total Design – Integrated Methods for Successful Product Engineering	EUA
1992	Ullman, D.	The Mechanical Design Process	USA
1994	Clausing, D.	Total Quality Development: A Step-by-step Guide to Concurrent Engineering	USA
1995	Baxter, M.	Product Design. Practical Methods for the Systematic Development of New Products	USA
1995	Ulrich, T.K. and S.D. Eppinger	Product Design and Development	USA
1996	Ertas, A. and J.C. Jones	The Engineering Design Process	USA
1996	Pahl, G., Beitz, W.	Engineering Design: A Systematic Approach	Inglaterra
1996	Pugh, S.	Creating Innovative Products Using Total Design	USA
1998	Baxter. M.	M. Projeto de produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos. 1 a edição	Brasil
2001	Suh, N.P.	Axiomatic Design Advances and Applications	Inglaterra
2004	Ulrich e Eppinger	Product Design and Development	USA
2005	Pahl. G., Beitz. W. et al.	Projeto na engenharia	Brasil
2006	Rozenfeld, H.	Gestão do desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria de processos	Brasil
2007	Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J. and Grote, K.H.	Engineering design: a systematic approach	Inglaterra
2008	Back, N.; Ogliari, A.; Dias, A.; Silva, J. C.	Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem	Brasil
2010	Ullman, D. G.	The mechanical design process. 4th ed.	USA
2010	Romero Filho, E. et al	Projeto de produto	Brasil
2011	Becker, M.	Engenharia Simultânea.	Brasil
2013	Madureira, O. M de	Metodologia de projeto: planejamento, execução e gerenciamento	Brasil

(conclusão)

2015	Ulrich, K. T.; Eppinger, S. D.	Product design and development. 6th ed.	USA
2016	Blanchard, B. S Blyler, J. E	System Enginnering Mangement	USA

Fonte: próprio autor.

Os títulos das publicações apresentadas no Quadro 2, embora seja pequena em relação ao que já foi publicado, dá uma dimensão do que já foi abordado em metodologia do projeto, ou seja, encontra-se uma gama de trabalhos que se utilizados permite o desenvolvimento de projeto de produtos da melhor forma possível. O nível de conhecimento cientifico já atingiu padrões de excelência e encontra-se hoje as pesquisas na área em busca de lacunas em situações específicas.

No Quadro 2 aparecem também algumas publicações no Brasil, destacam-se aqui três: Back (1983), Rosenfeld (2006) e Madureira (2013). Os dois primeiros consolidaram grupos de pesquisas sob MP na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em Florianópolis e na USP em São Carlos, respectivamente, que se tornaram referências na área no Brasil (DEDINI, 2018). O terceiro por um livro mais recente e que também propõe um método estruturado para o planejamento, a execução e o gerenciamento de projetos de produtos, processos, serviços e sistemas.

Nos dois grupos de pesquisas, da UFSC e USP, foram desenvolvidas várias teses de doutorado e dissertações de mestrado diretamente relacionadas à MP ou desenvolvimento de produtos. O Quadro 3 apresenta algumas dessas teses de doutorado.

Quadro 3 – Teses de doutorado dos grupos de pesquisa UFSC e USP

(continua)

Ano	**Autor**	**Título**	**Orientador**
1997	Schmidt, A. S.	Desenvolvimento do sistema mecanizado para a cultura do alho (Allium sativum L.) com ênfase no plantio	Back
1998	Weiss, A.	Desenvolvimento e adequação de implementos para a mecanização agrícola nos sistemas conservacionistas em pequenas propriedades	Back
2000	Maribondo, J. F.	Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicado a unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares	Back
2000	Hernandez Fonseca, A. J.	Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional	Back
2002	Amaral, D. C.	Arquitetura para gerenciamento de conhecimentos explícitos sobre o processo de desenvolvimento...	Rozenfeld

(conclusão)

Ano	Autor	Título	Orientador
2002	Lima, R. V.	Cenário de integração do processo de desenvolvimento de produtos: uma proposta de ensino e treinamento baseada em tecnologia de educação	Rozenfeld
2002	Silva, S. L. da	Proposição de um modelo para caracterização das conversões do conhecimento no processo de desenvolvimento de produtos	Rozenfeld
2002	Neto, V. M.	Metodologia para garantia da confiabilidade no desenvolvimento de produtos mecatrônicos	Shneider
2003	Romano, L. N.	Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas	Back
2003	Romano, F. V.	Modelo de referência para o gerenciamento do processo de projeto integrado de edificações	Back
2004	Alonço, A. dos S.	Metodologia de projeto para a concepção de máquinas agrícolas seguras	Ogliari
2006	Barbalho, S. C. M.	Modelo de Referência para o desenvolvimento de produtos mecatrônicos: proposta e aplicações.	Rozenfeld
2007	Carvalho, M.A. de	Metodologia ideatriz para a ideação de novos produtos	Ogliari
2008	Jubileu, A. P.	Modelo de gestão do processo de venda e desenvolvimento de software on-demand para MPE's	Rozenfeld
2009	Guelere Filho, A.	Integração do ecodesign ao modelo unificado para a gestão do processo de desenvolvimento de produtos: estudo de caso em uma grande empresa de linha branca	Rozenfeld
2009	Zancul, E. de S.	Gestão do ciclo de vida de produtos: seleção de sistemas PLM com base em modelos de referência	Rozenfeld
2011	Costa, J. M. H. da	Método de diagnóstico e identificação de oportunidades de melhoria de processo de desenvolvimento de produtos utilizando um padrão de recorrência de efeitos indesejados	Rozenfeld
2012	Oliveira, M. G. de	Método de análise do processo de decisão do planejamento da inovação: uma contribuição para a avaliação e seleção de propostas de produtos inovadores	Rozenfeld
2012	Pigosso, D. C. A.	Modelo de maturidade em ecodesign: um framework para apoiar as empresas na seleção e implementação de práticas de ecodesign	Rozenfeld
2015	Barquet, A. P. B.	Criação de propostas de sistema produto-serviço (SPS) no fuzzy front-end	Rozenfeld
2016	Fernandes, R. B.	Metodologia de apoio ao planejamento de novos produtos por meio de estimuladores biológicos	Ogliari
2018	Marques, C. A. N.	Framework para definir modelos de processos específicos de desenvolvimento de PSS	Rozenfeld
2019	Sozo, V.	Metodologia para planejamento de produtos orientado por valores emocionais	Ogliari

Fonte: próprio autor

Texto na cor verde - Teses com afinidades com esse trabalho.

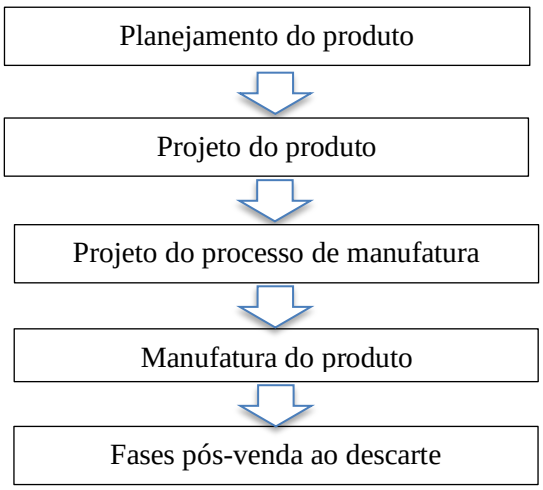
Das teses presentes no Quadro 3 as com letras na cor verde possuem maior relação com a MA e com as que propõem metodologias, métodos ou modelos relacionados ao desenvolvimento de produtos ou ao PDP.

Em relação ao estudo em Gestão de Projetos em nível de pós-graduação no Brasil, encontra-se no ANEXO B algumas informações de dois programas de especialização em Gestão de Projetos, um da Fundação Getúlio Vargas (FGV) e outro da USP. Desta forma pode-se perceber alguns dos conteúdos e disciplinas existentes nos mesmos.

No trabalho de Dedini (2018) encontra-se uma revisão bem elaborada com alguns das publicações presentes no Quadros 2 e que sintetizam a evolução e aplicação da MP. De acordo com ele é possível compreender que existem duas abordagens clássicas para MP: a Axiomática, que não considera importante a ordem do trabalho, mas sim aplicação de conceitos e axiomas e, a Algorítmica, na qual existe uma sequência lógica de eventos, caracterizada por métodos e ferramentas (Dedini, 2018).

Os métodos e ferramentas permitem a valorização de aspectos de qualidade, criatividade, inovação, pessoas e processos, normalmente divididos em fases, em sua maioria representadas por meio de fluxogramas, que facilitam sua visualização e entendimento (BACK, 1983 e DEDINI, 2018). Na Figura 7 tem-se um exemplo simples da aplicação de fluxograma para visualizar as fases do desenvolvimento de produtos, proposto por Back et al. (2008, p. 33).

Figura 7 – Fases do desenvolvimento de produtos



Fonte: Back et al. (2008, p. 33).

Para a fase de projeto do produto visto na Figura 7, que será o principal aspecto a ser apresentado no estudo de caso apresentado neste trabalho no próximo capítulo, Dedini (2018) propõe realizar a mesma em três fases:

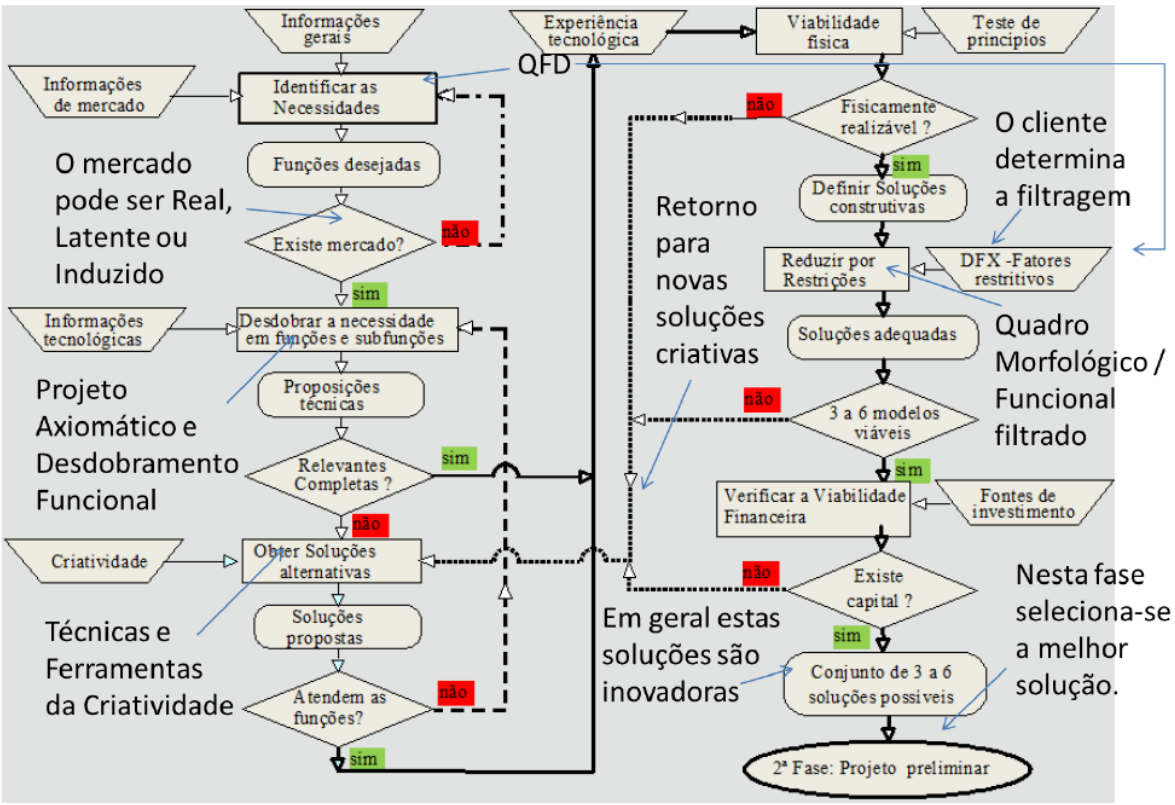
- ✓ *Fase 1 – Estudo de Viabilidade – Foco na criatividade e expansão das concepções para atender as funções desejadas pelo cliente;*

- ✓ *Fase 2 – Projeto Preliminar – Foco no dimensionamento e otimização de funções, baseadas nas características de desempenho desejadas pelo cliente e pela empresa;*
- ✓ *Fase 3 – Projeto Detalhado – Foco no detalhamento, tolerâncias e adequação construtiva, com objetivo na satisfação das necessidades técnicas e das condições de valor desejado para o produto ou sistema."*

Na Fase 1 - Estudo de Viabilidade Dedini (2018) define que o objetivo é basicamente assegurar que o projeto, ao entrar na fase de detalhamento, será aceitável tanto técnica quanto economicamente. Back (1983) também aborda que para um conjunto de soluções para as necessidades determinadas, deve-se filtrar e avaliar estas soluções por meio de um estudo de viabilidade física, econômica e financeira. O estudo de viabilidade irá sugerir alterações para as soluções encontradas, adequando-as aos aspectos já referidos.

A Figura 8 apresenta um organograma do estudo de viabilidade geral, proposto por Dedini (2018) no qual é possível observar diversas ferramentas a serem utilizadas nessa fase, tais como: Pesquisa de Mercado, QFD (*Quality Function Deployment*), Análise funcional, Criatividade, DFX (*Design for x*), Quadro Morfológico, entre outros.

Figura 8 – Organograma do estudo de viabilidade geral



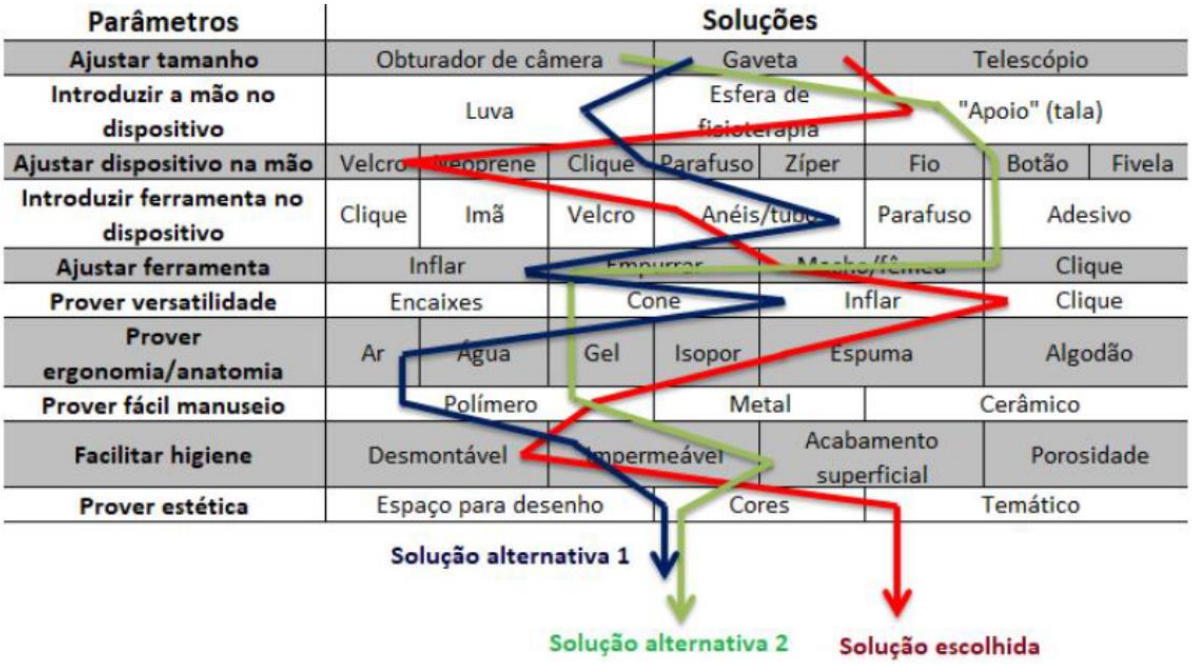
Fonte: Dedini (2018, p. 58).

Pode-se dizer, então, que as ferramentas são recursos palpáveis, de aplicabilidade específica, como testes, perguntas, gráficos, formulários, fichas de planejamento e alguns tipos

de dinâmicas. São instrumentos que visam à coleta de informações importantes, que contribuem durante todo o processo.

Dentre as ferramentas citadas observa-se os quadros ou matrizes morfológicas, que são uma das que proporciona uma melhor visualização das várias soluções para os requisitos em análise. Na Figura 9 ilustra-se um exemplo apresentado por Santos (2020, p. 112), no qual se visualiza os parâmetros a serem definidos, as soluções parciais conhecidas ou possíveis e dois caminhos com duas possíveis soluções escolhidas. De posse deste caminho de soluções e com o emprego das demais ferramentas irá se efetuar a análise de viabilidade das mesmas.

Figura 9 – Quadro morfológico para a órtese com duas possíveis soluções



Fonte: Santos (2020) apud Kaneko (2017).

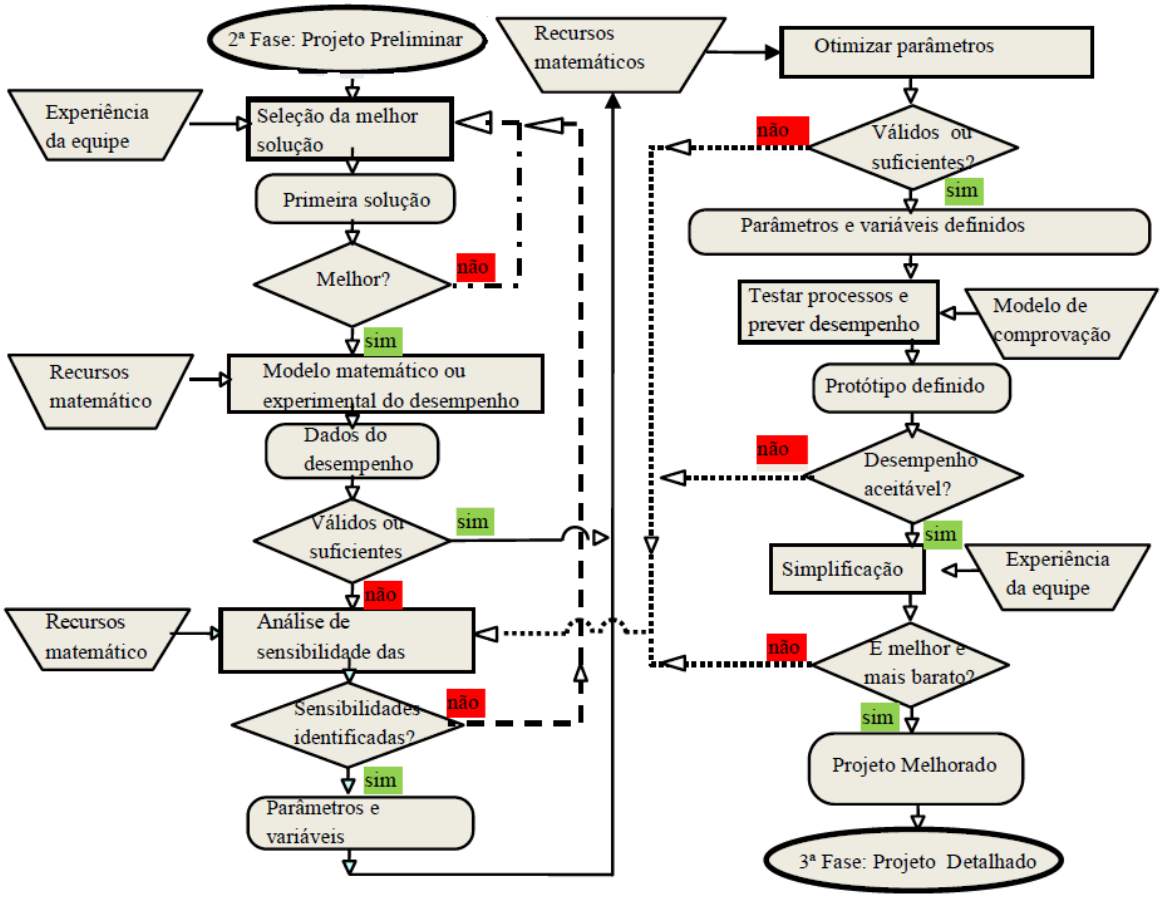
A Fase 2 - Projeto Preliminar tem como objetivo estabelecer qual das alternativas propostas no estudo de viabilidade apresenta melhor desempenho após o processo de otimização dos parâmetros (DEDINI, 2018).

No projeto preliminar as concepções apresentadas na fase anterior serão avaliadas segundo critérios estabelecidos, surgirão novas concepções e melhorias que deverão otimizar as soluções já estabelecidas. Desta forma a solução principal para o problema estará definida e que pode ainda apresentar conjuntamente um pequeno número de soluções alternativas (DEDINI, 2018).

A Figura 10 apresenta um organograma do projeto preliminar de caráter geral proposto por Dedini (2018), que permite verificar a importância de processos e métodos de otimização. As principais etapas no mesmo são: seleção da melhor solução, modelo matemático ou

experimental do desempenho, análise de sensibilidade e otimizar parâmetros. Tendo como resultado final o produto melhorado que irá para a fase seguinte, de projeto detalhado.

Figura 10 – Organograma do projeto preliminar de caráter geral



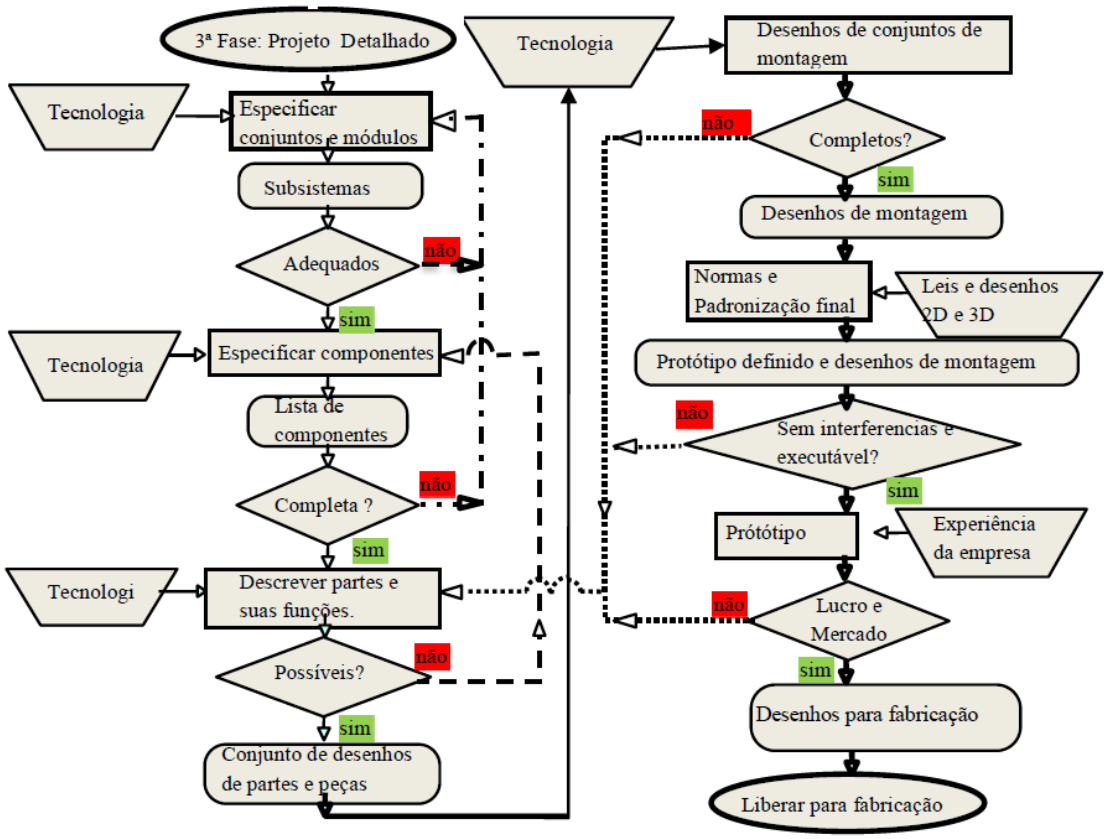
Fonte: Adaptado de Dedini (2018, p. 60).

Na Fase 3 – Projeto Detalhado, o produto selecionado entre as opções obtidas será detalhado, as soluções propostas são avaliadas e se o projeto apresentar chances reais de sucesso será produzido (DEDINI, 2018).

A fase do projeto detalhado começa com a concepção desenvolvida no projeto preliminar. Seu objetivo é fornecer as descrições de engenharia de um projeto frutífero e verificado (DEDINI, 2018).

Um organograma do projeto detalhado de caráter geral proposto por Dedini (2018) é apresentado na Figura 11. As principais etapas no mesmo são: especificar conjuntos e módulos, especificar componentes, descrever partes e suas funções, desenhos de conjuntos e montagens e confecção de protótipos. Tendo como resultado final a liberação para produção.

Figura 11 – Organograma do projeto detalhado de caráter geral



Fonte: Adaptado de Dedini (2018, p. 68).

O projeto requer a integração do conhecimento e envolve a satisfação simultânea de muitos requisitos funcionais (DEDINI, 2018, p3):

- *Quais as funções necessárias para o produto?*
- *O que é necessário e o que é vício de engenharia?*
- *Como obter essas funções?*
- *Existe uma Metodologia indicada?*

Uma MP segundo Pahl et al. (2007, p. 10, tradução nossa) deve:

- *Permitir uma abordagem direcionada ao problema, ou seja, deve ser aplicável a todos os tipos de atividade de projeto, não importa qual área de especialização ela envolva;*
- *Fomentar a inventividade e a compreensão, ou seja, facilitar a busca da melhor solução;*
- *Ser compatível com os conceitos, métodos e descobertas de outras disciplinas;*
- *Não confiar em encontrar soluções por acaso;*
- *Facilitar a aplicação de soluções conhecidas para tarefas relacionadas;*
- *Ser compatível com processamento eletrônico de dados;*
- *Ser facilmente ensinado e aprendido;*
- *Refletem as descobertas da psicologia cognitiva e da ciência moderna da administração, ou seja, reduzir a carga de trabalho, economizar tempo, evitar erros humanos e ajudar a manter interesse ativo;*

- *Facilitar o planejamento e gestão do trabalho em equipe de forma integrada e interdisciplinar;*
- *Fornecer orientação para líderes de equipes de desenvolvimento de produtos.*

A MP que atender as características acima, torna possível seguir três regras básicas para um bom projeto: ser simples, seguro e inequívoco, bem como, atender três metas gerais: satisfação da função técnica, viabilidade econômica e segurança para o homem e o meio ambiente (DEDINI, 2018). Os fatores de garantia de qualidade, coordenação, planejamento, gestão e melhoria também serão atendidos (ULRICH e EPPINGER, 2015).

Para exemplificar outros modelos de metodologia ou de PDP foi elaborado o Quadro 4 com uma síntese das propostas de Pahl et al. (2007), Ulman (2010) e Ulrich e Eppinger (2015), realizado a partir de Santos (2020).

Quadro 4 – Síntese de MP ou de PDP

Metodologia de projeto / Processo de desenvolvimento de produto			
Item	Autor		
	Paht et al. (2007)	Ulman (2010)	Ulrich e Eppinger (2015)
Fases	Planejamento e esclarecimento de tarefa	Descoberta do Produto	Planejamento
	Projeto Conceitual	Planejamento do Produto	Desenvolvimento do conceito
	Projeto representativo	Definição do Produto	Projeto a nível de sistema
	Projeto detalhado	Projeto Conceitual	Projeto detalhado
		Desenvolvimento do Produto	Testes e refinamento
		Suporte ao Produto	Escalada da produção
Características	Intersecção entre as fases principais	Cada problema de projeto apresenta uma diversidade de soluções	Parte do vasto conjunto de conceitos e ideias concebidos para uma restrição de alternativas e aumento de especificações
	Interações no decorrer do seu desenvolvimento	Encontrar uma boa solução que gere um produto de qualidade	Busca atingir um nível adequado de confiabilidade e repetibilidade
	Final de cada fase com avalição que orienta a passagem para a próxima fase ou uma nova interação	Copromissos razoáveis com o tempo e demais recursos envolvidos no processo	Com um sistema de processamento de informações, transforma as mesmas em conceitos, especificações e detalhes de projeto
			Faz o gerenciamento de riscos e os reduz a medida que o processo evolui e as funções dos produtos são validados

Fonte: próprio autor.

Madureira (2013) também apresenta uma metodologia para desenvolvimento de produto, baseada no método integrado de projeto, fazendo uso da Engenharia Simultânea e que tem como forma de atuação uma organização matricial das equipes subordinadas a gerência de projeto. Está metodologia é composta de seis macrofases dos projetos. No Quadro 5 ficam visíveis as macrofases e a participação das áreas da empresa.

Quadro 5 – Participação das áreas da empresa nas fases do projeto com Método Integrado

	Áreas da Empresa							
Fases do projeto	Gerência do projeto	Vendas	Produto	Manufatura	Suprimentos	Qualidade	Finanças	Recursos humanos
1. Planejamento	G, 0	P, A	P, A	P, A	P, A	P, A	P, A	P, A
2. Viabilidade	G, 0	P, A	E, A	E, A	E, A	E, A	P, A	P, A
3. Projeto básico	G, 0	a	E, A	E, A	P, A	P, A	a, A	a
4. Projeto executivo	G, 0	a	E, A	P, A	P, A	P, A	a, A	a
5. Implantação e fabricação	G, 0	a	P, O	E, A	E, A	P, A	a, A	a
6. Comercialização	a, 0	E	a, O	a, E	a, E	a, A	a, A	a

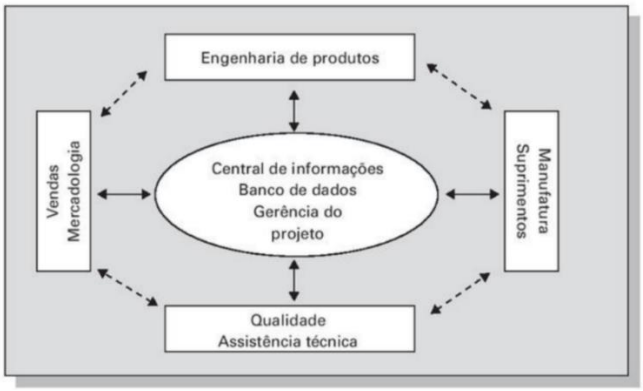
Legendas: A = aprova, E = executa, O = opina, G = gerencia, P = participa, a = acompanha.

Fonte: Madureira (2013).

Ainda segundo Madureira (2013), esse método é "*caracterizado por grande empenho nas fases iniciais e execução simultânea, propicia muito maior eficiência, resultando em um produto de melhor qualidade, em menor prazo de execução e com menores custos do projeto".*

A gestão do projeto também é realizada de forma integrada, com a centralização das informações na Gerência do Projeto, conforme Figura 12 e que resulta nos ganhos acima mencionados.

Figura 12 – Interação entre as áreas e a gerência no método integrado



Fonte: Madureira (2013).

Por fim tem-se a importância do produto pelo cliente, ficando claro que independente do porte e preço do produto, os clientes fazem avaliações objetivas e subjetivas, tanto no processo de compra, como durante o uso. A aquisição pelas empresas de produtos agrega mais critérios, incluindo, valores e índices econômicos e financeiros, tais como: custo operacional, forma de compra (a vista ou financiado), valor residual ao final da vida útil e prazo de retorno de investimento. Ficando com comentário final sobre a compra: *"A compra e o uso compensaram?"* (MADUREIRA, 2013).

Vários outros aspectos da MP, como engenharia simultânea, gerenciamento de projeto, planejamento de produtos e especificações de projeto de produto, abordados por Back et al. (2008), reforçam a importância, benefícios e ações a serem realizadas no desenvolvimento e projeto de máquinas e equipamentos.

Em relação as aplicações das metodologias ou modelos de projeto, mais relacionadas a essa tese, podem ser observadas por meio das teses de doutorado, apresentadas e grifadas no Quadro 3. Exemplificando, em Weiss (1998) no desenvolvimento dos protótipos foi utilizado a metodologia sugerida por Pahl & Beltz, bem como Back, analise do QFD e ferramentas como quadro morfológico, diagrama de Mudje, diagrama de blocos, entre outros. Verifica-se que são aplicados vários dos conceitos até aqui apresentados e já disponíveis na época.

Na tese de Maribondo (2000) é desenvolvida uma proposta de MP de sistemas modulares, aplicado em um estudo de caso em unidades de processamento de resíduos sólidos. Um dos aspectos relevantes desse trabalho é que foram estabelecidas diretrizes para o desenvolvimento de metodologias de projeto e um "sistema computacional denominado SISMOD, que auxilia uma equipe de projeto a registrar e organizar as informações e as decisões tomadas ao longo do processo de projeto, visando o desenvolvimento de sistemas modulares". Esta tese tem uma forte contribuição no trabalho de Romano (2003), um modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas, que por sua vez, tem na de Alonço (2004), MP para a concepção de máquinas agrícolas seguras. Ambas serão abordadas no próximo item.

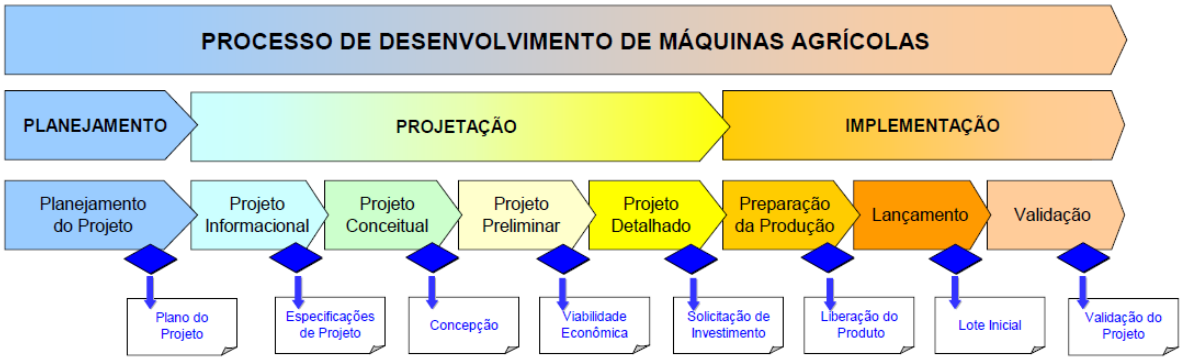
2.3 Metodologia e ferramentas de projeto para máquinas agrícolas

Não foram encontradas referências bibliográficas específicas para metodologia e ferramentas de projeto aplicadas à MA, o que garante o caráter de inédito à esta tese. Entretanto, observa-se no item anterior que no caso de projeto ou desenvolvimento de máquinas agrícolas estão contemplados, principalmente, quando decorrente de indústrias de máquinas agrícolas de grande porte e até mesmo as de médio porte, que implementaram setores de Engenharia e/ou Engenharia de produto. É inquestionável que fazem uso, independente de qual metodologia ou ferramentas adotem, sendo influenciadas pela origem da empresa, pelas escolhas pessoais dos profissionais envolvidos, mas que já colhem os resultados pelo alto nível dos projetos que desenvolvem, incluindo a adoção do que existe de mais atual em tecnologia e materiais nas máquinas agrícolas produzidas (ROMANO, 2003; ALONÇO, 2004; LUCENTE, 2010; BARICELO, 2015; SILVA, 2015; TOLEDO e SIMÕES, 2010).

Romano (2003), do grupo de MP da UFSC, desenvolveu um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas. O objetivo "foi de explicitar o conhecimento sobre esse processo, de modo a auxiliar no entendimento e na formalização da prática do mesmo." A expectativa do modelo foi de "contribuir para que as empresas do setor passem a executar um processo de desenvolvimento de produtos mais formal e sistemático, integrado com as demais áreas da empresa, com os participantes da cadeia de fornecimento e com os clientes finais".

O modelo para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas é proposto em macrofases, fases, atividades e tarefas específicas. Na Figura 13 é possível verificar de forma ilustrativa uma síntese do modelo proposto, nas quais são apresentadas as macrofases (planejamento, projetação e implementação), as fases (planejamento do projeto, projeto informacional, projeto conceitual, ...) e as saídas (plano do projeto, especificações de projeto, concepção, ...).

Figura 13 – Macrofases, fases e saídas



Fonte: Romano (2003, p. 113)

Neste modelo é proposto que a parte descritiva das fases sejam constituídas em planilhas, descritas através de atividades que se subdividem em tarefas, como visualizado na Figura 14.

Figura 14 – Elementos da estrutura do modelo de referência para o PDMA

	Fase 3 - Projeto Conceitual da MA					
Entradas	Atividades	Tarefas	Domínios	Mecanismos	Controles	Saídas
Ficha de aprovação de passagem de fase	Comunicar início da fase de projeto conceitual	Comunicar a apresentação das especificações de projeto da MA à equipe de desenvolvimento de produto	GP	Correio eletrônico	Plano de gerenciamento das comunicações	Comunicado de aprovação da EPMA
		Convocar equipe de desenvolvimento do produto para 1ª reunião da fase de projeto conceitual para apresentação do plano do projeto	GP	Correio eletrônico	Relação dos membros da equipe de desenvolvimento do produto	Convite para a 1ª reunião
Plano de projeto	Atualizar necessidade de capital		GP, AF	Correio eletrônico	Orçamento de desenvolvimento da	Recursos financeiros

Fonte: Romano (2003, p. 113).

As saídas para cada fase do processo permitem tomadas de decisão a respeito do progresso do projeto, após passar por avaliações que permitem: aprovação da saída e autorização para mudança de fase, aprovação parcial da saída e recomendação de retrabalho e reprovação da saída e encerramento do projeto (temporário ou definitivo).

Por fim, nesse modelo, as tarefas descritas são classificadas por domínios de conhecimento, com o propósito de auxiliar na identificação das pessoas e das habilidades necessárias para a realização das mesmas. Isto permite direcionar as tarefas por departamentos funcionais da empresa e em quais fases devem atuar.

A outra MP para o desenvolvimento de máquinas agrícolas é proposta por Alonço (2004): **metodologia de projeto para a concepção de máquinas agrícolas seguras**. Ele faz a caracterização de condições inseguras em máquinas agrícolas, à partir dos acidentes de trabalho, principalmente, no meio rural. Também realiza um levantamento dos aspectos legislativos no projeto e da utilização segura de máquinas agrícolas, bem como apresenta as Normas Regulamentadoras – NR, incluindo as relacionadas as máquinas agrícolas.

Alonço (2004) apresenta nos capítulos 3 e 4 da tese um levantamento do estado da arte sobre o desenvolvimento de produtos baseados em segurança e um estudo sobre os fatores de influência na segurança de produtos, respectivamente. Permitindo embasamento suficiente para propor a sua metodologia, que é apresentada no capítulo 5: MP para a segurança: fases informacional e conceitual do projeto.

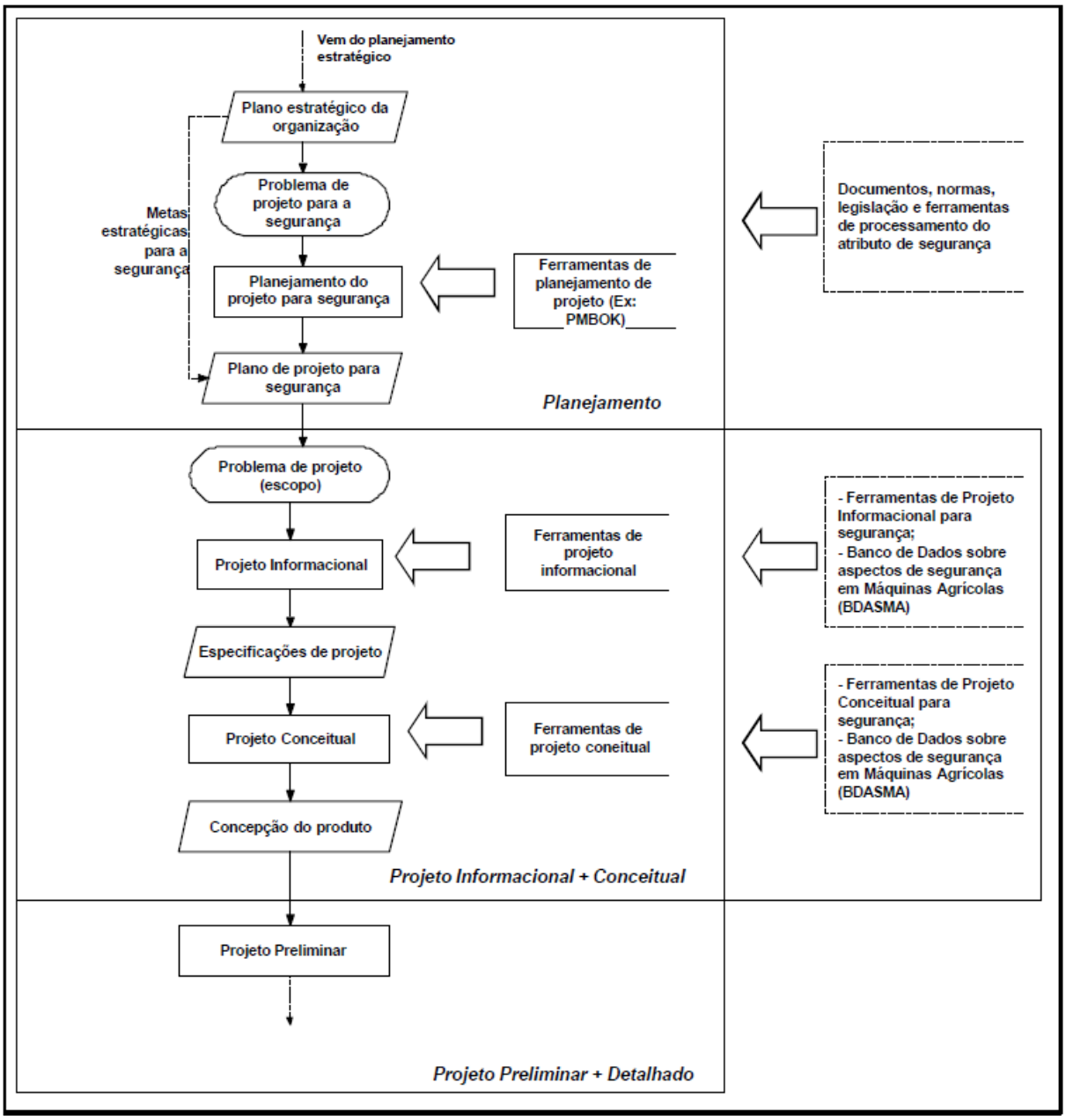
Dois pontos fundamentais que estruturam sua tese são:

- *Admite-se que o perigo é inerente a todo o sistema técnico;*
- *Considera-se que é no projeto do produto que se deva implementar todas as barreiras e salvaguardas necessárias para não permitir que o perigo possa interagir com os eventos detonadores.*

Estes dois pontos são trabalhados no projeto informacional e conceitual, ilustrados na Figura 16, com “uma visão geral da metodologia para segurança, de uma forma macro, a fim de, a partir dela, detalhar as atividades, documentos e ferramentas, consideradas e/ou desenvolvidas,” nessas fases do projeto (ALONÇO, 2004).

Na Figura 15 também é possível visualizar: as fases do processo de projeto, na primeira coluna; as contribuições oferecidas pela tese, na segunda coluna (módulo central), com as ferramentas de projeto informacional e conceitual; bem como, outras contribuições vindas na fase de planejamento do produto (módulo superior).

Figura 15 – MP de projeto para a segurança: Fases informacional e conceitual do projeto



Fonte: Alonço (2004, p. 96).

O desenvolvimento de um banco de dados sobre aspectos de segurança em máquinas agrícolas e de ferramentas para auxiliar ao projetista na inclusão do atributo segurança durante a realização de diversas tarefas formam as duas principais contribuições do estudo de Alonço (2004). Ambas são apresentadas em forma de tabelas, contendo três colunas nas quais se tem o código, a descrição e os comentários. Ao todo são propostos 16 documentos e 25 ferramentas. Ele faz no restante do capítulo 5 a explicação detalhada de toda a metodologia, finalizando no capítulo 6 com a aplicação em um estudo de caso: projeto para a concepção de uma

transplantadora de mudas segura. Neste fica evidente a aplicação e os resultados obtidos ao se aplicar o que é proposto.

A extensão, o volume de detalhes e de informações existentes nos modelos propostos por Romano (2003) e Alonço (2004) reforçam a importância e a justificativa para se propor uma metodologia e ferramentas de projeto aplicado à MA que seja mais simples, com uma possibilidade mais elevada de ser adotada por pequenas fabricantes de MIA e empresas com estruturas de projeto menores que atuam no setor, incluindo outros envolvidos, como empresas agroindustriais que possuam setores direcionados a MA.

3 METODOLOGIA E MATERIAIS

Neste capítulo são apresentados os procedimentos, recursos e estudos utilizados para o desenvolvimento do trabalho, os quais permitiram a elaboração da metodologia e das ferramentas propostas, que serão apresentadas no próximo capítulo. Inicia com a realização de uma RBS, passa para uma análise do trabalho de Fernandes (2018) e por fim, apresenta um estudo de caso no qual se aplica os conhecimentos encontrados e formam a base da fundamentação teórica para o que se propõe nessa Tese.

3.1 Revisão Bibliográfica Sistemática

Tendo em vista a proposição de uma metodologia e ferramentas de projeto aplicadas à MA, se fez necessário realizar uma revisão bibliográfica sistemática (RBS), seguindo a mesma metodologia adotada por Santos (2020), tanto pela similaridade de trabalho, como pelos resultados por ele obtidos.

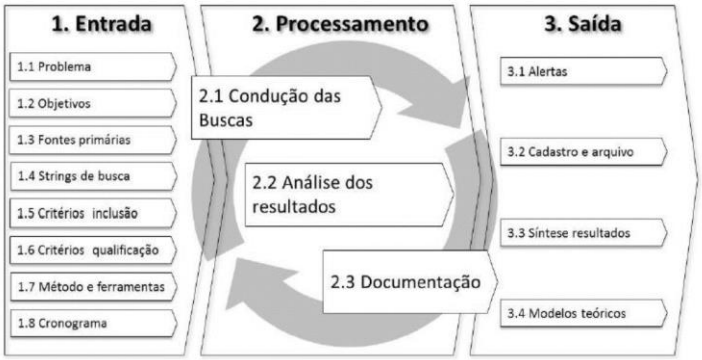
3.1.1 Modelo de referência

A RBS realizada por Santos (2020) e também adotada neste trabalho é o roteiro intitulado RBS *Roadmap* desenvolvido por Conforto, Amaral e Silva (2011). As razões de sua utilização são: foco voltado para pesquisas na área de desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos, exigência de ineditismo e originalidade, facilidade de organizar uma grande quantidade de informações e a compreensão do estado da arte sobre um determinado assunto. Segundo Santos (2020) “favorece o desenvolvimento da teoria em áreas onde já existem pesquisas e permite identificar oportunidades para novas pesquisas em outras áreas (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011)”.

O roteiro do RBS *Roadmap* está representado na Figura 16, contendo três fases e quinze etapas.

As definições e objetivos de cada uma das etapas do roteiro (1.1 Problema, 1.2. Objetivos, 1.3 Fontes primárias, ...) presentes nas três fases (1. Entrada, 2. Processamento e 3. Saída) são apresentadas por Santos (2020). Durante a descrição de cada etapa ficam delineadas as ações a serem desenvolvidas, permitindo realizar o que está previsto no roteiro.

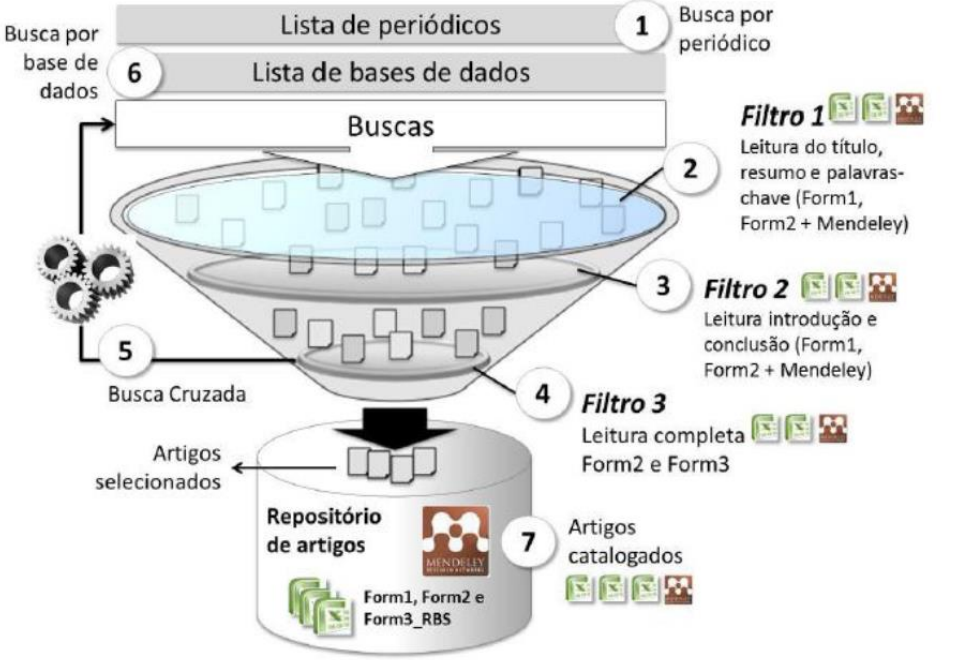
Figura 16 – Representação esquemática do RBS *Roadmap*



Fonte: Santos (2020) apud Conforto, Amaral e Silva (2011) .

No caso da fase de processamento, também é apresentado um desenho esquemático para facilitar a compreensão, aqui ilustrada na Figura 17.

Figura 17 – Desenho esquemático da fase de Processamento do RBS *Roadmap*



Fonte: Santos (2020) apud Conforto, Amaral e Silva (2011).

Na descrição feita pelo Santos (2020) das duas últimas etapas, ficam claros os principais resultados obtidos com a RBS:

> *- Síntese e Resultados: elaboração de um relatório com uma síntese da bibliografia analisada, com informações como a descrição dos principais autores na área, a evolução do conceito, a quantidade de artigos diretamente relacionados ao tema, as definições dos termos, os modelos teóricos e os estudos de caso encontrados;*
> *- Modelos teóricos: construção de modelos teóricos e definição das hipóteses de pesquisa com base nos resultados obtidos e na síntese do tema estudado.*

3.1.2 Execução da RBS

A execução das atividades previstas no roteiro RBS *Roadmap* é apresentada a seguir, com as repostas para cada um dos itens existentes e as adequações necessárias a este trabalho.

- Entrada

Quanto ao problema a pergunta-chave a ser respondida pela pesquisa é: qual seria uma proposta de metodologia e ferramentas de projeto para a MA com ênfase nos pequenos fabricantes de máquinas e implementos agrícolas?

Em relação aos objetivos desta RBS, precisam estar alinhados com os objetivos da pesquisa, sendo então: investigar, analisar e descrever, a partir de buscas em fontes primárias e em bases de dados multidisciplinares, as metodologias e ferramentas de projeto que vem sendo utilizadas e propostas para a MA, com ênfase nos pequenos fabricantes de MIA.

Para as fontes primárias, seguiu-se orientação de pesquisadores mais experientes e de uma revisão bibliográfica preliminar, ficando definidas as seguintes bases: Capes, BDTD e Teses.usp.br.

As *strings* de busca foram estabelecidas à partir da revisão preliminar e das sugestões do orientador, ficando como a combinação das seguintes palavras-chave: *agricultural mechanization*; *project methodology*, *design tools*, *design agricultura machinery*; *reference model*; *small manufacturers*; mecanização agrícola, projetos de máquinas agrícolas, metodologia de projeto, ferramentas de projeto, modelo de referência, pequenos fabricantes.

Essa *string* de busca foi aplicada, com adequações e adaptações de terminologia e operadores (AND & OR), às ferramentas de pesquisas das bases de dados citadas no item anterior. No APÊNDICE B encontram-se as principais versões da forma que foram aplicadas.

Os artigos incluídos e qualificados durante a busca possuíam concordância com os objetivos da pesquisa, apresentado similaridades ou potencial de contribuição relevante.

Foram aplicados sequencialmente os três filtros, conforme está representado na Figura 17, nos artigos obtidos por meio da pesquisa nas bases de dados.

A RBS foi desenvolvida no segundo semestre de 2022.

- Processamento

A condução das buscas foi realizada de maneira direta, considerando as *strings*, os critérios, o método de busca estabelecidos e as fontes primárias.

A análise dos resultados seguiu o roteiro do *Roadmap* indicado na Figura 17. Tendo sido aplicado o primeiro filtro na base de dados e os artigos selecionados exportados para o EndNote, Mendeley ou pastas específicas. A escolha do destino de exportação se deu pela

facilidade de uso em relação a base de dados, agilizando o trabalho e permitindo aumentar o rendimento do processo.

O segundo filtro foi submetido aos artigos arquivados, sendo transferidos os validados para uma pasta específica, na qual se aplica o terceiro filtro. Os artigos que passaram pelo último filtro foram para outra pasta específica e analisados detalhadamente e servindo de base para os relatórios finais do RBS.

Os documentos produzidos na pesquisa foram sendo arquivados dentro de pastas criadas especificamente com essa finalidade, incluindo os dados referentes aos artigos encontrados, selecionados e arquivados por cada base de dados.

- Saída

Os artigos selecionados durante a RBS foram devidamente cadastrados e arquivados em pastas específicas.

As pesquisas nas bases de dados geraram os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Síntese dos resultados das RBS

Base	Strings	Resultado	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Selecionados	Arquivado
CAPES	A	22.669	41	14	5	3	EndNote
CAPES	B	320	21	9	5	3 (1)	EndNote
BDTD	A	6	3	2	1	1	EndNote
BDTD	B	4	3	2	2	2	EndNote
Biblioteca EESC	A	82	12	8	3	2	EndNote
Biblioteca EESC	B	100	11	5	1(0)	0	EndNote

Fonte: próprio autor.

As discrepâncias nas quantidades de itens nos resultados encontrados nas três bases consultadas foram grandes, embora já fosse esperado um volume maior para o caso da CAPES, tendo em vista ser uma base aberta a artigos e revistas, enquanto as outras são de Teses e Dissertações. O baixo volume encontrado na BDTD teve relação direta com as restrições feitas na busca, procurando restringir à mecanização agrícola.

Faz-se a seguir a abordagem dos dois principais resultados encontrados e que contribuem de forma mais direta com os objetivos da RBS. Os outros sete itens estão no relatório síntese e se encontra no APÊNDICE C.

- Gasparin; Walber e Israel, (2015)

O artigo apresenta uma MP para empresas metal mecânica. Teve por objetivo servir de referência para desenvolvimento de novos produtos e melhoramento dos já existentes, tendo como base a metodologia proposta por Back et al. (2008), além de algumas ferramentas de projeto propostas por Paht et al. (2005).

Os autores buscaram simplificar a metodologia de Back et al. (2008), levando em consideração características funcionais de empresas de pequeno e médio porte. No teste de eficácia da proposta foi trabalho um novo projeto de produto de uma empresa do ramo agrícola.

A metodologia proposta ficou composta de três macrofases, subdividas em sete fases, conforme Quadro 6.

Quadro 6 – Resumo das fases

FASES	DESCRIÇÃO	
1 - Planejamento do Projeto	Período em que são definidas as metas, prazos e custo do projeto.	Planejamento
2 - Projeto Informacional	Período em que são definidas as especificações do projeto, baseadas em conhecimentos adquiridos.	Projetação
3 - Projeto Conceitual	Período em que são estudadas e selecionadas as possíveis concepções do produto.	
4 - Projeto Preliminar	Período em que é definido o layout do produto, através de *softwares* CAD e CAE.	
5 - Projeto Detalhado	Período em que os desenhos são detalhados para a execução dos protótipos para testes.	
6 - Preparação para Produção	Período de preparação da fábrica para produzir o futuro produto.	Implementação
7 - Lançamento e Validação	Período em que o produto é comercializado e validado junto aos clientes.	

Fonte: Gasparin, Walber e Israel, (2015).

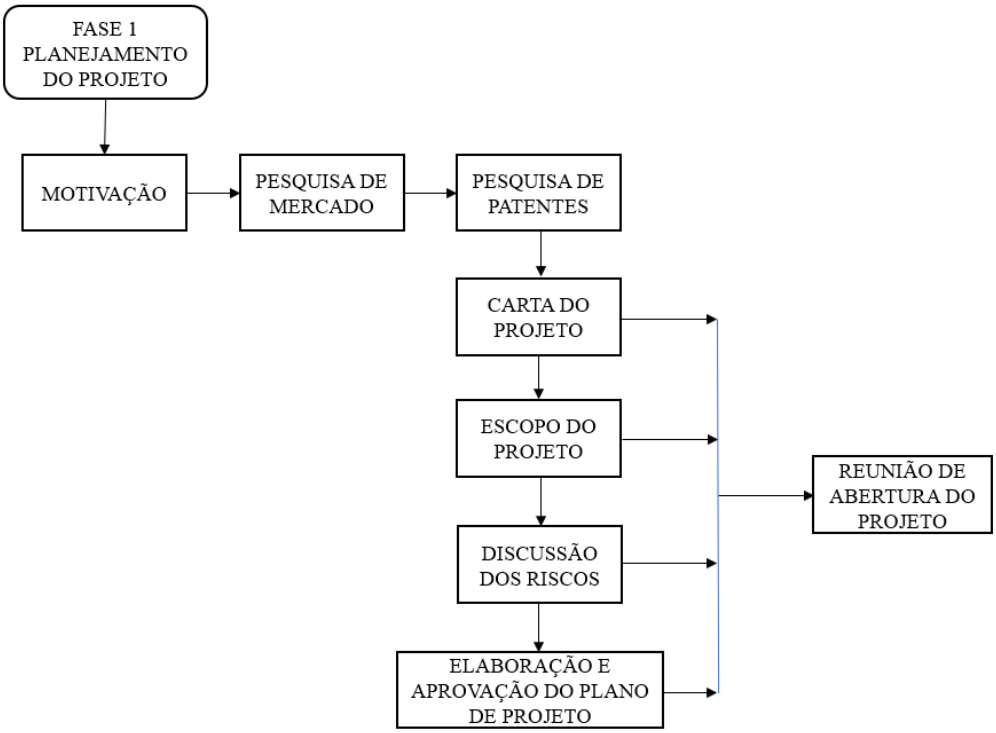
Na sequência do trabalho eles apresentam cada fase, esquematizadas em forma de fluxograma, mostram as principais diferenças e pontos relevantes em relação ao modelo base de Back et al (2008) e que atendam as empresas pequenas e médias de metal mecânica, principalmente, as do ramo agrícola.

Como forma de compreender algumas diferenciações que eles foram desenvolvendo temos como exemplo:

> *Em sua obra, Back et al (2008) consideram que o projeto inicia no plano de marketing, enquanto na metodologia proposta é adotado o conceito de que o projeto começa quando surge a ideia, ou seja, quando passa a existir a motivação da empresa para realiza um novo produto.*

Na Figura 18 é apresenta-se o fluxograma da primeira fase, que engloba todo o planejamento do projeto.

Figura 18 – Fluxograma da primeira fase da metodologia



Fonte: Gasparin, Walber e Israel (2015).

Não serão apresentadas as demais figuras e descrições das demais fases, por não ser necessários em relação ao objetivo da RBS, segue-se com algumas partes do trabalho em relação a aplicação da metodologia proposta.

A aplicação da metodologia, fazendo uso das quatro primeiras fases, foi em um projeto de uma carreta agrícola, para transporte e levantamento de cargas, por meio da união de dois implementos agrícolas: uma carreta para transporte e um guincho para o levantamento. Como os implementos já existem o projeto é classificado como um aperfeiçoamento, tendo sua etapa de projetação menor em relação a um totalmente inovador.

A primeira fase iniciada com a motivação da empresa em possuir um novo produto, segue as atividades existentes no fluxograma e tem como resultado final o escopo do projeto e a carta de abertura. Na segunda fase chama a atenção a construção da lista de requisitos, cujo resultado poder ser visto no Quadro 7 e seguiu as diretrizes de Pahl et al (2005).

Quadro 7 – Lista de requisitos

USUÁRIO		LISTA DE REQUISITOS PROJETO CARRETA GUINCHO	IDENTIFICAÇÃO CLASSIFICAÇÃO PAG.:1 FOLHA.:1
MODIF.	**D/E**	**CARACTERÍSTICA**	**RESPONSÁVEL**
16/4/2012	E	Ter custo de fabricação R$11.000,00	DANIEL/MATEUS
16/4/2012	E	Ter Capacidade de levar 6 bags	DANIEL/MATEUS
16/4/2012	D	Utilizar peças e conjuntos de outros produtos	DANIEL/MATEUS
16/4/2012	E	Capacidade de carga 6 Ton.	DANIEL/MATEUS
16/4/2012	E	Alcance do guinho 3 metros	DANIEL/MATEUS
16/4/2012	D	Rotação do guincho 180°	DANIEL/MATEUS
16/4/2012	E	Capacidade de carga do guincho 1,5 Ton.	DANIEL/MATEUS
16/4/2012	D	Ter fechamentos laterais simples com tubos	DANIEL/MATEUS
16/4/2012	D	Ter ajuste do tamanho do rodado	DANIEL/MATEUS
16/4/2012	E	Eixo traseiro com flutuação	DANIEL/MATEUS
23/4/2012	E	Ter altura de levante entre 5,8 e 6,5 Metros	DANIEL/MATEUS
23/4/2012	E	Ter quatro rodas de apoio sendo dois eixos afastados	DANIEL/MATEUS
23/4/2012	E	Ter largura máxima de 2200	DANIEL/MATEUS
23/4/2012	E	Oferer segurança para os usuários	DANIEL/MATEUS
23/4/2012	D	Comp e Conj. Devem ser adequados para cab. Pintura.	DANIEL/MATEUS
23/4/2012	E	Sistema hidraúlico utilizando bomba do trator	DANIEL/MATEUS
23/4/2012	E	Acionamento do guincho do operador trator	DANIEL/MATEUS
23/4/2012	D	Entregar desenhos detalhados na máximo até 29/06	DANIEL/MATEUS
23/4/2012	D	Estrura do guincho e chassi feito de Aço doce	DANIEL/MATEUS
23/4/2012	D	Cubos de rodas feito de ferro nocular	DANIEL/MATEUS
23/4/2012	D	Base do guincho rolamentada	DANIEL/MATEUS
23/4/2012	D	Manutenção anual	DANIEL/MATEUS
23/4/2012	D	Nenhuma impureza dentro de sistema hidraúlico	DANIEL/MATEUS
23/4/2012	E	Considerar a adição das tolerâncias	DANIEL/MATEUS

Fonte: Gasparin, Walber e Israel (2015).

Um dos pontos que eles chamam a atenção na lista dos requisitos exigidos (E) é ter um custo de fabricação limitado a R$ 11.000,00, por trazer várias implicações no projeto. Realidade característica em projetos para MIA. Os itens com D são os requisitos desejáveis.

Na terceira fase é montada a lista de concepções na forma de um quadro morfológico, para as três estruturas funcionais em que foi dividida a carreta guincho, como está ilustrado no Quadro 8.

Os itens selecionados aparecem grifados e para sua “seleção foram adotados critérios, como: funcionalidade, custo, facilidade de fabricação, padronização de projetos, entre outros, dependendo de cada estrutura.”

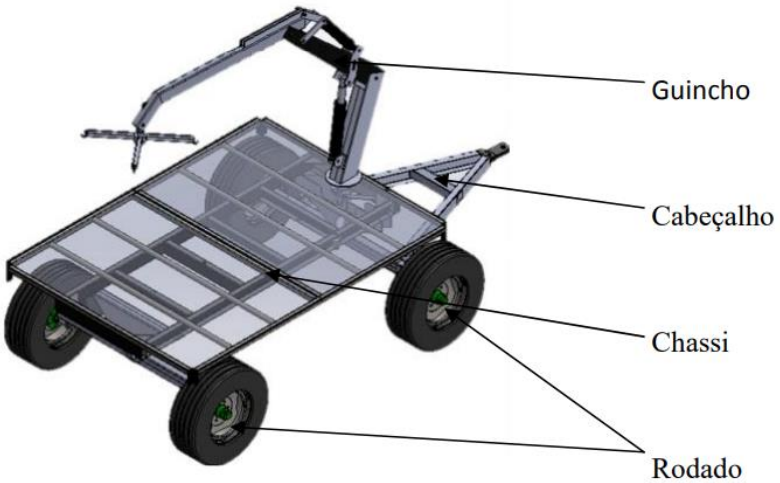
Na quarta fase foram utilizados os softwares *Solidworks*, *Solidwork Simulation* e Excel, para o modelamento e análise dimensional do produto, seguindo procedimentos normais de projeto com essas ferramentas e tendo como resultados leiaute final do produto (Figura 19) e as análises estruturais pelo método de elementos finitos (Figura 20).

Quadro 8 – Lista de concepções

CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS - SELECIONADAS				
SUBFUNÇÃO/ COMPONENTE		SOLUÇÃO		
		A	B	C
GUINCHO				
1	MOVIMENTO ROTAÇÃO GUINCHO	MEIA-LUA	REDUTOR	PINHÃO-CREMALHEIRA
2	POSIÇÃO DO GUINCHO	FRONTAL	TRASSEIRO	CENTRAL
3	POSIÇÃO EM RELAÇAO AO RODADO	SOBRE -EIXO	AFASTADO	-
4	PONTEIRA	GUANCHO	CRUZ	GUANCHO-CRUZ
5	ARTICULAÇÃO	UM CILINDRO	DOIS CILINDROS	TRÊS CILINDROS
6	ESTRUTURA GUINCHO	PERFIL C	TUBO	TUBO E PERFIL C
RODADO				
1	DISPOSIÇÃO DOS RODADOS	TANDEM-TRASEIRO	EIXOS ESPAÇADOS	TANDEM COM EIXO DIANTEIRO
2	MOVIMENTO RODADO DIANDIANTEIRO	PINO CENTRAL	BARRA DIRECIONAL	-
3	CUBO DE RODA	PATROLA	PLANTADEIRA	VAGÃO FORRAGEIRO
4	PNEU	MILITAR	MHF AGRICUTURAL	SUPER MHF
5	MOVIMENTO DE FLUTUAÇÃO RODADO DIAN.	FIXO	MOVEL	-
6	MOVIMENTO DE FLUTUAÇÃO RODADO TRASEIRO	FIXO	MOVEL	-
7	ESTABILIDADE AO TOMBAMENTO	EIXO COM REGULAGEM DE	CALÇOS HIDRAÚLICOS	CALÇOS COM ACIONAMENTO
CHASSI				
1	FECHAMENTO CARGA	CANTONEIRA	PERFIL C	TUBO
2	ESTRUTURA CHASSI	CHASSI VAGÃO	SOBRE-CHASSI VAGÃO	-
3	ASSOALHO	CHAPA LISA	CHAPA CORRUGADA	-
4	ESTRUTURA ASSOALHO	TUBO	PERFIL C	CANTONEIRA

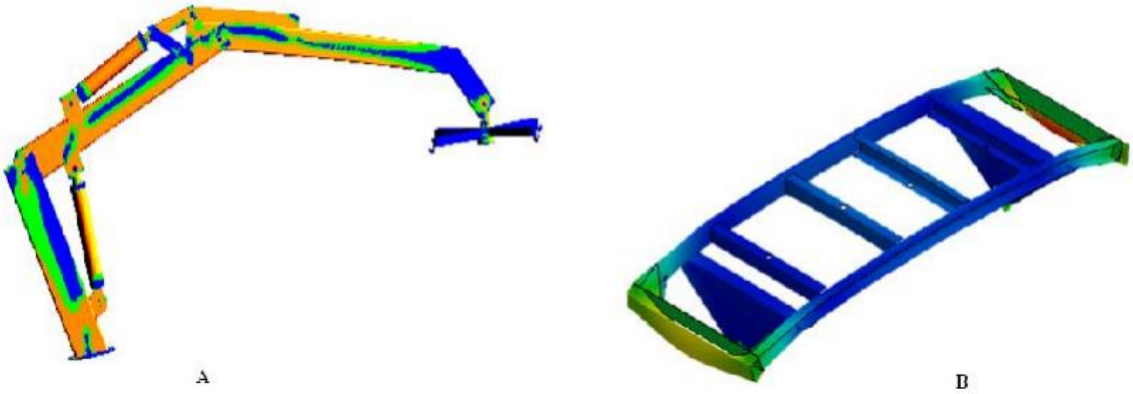
Fonte: Gasparin, Walber e Israel (2015).

Figura 19 – Projeto 3D carreta agrícola



Fonte: Gasparin, Walber e Israel (2015).

Figura 20 – Análises estruturais realizadas pelo Método de elementos finitos: (A) análise do guincho; (B) análise do chassi



Fonte: Gasparin, Walber e Israel (2015).

Os autores concluem que “a metodologia criada pode ser implantada em empresas que buscam um melhoramento em seu desenvolvimento de produtos, ou por empresas que não possuem uma MP projeto, já que a metodologia se mostrou eficaz para o produto que foi desenvolvido.

- Moreira et al. (2016)

O artigo apresenta um projeto preliminar de uma derriçadora de café em áreas montanhosas, nas quais as máquinas existentes possuem limitações. Teve por objetivo desenvolver um projeto preliminar para o protótipo virtual de uma colhedora de frutos de café. Tendo sido aplicado e adaptado uma MP de projeto proposta por Pahl et al. (2005), por meio das fases: planejamento de projeto, projeto informacional, projeto conceitual e projeto preliminar.

Os autores formaram a equipe de trabalho necessária para desenvolver as atividades de cada fase prevista na metodologia adotada, mas tentaram ter flexibilidade ao longo do desenvolvimento que permitisse uma solução mais inovadora.

A descrição da metodologia utilizada é realizada na forma descritiva para cada fase do projeto, detalhando aspectos mais relevantes, como na fase de planejamento do projeto, abordando o perfil de cada componente, os problemas a serem resolvidos no projeto, além de observações realizadas em campo, para melhor compreensão do mesmo.

Na fase informacional foi realizada a busca dos princípios de operação, com pesquisas no estado da tecnologia, em exposições, boletins, catálogos, patentes, avaliação e crítica de inter-relações entre soluções existentes, princípios operacionais e o problema em questão.

Para a fase de projeto conceitual eles consideram a afirmação de Romano (2003) na qual é considerada uma das fases mais importantes para o sucesso do projeto. Seguiram alguns dos

procedimentos da metodologia de Pahl et al. (2005), foi realizada a construção de uma matriz de subfunções (quadro morfológico). Com as opções encontras na matriz e usando critérios de seleção como custo, baixo custo operacional, eficiência de colheita, entre outros, foram aplicados escores em tabelas específicas e que levaram a escolha dos que mais pontuaram.

Por fim, trabalhou-se a fase de projeto preliminar nas soluções escolhidas na fase anterior, por meio de ferramentas CAD, gerando os desenhos nos quais é apresentado o protótipo virtual previsto no objetivo do artigo.

A lista de requisitos e a matriz de subfunções (quadro morfológico) desenvolvidos na fase de projeto conceitual aparecem nos Quadros 9 e 10 a seguir, demonstrando a equivalência ao que já foi abordado e apresentado até ao longo deste trabalho.

Quadro 9 – Lista de requisitos 2

Lista de requisitos - 6/11/2012
Substituição da força de trabalho
Colheita de frutos de café
Movimento em terrenos inclinados
Robustez
Facilidade de construção
Durabilidade
Mova-se apropriadamente
Anexabilidade
Segurança
Viabilidade econômica
Execução adequada de tarefas
Capacidade operacional

Fonte: adaptado de Moreira et al. (2016).

Quadro 10 – Matriz de subfunções e soluções para as funções

Subfunção / Solução		1	2	3	4	5	6	7
Operação da derriçadora	Controlar	(Manual) Alavancas do Controle Remoto	(Manual) Joystick	(Automatizado) Scaner	(Automatizado) Sensores			
Movimentação da derriçadora na lavoura de café	Tracionar	Animal	Automotriz	Tratorizada Montada (3 pontos)	Tratorizada Arrastada (Barra de Tração)			
	Estruturar	Chassi fixo	Chassi articulado	Braços articulados				
	Girar a máquina	Cilindros Hidráulicos	Pinhão e Cremalheira	Pinhão e coroa	Engrenagens cilíndricas	Engrenagem com parafuso sem fim	Correntes	Polias
	Sustentar	Pneu de Borracha de	Pneu de Borracha	Pneu Metálico	Patim	Esteira metálica	Esteira de Borracha	
Derriçar		Pneumático (positivo)	Pneumático (negativo)	Vibração de Varetas radiais	Vibração de Varetas Paralelas			

Fonte: Moreira et al. (2016).

Na Tabela 5 apresenta a pontuação por critérios adotados para as variações de soluções encontradas, de forma que a de maior escores foram as escolhidas para serem desenvolvidas no restante do projeto, ou seja, as soluções 19 e 20.

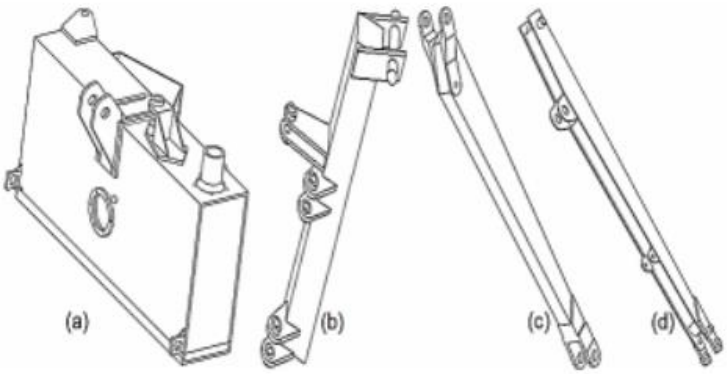
Tabela 5 - Variantes que obtiveram um valor adicional às pontuações, com classificações superiores a 4,0 pontos

Critério de avaliação	Variantes da solução										
	Peso	18		19		21		22		20	
		Escore	V. Peso	Escore	V. Peso	Escore	V. Peso	Escore	V. Peso	Escore	V. Peso
Baixo custo de construção	0,06	3	0,18	5	0,3	5	0,3	5	0,3	5	0,3
Baixo custo de operação e manutenção	0,06	3	0,18	4	0,24	5	0,3	4	0,24	4	0,24
Destacamento eficiente	0,20	4	0,8	5	1	2	0,4	4	0,8	5	1
Facilidade de operação da colhedora	0,16	5	0,8	5	0,8	5	0,8	5	0,8	5	0,8
Tecnologia aplicada	0,08	4	0,32	4	0,32	4	0,32	4	0,32	4	0,32
Facilidade de operação da colhedora dentro dos cafezais	0,20	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1
Facilidade de manutenção	0,16	4	0,64	5	0,8	4	0,64	3	0,48	5	0,8
Maior confiabilidade e fácil fabricação ou reposicionamento de componentes	0,08	4	0,32	4	0,32	4	0,32	4	0,32	4	0,32
Total com peso	**1,00**	**4,24**		**4,78**		**4,08**		**4,26**		**4,78**	

Fonte: adaptado de Moreira et al. (2016).

Os resultados da fase preliminar são apresentados através de figuras, com os desenhos elaborados e a descrição do que levou a cada escolha no projeto, gerando a compreensão necessária do que foi desenvolvido. O projeto foi dividido em duas partes, um chassi e o sistema de derriça. Na Figura 21 encontra-se a ilustração do chassi.

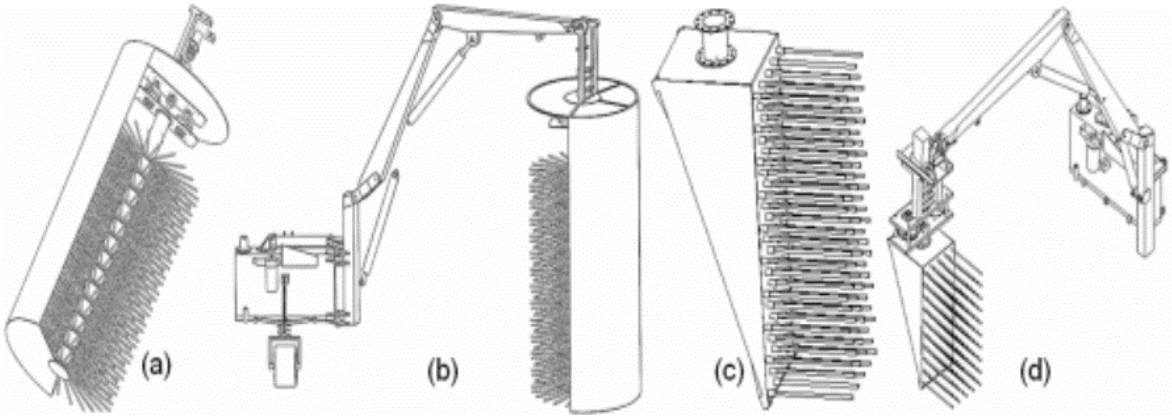
Figura 21 - (a) Reservatório de braços articulados. Braços articulados (b) do giro, (c)levantamento, e (d) extensão



Fonte: Moreira et al. (2016).

Na Figura 22 temos os dois sistemas de derriça trabalhados nesta fase.

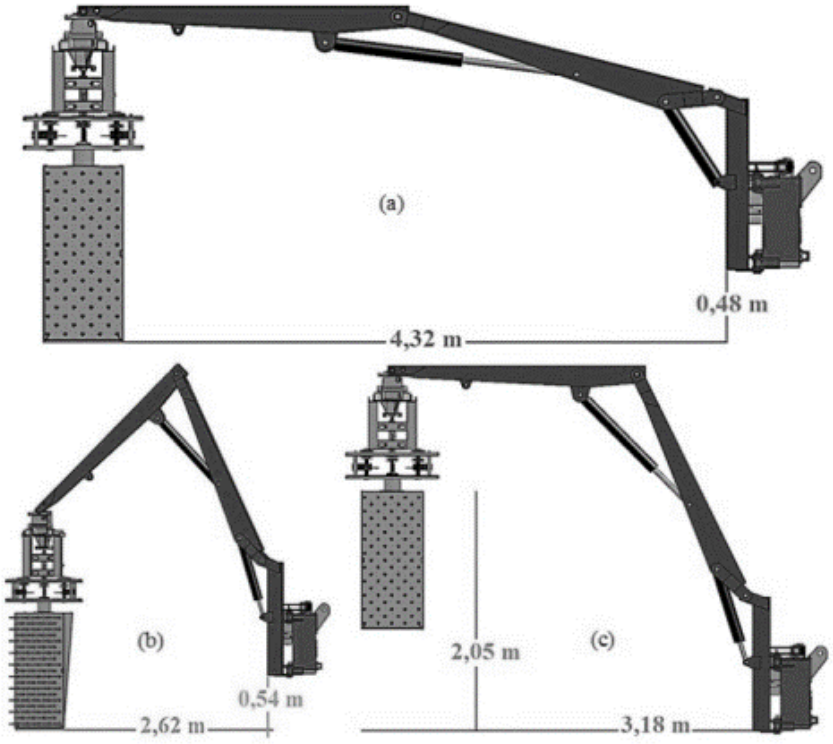
Figura 22 - Esquema de (a) cilindro da colhedora envolto pela tampa protetora, (b) colhedora completa (Variante 19), (c) mecanismo de colheita, e (d) colhedora completa (Variante 20)



Fonte: Moreira et al. (2016).

O projeto segue com definições de matérias e cálculos de engenharia que permitem, com o apoio do sistema CAD utilizado definir, peso, resistência, ângulos limites que colhedora terá através da movimentação dos braços até se chegar ao desenho final do protótipo, com os movimentos máximos que pode executar (Figura 23).

Figura 23 - Horizontal (a) maximum and (b) minimum distances. (c) Maximum vertical reach of the detachment mechanism



Fonte: Moreira et al. (2016).

Os dois estudos apresentados contêm metodologias e ferramentas de projetos que proporcionam opções nas escolhas a serem utilizadas na elaboração da proposta da tese que se encontra no próximo capítulo.

3.2 Tese de Fernandes (2018)

Dentre as teses encontradas antes do desenvolvimento da RBS, obteve-se à de Fernandes (2018), trabalhando o desenvolvimento, construção e avaliação de um protótipo de fatiadora de cactácea forrageira. Como faz uso dos conceitos de metodologia e ferramentas de projeto aplicados ao projeto de máquinas agrícola, também serve de referência e validação para a proposta deste trabalho. Assim como, ter sido desenvolvida por uma só pessoa, as partes de construção do protótipo por uma pequena empresa, tornando próximo do perfil deste trabalho com foco nos pequenos fabricantes de MIA.

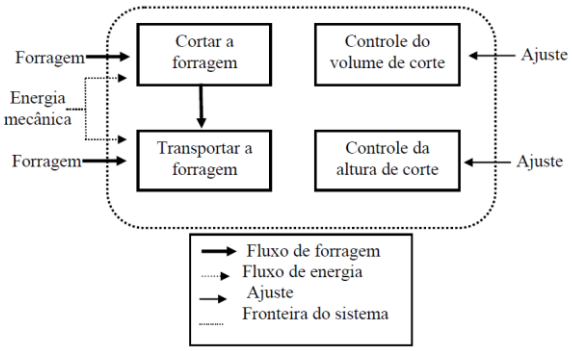
Fernandes (2018) nos itens 2.7 – Processo de desenvolvimento de produto, 2.8 – Metodologia do processo de desenvolvimento de produtos e 2.9 – Análise de modos e efeitos de falha (FMEA) do seu trabalho, faz o embasamento teórico da metodologia e das ferramentas que utiliza no desenvolvimento do trabalho.

Ele apresenta alguns conceitos sobre a metodologia de Back et al. (2008), Romano (2003), Baxter (1998) e Rozenfeld et al., (2006) e das ferramentas (algumas atribuídas como método) em Baxter (1998) e Back et al. (2008) e que também estão descritos no item 2.2 deste trabalho.

Dos conceitos apresentados, ele faz uso do conceito de etapas ou macrofases: projeto conceitual, construção do protótipo e avaliação do protótipo.

No desenvolvimento do projeto conceitual se faz uso do projeto informacional, no qual estabelece a função síntese dos sistemas a serem desenvolvidos. Um exemplo está representado na Figura 24.

Figura 24 – Estrutura de funções para a plataforma de corte e sistema de condução



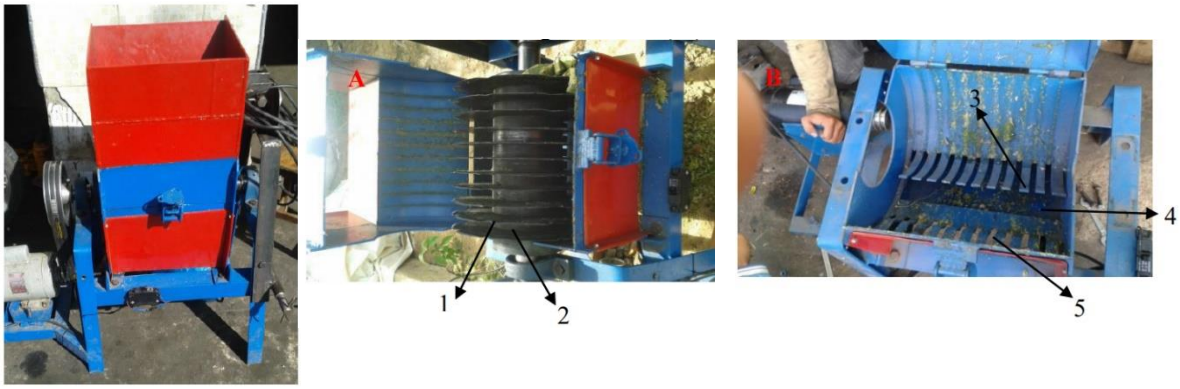
Fonte: Fernandes (2018).

As funções síntese que aparecem na Figura 28 são o corte e transporte, que requer energia mecânica e, os controles de volume e altura de corte, através de ajustes, delimitados pela fronteira do sistema (linha pontilha).

Como resultado da fase do projeto conceitual ele apresenta duas propostas: a primeira de uma colhedora de plantas forrageiras e a segunda de um mecanismo de processamento para cactáceas forrageiras. Não ficam claras quais as bases teóricas ou ferramentas utilizadas nas soluções encontradas e adotadas, o que induz o caminho clássico de uso da experiência do autor e de conceitos similares existentes.

Na fase de construção do protótipo, foi desenvolvido apenas o mecanismo de processamento para cactáceas forrageiras. Construído em parceira com oficina Geras Moto Auto Peça no município de Tauá-CE, seguindo os desenhos técnicos do projeto. Na Figura 25 (a,b e c) têm-se a imagem da fatiadora.

Figura 25 – Protótipo da fatiadora de cactácea



(a) (b) (c)

Fonte: Fernandes (2018, p. 44).

Na Figura 25 (a) observa-se uma visão externa do protótipo, mostrando a “boca” de entrada para forragem (cactácea) na parte superior, a base da estrutura e a polia de acionamento do eixo no qual é colocado o sistema de disco para fatiamento, Figura 25 (b) nas indicações 1 e 2. Na Figura 25 (c) visualiza-se os conjuntos de dentes (3), a bica de descarga (4) e as aberturas na estrutura do equipamento (5), por ondem passam o produto processado.

Na última fase, de avalição do protótipo, o equipamento foi submetido às condições reais de trabalho, com o objetivo de terminar o desempenho operacional do mesmo. Foram utilizados como material vegetal a palma forrageira (*Opuntia fícus – indica Mill)* e o mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC).

Durante a avaliação do protótipo foram definidas as variáveis a serem avaliadas, entre elas a qualidade do produto processado. São apresentados alguns equipamentos utilizados

durante a avaliação para peso da amostra, ensaios de resistência ao corte da palma forrageira, bem como o planejamento estatístico deste ensaio.

Por fim, como metodologia para avaliação da qualidade do protótipo durante a fase de projeto e avaliação é aplicado a análise de modos e efeitos de falha (FMEA). Sendo descrito todo o processo de elaboração, resultados e equipe que participou na execução. Os resultados obtidos são apresentados em forma de tabelas, seguindo os modelos clássicos usados na elaboração do FMEA.

O protótipo construído foi submetido às condições reais de trabalho, durante o qual surgiram limitações e necessidades de melhoria, gerando duas outras versões do projeto até encontrar a solução final, na qual atendeu aos objetivos propostos. Mostrando limitações quanto ao método e ferramentas utilizados, servido de lacunas a serem preenchidas.

3.3 Metodologia e ferramentas de projeto aplicados à mecanização agrícola desenvolvido em um estudo de caso envolvendo a colheita da palma forrageira

O estudo de caso no qual teve-se a possibilidade de utilizar uma metodologia e algumas ferramentas para MA foi através da participação como bolsista no projeto **Análise de Viabilidade de Desenvolvimento de Sistema Automatizado para Colheita de Palma Forrageira**. O mesmo foi dividido em duas fases: a primeira trabalhou a **análise de viabilidade e alternativas de conceitos de desenvolvimento de Sistema automatizado para colheita de palma forrageira** e a segunda, embora com mesmo título anterior no relatório final, trabalhou no **desenvolvimento do protótipo de um implemento agrícola para o corte e colheita de palma forrageira**. No ANEXO C podem ser vistos as cópias da primeira página de cada um dos relatórios finais, através do qual se pode conhecer a equipe de trabalho.

A seguir são apresentados os estudos desenvolvidos nas duas fases do projeto, mostrando: a metodologia adotada, as ferramentas de projeto utilizadas e os principais resultados obtidos. Desta forma, consolida-se toda a base teórica de informações necessárias à proposição da metodologia e ferramentas de projeto para MA com ênfase nos pequenos fabricantes de MIA, que será apresentada no capítulo 4.

3.3.1 Análise de Viabilidade de Desenvolvimento de Sistema Automatizado para Colheita de Palma Forrageira

A principal motivação para essa etapa do projeto pode ser descrita da seguinte forma: embora se utilize a palma, cacto típico da região do semiárido brasileiro, na alimentação do

gado em épocas de estiagem, não existem processos mecanizados para a sua colheita, o que gera empecilhos para o aumento da produtividade, impedindo a escalabilidade da colheita.

Foram estabelecidos os seguintes objetivos nessa etapa:

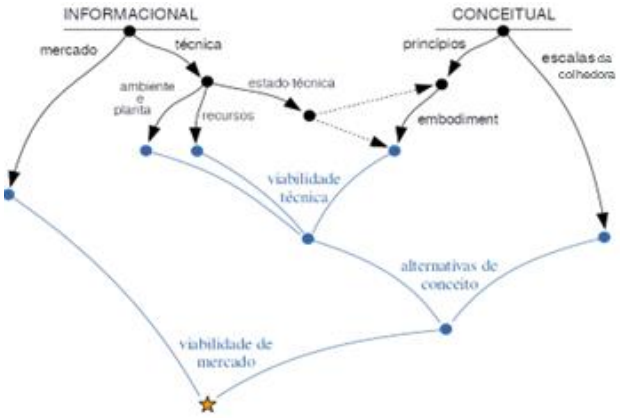
1. Coleta de dados referentes à cultura de palma forrageira junto a agricultores e levantamento das necessidades de alimentação animal junto a criadores de gado da região semiárido nordestino;
2. Levantamento de requisitos técnicos e mercadológicos;
3. Levantamento de patentes em temas afins ao projeto e verificação da oportunidade técnica de inovação;
4. Realização da análise da viabilidade de desenvolvimento do sistema.

O problema técnico científico abordado foi descrito inicialmente como: “buscar alternativas para ferramenta de corte de acordo com as características das plantas e indicativos de viabilidade. A manuseabilidade da ferramenta pelo operador no terreno também deve ser um dos fatores analisados no trabalho.”

A metodologia adotada foi a de sistematização das fases do projeto de engenharia correlacionadas no ciclo de vida de um produto e que segundo Pahl et al. (2005), Baxter (1998), Ulrich & Eppinger (2015) e Bergamo & Romano (2016), pode ser classificada da seguinte forma: fase informacional; fase conceitual, fase preliminar e fase detalhada. Esses conceitos, com algumas variações e complementações, também estão presentes em outros autores, como já mostrado no capítulo 2.

Nesta etapa do projeto foram trabalhadas as fases: informacional e conceitual, que são suficientes para atender aos objetivos estabelecidos. O fluxograma na Figura 26, adaptado de Ulrich & Eppinger (2015), representa esquematicamente as atividades a serem desenvolvidas. Algumas podem ser realizadas simultaneamente, devido à ausência de precedência, com os ganhos inerentes já apresentados sobre a engenharia simultânea.

Figura 26 – Fluxograma de desenvolvimento nas duas primeiras fases



Fonte: adaptado de Lyra et al. (2020).

Fica visível no fluxograma que as duas fases puderam ser iniciadas em paralelo, através das atividades sobre mercado e técnica na fase informacional e, princípios e escalas da colhedora na fase conceitual. Á partir daí algumas atividades só iniciam com a finalização da precedente, como é o caso da viabilidade técnica, que só é realizada com a finalização dos estudos sobre ambiente e planta, recursos e estado da técnica na fase informacional e *embodiment* (formas de realização) na fase conceitual. Com a finalização do estudo de mercado e com as alternativas de conceito, consegue-se finalizar esta etapa do projeto por meio da viabilidade de mercado.

Para uma melhor compreensão das atividades existentes no fluxograma segue uma síntese de cada uma delas:

- ✓ mercado – busca conhecer os principais aspectos relacionados à existência potencial de comercialização do produto a ser desenvolvido. Isto envolve à verificação de possíveis clientes, tamanho desse mercado, faixa de valores a serem trabalhados e se existem condições favoráveis para soluções automatizadas de colheita;
- ✓ técnica – procura nessa atividade obter todas as informações que permitam compreender: o ambiente e a planta, no caso a palma forrageira no semiárido nordestino; os recursos existentes e necessários ao desenvolvimento do projeto e, o estado da técnica atual, que busca conhecer como é realizada a colheita, a existência de patentes e soluções similares no mercado de máquinas;
- ✓ princípios e formas de realização – são atividades que estabelecem as soluções na fase conceitual para cada requisito técnico estabelecido na atividade da técnica na fase informacional. Tem a função de desenvolver todas as ações necessárias ao processo de colheita da palma forrageira;

- ✓ viabilidade técnica – nessa atividade consegue-se estabelecer a existência de soluções técnicas viáveis, baseadas em todas as informações levantadas nas atividades anteriores, permitindo avançar no projeto, caso conclua-se que é viável;
- ✓ escalas da colhedora – nessa consegue-se compreender os volumes e dimensões que estarão envolvidas nas soluções a serem trabalhadas, por meio da necessidade de alimentação animal diária e do que necessita ser colhido e/ou armazenado. Lembrando que o preço final de uma máquina ou implemento agrícola está diretamente relacionado com o seu porte e não pode ultrapassar os limites que o viabilizem economicamente;
- ✓ alternativa de conceito – são trabalhadas as soluções viáveis tecnicamente já com as escalas da colhedora definidas, fazendo uso de técnicas e ferramentas de projeto que permitam estabelecer duas ou três soluções conceituais;
- ✓ viabilidade de mercado – é a atividade de fechamento desta etapa do projeto, tendo por finalidade avaliar, com as informações obtidas sobre o mercado e com as alternativas de conceito estabelecidas, a existência da viabilidade econômica para a continuação do projeto e início das demais fases previstas na sistematização de fases: fase preliminar e fase detalhada.

As ferramentas aplicadas nesta etapa do projeto com uma breve informação sobre as mesmas foram:

- ✓ perguntas – realizadas em reuniões e visitas com especialistas da área envolvida;
- ✓ formulário (questionário) – aplicados presencialmente ou disponibilizados para resposta na *internet* com uso dos recursos de compartilhamento em nuvem direcionado a produtores e especialistas;
- ✓ revisão bibliográfica – consulta direcionada a cultura da palma forrageira e região do semiárido nordestino;
- ✓ instrumentos básicos de metrologia – para realização da análise dimensional da palma;
- ✓ microscópio cofocal – utilizado na realização da microscopia eletrônica da palma;
- ✓ fotografia e vídeos – com registros da cultura da palma, contribuindo no estudo da fisiologia, características da palma, manejo e ambiente;
- ✓ cálculos e estatísticas com geração de tabelas, gráficos e mapas – com os dados coletados na revisão bibliográfica;
- ✓ ensaios mecânicos – para a estimativa dos esforços de corte na palma;
- ✓ pesquisa de patentes – consulta a base de patentes sobre colheita de palma forrageira;
- ✓ pesquisa em bases de vídeos – para busca de soluções aos requisitos estabelecidos;

- ✓ pesquisa em máquinas e implementos existentes no mercado – na empresa participante do projeto;
- ✓ Diagrama MEI (Matéria – Energia – Informação) – para definir de forma gráfica toda transformação da matéria;
- ✓ Quadro Morfológico – auxiliar nas escolhas das soluções a serem trabalhadas;
- ✓ FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) conceitual – utilizado para prevenir falhas e analisar os riscos de um processo;
- ✓ Programas de CAD (*Computer Aided Desing)* – para realização dos croquis com as soluções conceituais.

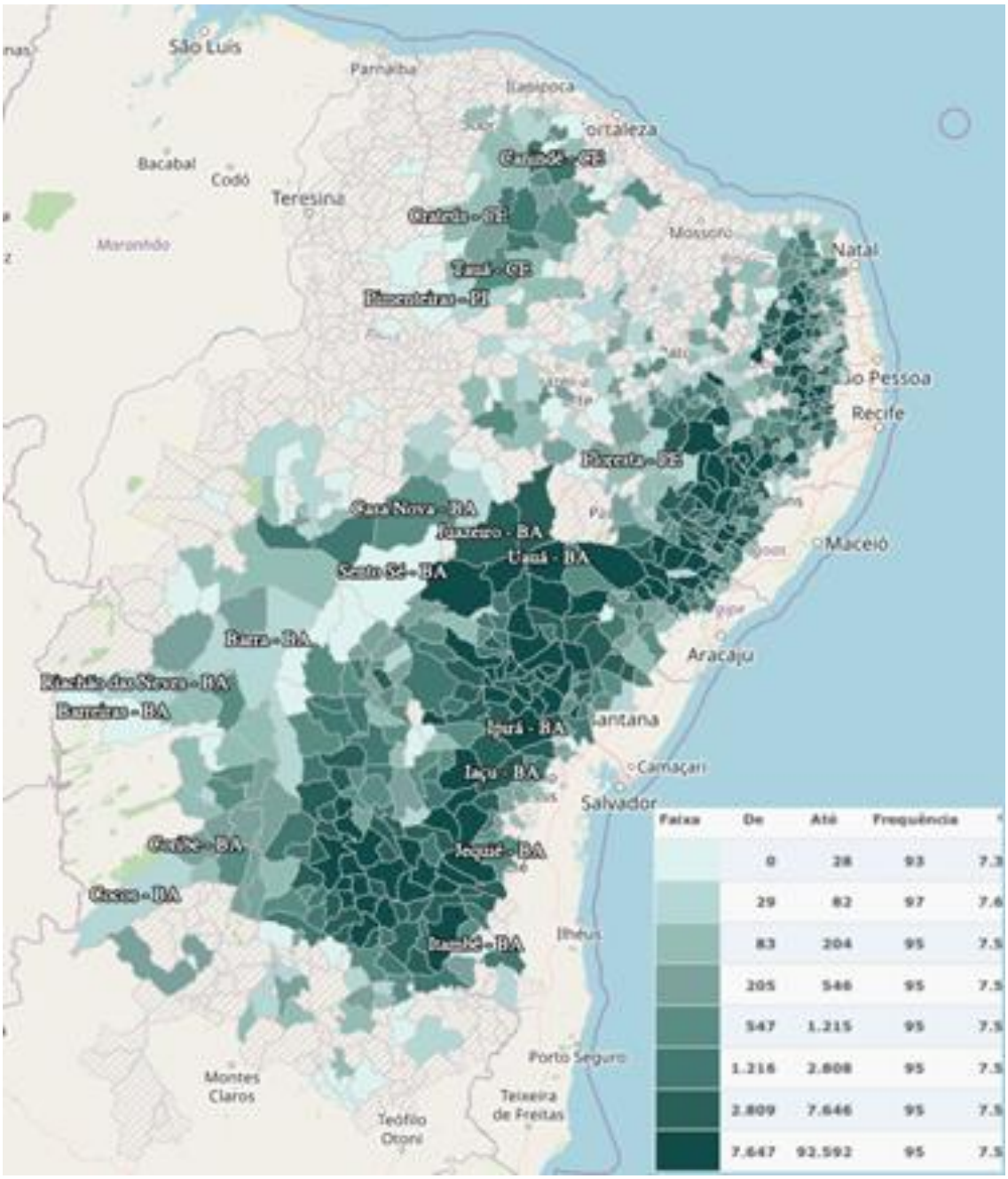
O desenvolvimento desta parte do projeto seguiu um cronograma de atividades com duração de 3 meses, conforme pode ser visto no APÊNDICE D. Uma síntese das atividades desenvolvidas na fase informacional e fase conceitual são apresentados na sequência.

- ✓ **Fase informacional**

Para o estudo de **mercado** utilizou-se na coleta de dados as seguintes fontes: questionário (ver APÊNDICE E), entrevistas e reuniões (presenciais e *on-line*) com agricultores, criadores de gado e especialistas na cultura de palma forrageira da região; dados do censo agropecuário 2017 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019); dados de pesquisa bibliográfica e, dados de visitas a campo na unidade da Embrapa Semiárido em Petrolina-PE e na fazenda Santa Maria em Itaíba-PE.

Por meio das informações obtidas nas entrevistas, reuniões e nas visitas, ficou evidente que existe um anseio no mercado pelo desenvolvimento de uma solução mecanizada e até mesmo automatizada para a palma forrageira no semiárido do Brasil. Desta forma seguiu-se a análise da presença de *mercado* para mecanização e ou automatização da colheita, com cálculos e estimativas dos dados socioeconômicos do semiárido brasileiro disponibilizados pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (2018), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2005) e censo agropecuário 2017 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019), gerando os mapas com os dados georreferenciados nos municípios do semiárido. Estes mapas estão ilustrados na Figura 27 para produção de palma em toneladas, na Figura 28 para o número de bovinos e na Figura 29 para o número de tratores existentes.

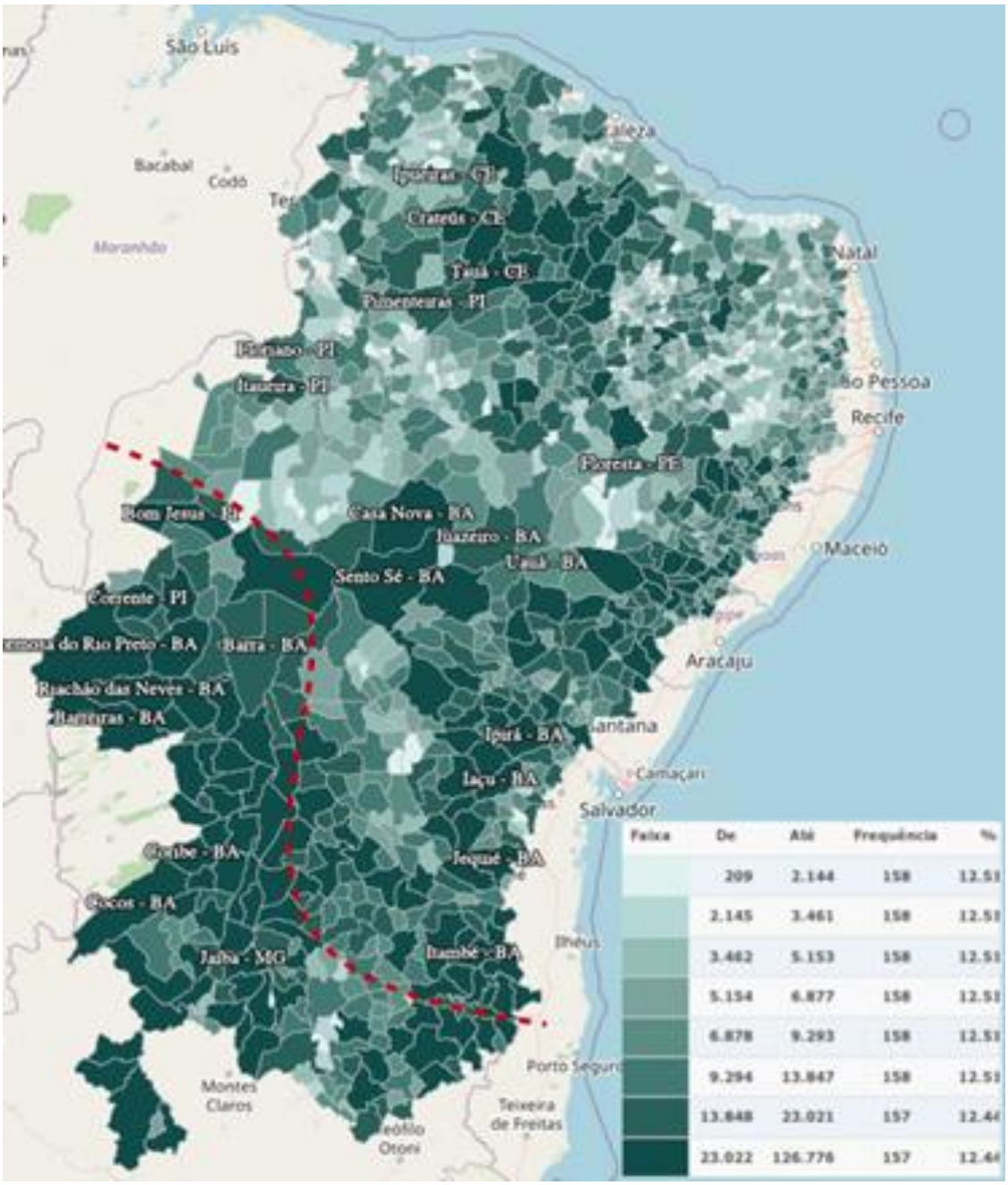
Figura 27 – Produção de palma nos municípios do semiárido [toneladas]



Fonte: Lyra et al. (2020).

A produção de palma, em toneladas, observada por município na Figura 27, mostra uma concentração da produção na região do semiárido mais próxima ao litoral leste, com exceção de uma concentração na região do município de Boa Viagem-CE, próxima ao litoral norte. Além disso, nota-se maior difusão da produção de palma no interior do estado da Bahia.

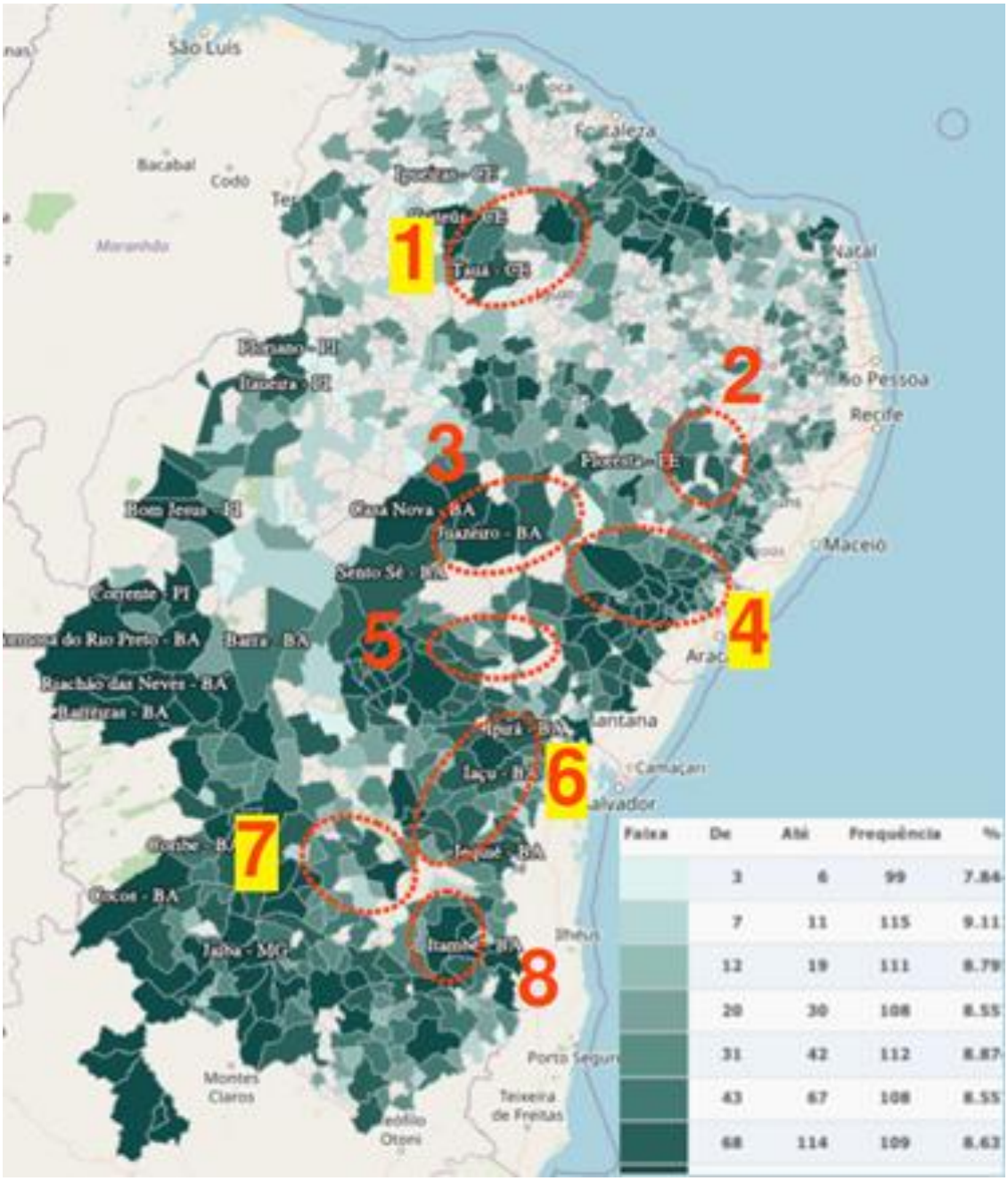
Figura 28 – Número de bovinos nos municípios do semiárido



Fonte: Lyra et al. (2020).

A distribuição do número de bovinos apresentada na Figura 28 possibilita observar que existe uma difusão ao longo de todo semiárido. Com exceção do semiárido sul e oeste da Bahia. Um aspecto importante é que as regiões de maior concentração de bovinos coincidem, aproximadamente, com as regiões de maior concentração da produção de palma.

Figura 29 – Número de tratores nos municípios do semiárido



Fonte: Lyra et al. (2020).

A distribuição do número de tratores, que representa a existência de mercado de mecanização no semiárido, é apresentada no mapa na Figura 29, da qual se observa uma distribuição ao longo de toda região, porém mais descontínua/fragmentada que as da produção de palma e número de bovinos, vistos, respectivamente, nos mapas nas Figura 27 e 28.

Fica perceptível nos mapas destas figuras que há mercado, por meio da observação das informações sobre produção de palma, número de bovinos e número de tratores.

Estão destacadas na Figura 29 com círculos numerados as regiões que apresentaram intersecção comum, portanto, com expectativa de maior potencial comercial, pela concentração das três variáveis analisadas. Aparentemente, a região de maior potencial estratégico-operacional é a região 6 (município de Ipirá-BA), devido a sua concentração nas três variáveis, área relativamente grande, posição central à outras regiões de destaque (1 a 5, 7 e 8) e sua proximidade com o município de Salvador, capital do estado da Bahia.

Em relação a **técnica**, utilizou-se das mesmas fontes de dados das usadas para o mercado, acrescidas de análise dimensional, microscopia cofocal de uma amostra de palma forrageira adquirida para esta finalidade e de ensaios mecânicos para definir esforço de corte. Também se fez uso de algumas bases de patentes, vídeos em redes sociais sobre colheita de palma, outras soluções existentes e por fim, uma pesquisa em máquinas e implementos de uma indústria nacional atuante no mercado de pecuária. Esses dados permitiram desenvolver as atividades da técnica relacionadas ao ambiente e planta, recursos e estado da técnica.

Em relação ao **ambiente**, verifica-se que a região semiárida apresenta uma diversidade muito grande em relação aos tipos de solo. O conceito de solo aqui adotado é o Cunha et al. (2010):

> *O solo não se resume apenas às suas partículas minerais, mas sim, a um conjunto composto de minerais, matéria orgânica, organismos vivos, água e ar, cujo equilíbrio é essencial para processos vitais e reflete no potencial produtivo e na sustentabilidade agrícola.*

Em Santos (2017) verifica-se 13 tipos de solo no semiárido brasileiro, sendo o Latossolos Vermelho, com 21,0% da área o mais predominante. A maior parte dos solos usados em plantações de palma forrageira é voltado para condições favoráveis de plantio e colheita, com topografia suave e plana. O terreno destaca-se por apresentar pouco declive e solo argiloso sobre arenoso. Esse tipo de solo beneficia a raiz da palma que tem características de crescimento na forma horizontal e rasa, com até 0,2 metros de profundidade e que deverá ser considerado também como requisito básico a ser atendido nas soluções propostas. Por esse motivo, mesmo os solos cristalino rochosos com pouca camada de solo argilosos, podem ser usados no cultivo da palma forrageira.

Em relação à **planta**, segundo informação do Suassuna (informação verbal)[1] e Dubeux Jr et al. (2017) pode-se afirmar que a palma forrageira é formada aproximadamente por 90% de água e 10% de matéria seca, devendo ser utilizada como um dos componentes da ração diária,

[1] Informação fornecida pelo Alberto Suassuna durante reunião em vídeo conferência no 17 de abril de 2020 por meio da ferramenta Google Meeting com a presença de todos os envolvidos no projeto.

aumentando o volume de ração disponível e tornando-se fonte de água. A proporção de utilização de palma forrageira pode ser feita em até ⅔ da dieta em rebanhos segundo informação do Suassuna (informação verbal)[1].

A Figura 30 apresenta os cultivares Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta Haw*), Gigante (*Opuntia cochenillifera*) e Miúda (*Napolea cochenillifera Salm Dyck*). Nela é possível iniciar as observações sobre a fisiologia vegetal e de algumas características desses cultivares, como a existência de variações dimensionais, de formato e tamanho das raquetes. Esses cultivares foram escolhidos por serem os mais utilizados atualmente, com o crescimento de utilização da Orelha de Elefante Mexicana e Miúda por serem resistentes a cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae*).

Figura 30 – Cultivares de Palma Forrageira do Nordeste do Brasil

a) orelha de elefante
Fonte: Tadeu Voltolini

b) gigante
Fonte: próprio autor

c) miúda
Fonte: Tadeu Voltolini

Na Tabela 6 são apresentados alguns dos resultados obtidos na análise dimensional de nove raquetes da palma gigante e 12 raquetes da palma miúda (raquetes pertencentes à uma pequena amostra adquira pelo projeto na internet em uma propriedade do estado do Espírito Santo, tendo em vista as dificuldades provenientes da pandemia da Covid que inviabilizou uma visita a fazendas produtoras e aquisição de amostras maiores). Foram realizadas as análises no laboratório Numa (Núcleo de Manufatura Avançada, da Engenharia de Produção – EESC/USP).

Os resultados encontrados mostram uma grande variação nas dimensões entre raquetes da mesma variedade e, também, entre as duas variedades. Como os ambientes de produção apresentam diversidades de cultivos, relacionados a densidade, espaçamentos com linhas simples e duplas, áreas irrigadas ou de sequeiro e período predominante de colheita, tendem a influenciar ainda mais nas variações dimensionais.

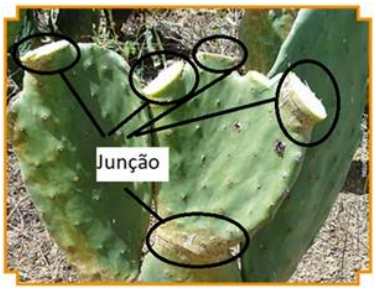
Tabela 6 – Análise dimensional da Palma Gigante e Miúda

	Palma Gigante				Palma Miúda		
Estatística	média	stdev	cov	Estatística	média	stdev	cov
Informação	mm	mm	%	Informação	mm	mm	%
Altura	287	42	15%	Altura	191	31	16%
Largura (75%h)	139	18	13%	Largura (75%h)	64	9	14%
Largura (50%h)	156	28	18%	Largura (50%h)	63	10	16%
Largura (25%h)	126	17	14%	Largura (25%h)			
Diâmetro nó inf.	40	7	19%	Diâmetro nó inf.	25	9	38%
Espessura max	23	4	20%	Espessura	13	5	40%
Ângulo plano				Ângulo plano	19	28	146%
Ângulo torção				Ângulo torção	31	43	140%
stdev - desvios padrões							
cov - coeficiente de variação ou razão entre o desvio padrão e a média							

Fonte: próprio autor.

Um dos locais de maior interesse nessas dimensões é da faixa de altura em relação ao nó inferior da palma terciária, ou seja, de junção entre a palma secundária e terciária, ver Figura 31. Essa era considera por Voltolini et al. (2016a) como altura de referência para corte. Neste caso obteve-se na Palma Gigante valores entre 400 a 750 mm e na Palma Miúda ficou entre 250 a 500 mm.

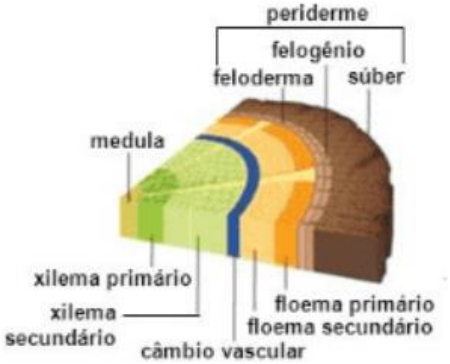
Figura 31 – Imagem da altura de corte da palma forrageira



Fonte: Voltolini et al. (2016a).

Alguns aspectos da fisiologia vegetal colaboram para o entendimento das diferentes partes da planta em estudo, entre elas: o súber que é o tecido vegetal de proteção mecânica e impermeabilizante conhecido como "casca", o floema que é o tecido das plantas vasculares encarregados de levar produtos fotoassimilados do caule até à raiz e o xilema que é o tecido vegetal que leva a seiva bruta da raiz até às folhas, estes estão presentes na Figura 32.

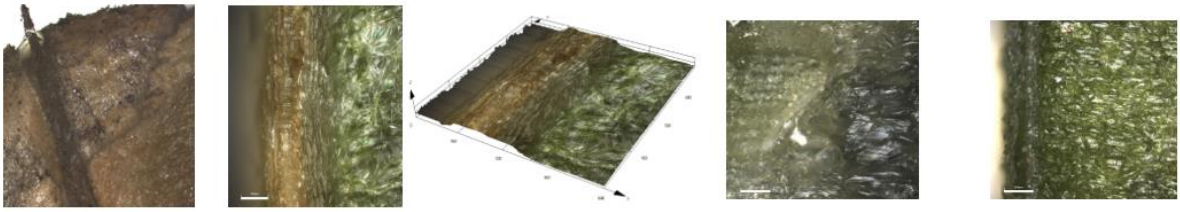
Figura 32 – Corte do caule vegetal mostrando diferentes tecidos



Fonte: Mira (2022).

Procurando então verificar a fisiologia vegetal das espécies da palma forrageira adquiridas, foi realizada observações das espécies em microscópio confocal, alguns dos resultados estão ilustrados na Figura 33.

Figura 33 – Análise em microscópio confocal em amostras de palma forrageira



a) b) c) d) e)

a) Região de espinho palma miúda;
b) Região de transição entre súber e xilema da palma miúda;
c) Topologia do corte da palma miúda;
d) Região de destaque do xilema da palma gigante;
e) Região de transição entre súber e xilema da palma gigante.

Fonte: Lyra et al. (2020).

As porções analisadas nas imagens foram feitas na região de nó da planta e da superfície da planta, já ilustrada na Figura 33. As estruturas do nó focaram na transição do súber, floema e xilema. A imagem de topologia do corte mostra que a região do súber apresenta maior altura que a região do xilema ou floema, esse resultado pode ser explicado devido a região do floema e xilema perderem mais líquido na superfície de corte e que o súber é a estrutura mais fibrosa e rígida. Estes conceitos influem em como e onde realizar o corte da planta no processo de colheita.

O porte que as plantas atingem, o espaçamento utilizado, o período certo para fazer a colheita são imprescindíveis como requisitos nas buscas das soluções de mecanização. Algumas

recomendações de plantio e manejo encontram-se no trabalho de Voltolini et al. (2016a), delas destacam-se:

> *• A época de plantio deve ser pelo menos um mês antes do início da estação chuvosa;*
> *• O plantio pode ser feito em covas de 20 cm x 20 cm x 20 cm ou em sulcos com profundidades de 20 cm a 30 cm;*
> *• Os sulcos podem ser feitos por trator, tração animal ou manualmente ou com enxada;*
> *• Nas regiões onde se usa o plantio adensado, o espaçamento entre as linhas deve ser de 1,80 m a 2,0 m para as variedades de raquetes grandes e de 1,40 m para a palma Miúda*;

Nos itens acima e também em Rocha (2012) e Silva (2017) fica clara a existência de variações de espaçamento entre plantas e entre linhas (linhas simples e linhas duplas), que influenciarão significativamente no manejo, desenvolvimento das plantas e, consequentemente, em várias definições relacionadas às soluções para colheita mecanizada.

Como já abordado, o corte manual é realizado por meio de facas, facões ou foices. Um exemplo dessa forma de corte está representado na Figura 34.

Figura 34 – Corte manual de palma forrageira

Fonte: próprio autor.

Estas ferramentas de corte devem estar limpas, afiadas e desinfetadas de acordo com Voltolini et al. (2016b) e pode ser um fator limitante no corte mecanizado. Relatos mais recentes feitos por agricultores e zootecnistas da região semiárida indicam que o corte pode ser feito em qualquer região da raquete da palma, sem afetar o brotamento ou apodrecimento das partes, confirmadas por Voltolini (informação verbal)[2] e por Suassuna (informação verbal)[1]. Embora existam propriedades que utilizem a palma praticamente durante todo o ano, o usual é que o

[2] Informação fornecida pelo Dr. Tadeu Votolini durante reunião em vídeo conferência no 24 de abril de 2020 por meio da ferramenta Google Meeting com a presença de todos os envolvidos no projeto.

corte é feito nas estações secas, em que o clima é quente e árido, favorecendo para que a região de corte resseque, promovendo a cicatrização sem que ocorra a proliferação de microrganismos responsáveis pelo apodrecimento.

Outro aspecto em relação ao corte, é o esforço de corte, que é um dos mais importantes aspectos da MA (DONGDONG; JUN, 2016). O conhecimento de um valor de referência para o esforço de corte é necessário para que se possa realizar o dimensionamento de estruturas adjacentes ao instrumento de corte da palma.

Os resultados dos esforços de corte foram obtidos durante o projeto e desenvolvidos em parceria com a UNIVASF, responsável pelos ensaios e, a Embrapa Semiárido que forneceu as amostras de palma de três variedades: Miúda, Orelha de Elefante Mexicana e Gigante. Os ensaios foram de Compressão e Charpy em um total de 300 amostras de Palma (de três espécies diferentes).

O Ensaio de Compressão foi baseado na norma NBR 7190:1997 (voltado para ensaio de fibras e madeiras). A Tabela 7 apresenta um resumo dos principais resultados do ensaio de Compressão.

A maior força de compressão observada dentre as três espécies foi de 753,30 N para Palma Gigante. Esse resultado é importante pois o dimensionamento do equipamento deve ser feito na condição crítica, ou seja, o de maior valor obtido e que exige maior esforço de corte do implemento agrícola.

Tabela 7 – Principais resultados do Ensaio de Compressão

Espécie	Espessura [mm]		Força Média [N]	Força Máx. [N]	Deformação Máx [mm]	Tensão Máx [Mpa]
	min	máx				
Palma Miúda	9,2	26,7	220,75	485,82	13,9	0,54
Palma Orelha de Elefante	14,6	26,2	227,85	439,43	11,5	0,44
Palma Gigante	15,3	34,6	379,76	753,3	11,7	0,59

Fonte: Lyra et al. (2020).

O Ensaio Charpy seguiu a norma ASTM D6110-10 (2002), corpos de prova de comprimento de 150 mm, espessura variável e altura utilizada de ensaio de 17 mm, em equipamento próprio do laboratório. A espessura não foi padronizada de modo a verificar diferentes regiões de corte e simular uma condição de variação de corte (mais próxima da realidade do implemento agrícola).

A Tabela 8 resume os principais resultados de mínima e máxima para a espessura dos corpos de prova e energia obtida dos ensaios.

Tabela 8 – Principais resultados do Ensaio Charpy

Espécie	Espessura [mm]		Energia [J]	
	mín	máx	mín	máx
Palma Miúda	8,83	19,9	0,25	0,9
Palma Orelha de Elefante	10,2	22,3	0,3	1,125
Palma Gigante	11,6	21,2	0,425	1,175

Fonte: Lyra et al. (2020).

A maior energia observada dentre as três espécies de Palma foi de 1,175 J da Palma Gigante. Para criar uma referência com o de ensaio de compressão, pode-se aproximar a força dividindo a energia obtida pela espessura da amostra. Para o caso de energia máxima o valor obtido foi de 1,175 J com a espessura da amostra de 18,80 mm que resulta em 62,50 N. Entretanto, um ponto importante a ser explicado é que a natureza da força de compressão é diferente da natureza da força do ensaio Charpy que pode ser considerado um esforço de natureza de cisalhamento. No cisalhamento a velocidade de impacto do equipamento no corpo de prova influencia na dinâmica de corte. É importante notar que a máquina em operação terá um esforço de corte muito menor que o calculado pelo ensaio de compressão.

A análise feita neste trabalho compreende valores superestimados que atendem situação crítica de operação, com o dimensionamento para o corte de regiões mais resistentes. Sendo que para a compressão a força encontrada foi de 753,30 N e para o cisalhamento foi de aproximadamente 62,50 N. É recomendado ensaios futuros com o próprio instrumento de corte escolhido para se obter um valor da força de corte com maior precisão.

Em relação às atividades envolvidas após a colheita e que fazem parte dos requisitos técnicos a serem atendidos, o valor obtido foi de como principais o transporte e o armazenamento. O transporte precisa ser compatível com o volume colhido e meios disponíveis na propriedade, tais como carretas, carroças, carro de mão, entre outros, sempre na busca do menor custo possível. Já o armazenamento da palma forrageira pode ser feito em ambiente coberto ou aberto; sendo que o mais comum na região semiárida é o uso de ambientes abertos, sem que tenha o risco de apodrecimento. Entretanto, quando colhida mecanicamente em que há a trituração dos cladódios, o material deve ser fornecido e não armazenado, para que não fermente.

Como explicado anteriormente, o corte sendo realizado na estação seca, a palma pode ser armazenada por um período de 16 até 21 dias, sem perda expressiva de peso e de propriedades nutricionais, segundo Suassuna (informação verbal)[1]. Um fator importante a ser relatado é que a danificação da palma no transporte, pode diminuir o tempo de estocagem. Se deve picar ou triturar a palma forrageira, na hora de servir aos animais (VOLTOLINI et al., 2016b).

Em relação ao **Estado da Técnica**, através da consulta de patentes, encontrou-se somente três patentes específicas à colheita da palma forrageira, ver ANEXO D. Nenhum destes resultados se mostraram bem aceitos pelo mercado, pois não ocorreu a adoção de nenhum deles, até a finalização desse estudo. Foi surpreendente também a ausência de patentes para soluções de colheita da palma no México, já que seu cultivo é tradicional no país, estando inclusive como um dos símbolos de sua bandeira.

Em relação as essas patentes, constatou-se que são implementos movidos por trator, com acionamento elétrico, hidráulico ou mecânico, com alguns poucos graus de liberdade para ajuste e que cumprem algumas funções adicionais à colheita, como trituração/fatiamento e manejo das raquetes. A função adicional de trituração/fatiamento força a utilização imediata da palma colhida, não podendo ser armazenada. Este aspecto tende a elevar os custos de logística e transporte envolvidos, já que o armazenamento da palma para uso posterior não pode ser feito.

Para a pesquisa de vídeos e outras soluções existentes, embora em maior quantidade e variedade, também não se viu a adoção pelo mercado dos mesmos. Destes, dois vídeos chamaram mais atenção e são abordados no Quadro 11.

O primeiro vídeo é uma tentativa de uso de um equipamento utilizado para colheita de forragens na palma forrageira. O segundo é o desenvolvimento de um projeto em CAD de um implemento para colheita da palma forrageira.

Tanto nas patentes como nos vídeos, o princípio mais utilizado para o corte foi de cunha encorpado em lâminas (em 6 de 8 casos), entretanto, foram encontradas evidências de outros princípios aplicáveis.

Quadro 11 – Levantamento de equipamentos com princípio de colheita

Máquina de colheita de outras forragem (milho/cana) usada para palma	
	https://www.youtube.com/watch?v=EFy1zV4ufH0 https://www.youtube.com/watch?v=v9MRs3DWjms Princípio de corte de cunha incorporado em discos giratórios. Esporas giram junto com discos para direcionar palma. O disco opera próximo do solo.
Máquina colhedora e processadora de palma forrageira	
	https://www.youtube.com/watch?v=xp1IAB6_psw Bem detalhada e, aparentemente, bem desenvolvida, mostrada a nível de CAD. Vídeo data de 2018, consiste num implemento com função de colheita e trituração da palma colhida. O princípio de corte é o da cunha incorporado em lâminas que, aparentemente, se movimentam. No vídeo são apresentados alguns dados da máquina. Pode ser considerada como benchmark. Em busca no INPI pelo nome do inventor, foi encontrada a patente de modelo de utilidade BR 20 2015 031188 0 U2, porém não foi possível acessar o documento do pedido para verificação da geometria da máquina.

Fonte: Lyra et al. (2020).

Conclui-se que, dado o número extremamente reduzido de patentes de colhedoras, que há bom potencial para aceitação de pedido de patente de solução para colheita de palma forrageira. Caso o desenvolvimento do produto resulte em equipamento semelhante a algum já existente, poderá ser requerida patente de modelo de utilidade.

Foi realizado também uma busca de soluções na empresa Casale, fabricante de equipamentos para pecuária, que teve participação ativa neste estudo, contribuindo com sugestões e aprovações em várias das etapas realizadas. Essa busca foi elaborada a partir de informações públicas oriundas do site da empresa e documentos de patentes publicados no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) referentes aos equipamentos da empresa. Para a pesquisa de patentes foram utilizados os termos de busca {Nome do Depositante: CASALE EQUIPAMENTOS LTDA} e {Nome do Inventor: CELSO LUIS CASALE}.

No Quadro 12 tem-se um exemplo com os resultados dessa busca e que servem para o desenvolvimento das soluções na fase conceitual, por meio da análise dos equipamentos da empresa orientando e integrando o projeto da nova solução às condições já existentes.

Quadro 12 – Benchmark de princípios construtivos nos produtos Casale

Equipamento	Características
Sega-pasto Pat. BR 102017011085-0 A2 (2017) Pat. MU 8701110-7 Y1 (2007)	Colhedora de forragem
	F30B. Roda com pneu (9L15) F40B. Entrada de cardan (540rpm/60CV) F50A. Caixa de transmissão F50B. Correia F60A. Chassi de chapa F70A. Regulagem hidráulica de altura de corte(50-200mm). F80A. Válvula hidráulica F80B. Pino e furo (regulador de posição horizontal para circulação) F90A. Veículo trator Outros interessantes: macaco para engate; altura limitada por angulação de cruzeta do cardan

Fonte: Lyra et al. (2020).

✓ **Fase conceitual**

Essa fase do projeto utiliza os aspectos básicos que independem do tamanho do maquinário agrícola. Com os requisitos técnicos delineados na fase do projeto informacional, foi possível trabalhar nos **princípios e formas de realização** por meio de um questionário, ver APÊNDICE F, com foco em agentes envolvidos na colheita de Palma. A visão dos agentes junto com a visão dos membros do projeto guiou para um conjunto de soluções para cada requisito técnico.

No Quadro 13 estão sumarizados os 2 princípios mais votados no questionário para cada função, notando que houve satisfatório consenso para todos tópicos de votação. Com as alternativas foi possível propor opções para a arquitetura completa da máquina que sejam coerentes com a expectativa do público votante. Também foram aplicadas as informações coletadas na revisão do estado da técnica na Casale, criando a seguinte classificação de cores para as soluções apresentadas:

- Amarelo: conceitos inovadores aos dos produtos Casale;
- Magenta: conceito inovador às colhedoras da Casale;
- Verde: produtos de prateleira de fornecedor já empregados nos produtos Casale;

- Azul: produtos já existentes em outros equipamentos Casale que podem ser reaproveitados no projeto.

Quadro 13 – Princípios e formas de realização mais votados

Função	1º mais votado (A)	2º mais votado (B)
F10.Separar matéria/moléculas	Lâmina giratória: serra circular/disco de corte	Lâmina giratória: faca giratória (helicóptero)
F20.Direcionar/guiar/transportar a porção de palma separada	Atrito/cisalhamento: esteira	Gravidade: anteparo inclinado
F30.Mover-se pelo campo	Fixo ao trator/flutuante	Rotação: Roda
F40.Captar energia para transmitir ao separador	Fonte hidráulica: motor hidráulico	Fonte cinética: cardan (motor do trator)
F50.Transmitir energia ao separador	Rotação: engrenagem	Rotação: correia
F60.Suportar os componentes	Chassi/pórtico de chapa	Chassi/pórtico tubular
F70.Ajustar altura de separação	Fluídico: pistão hidráulico	Anteparo: pino e furo
F80.Travar altura	Fluídico: Válvula Hidráulica*	Anteparo: pino e furo
F90.Acomodar o operador	Veículo: Trator	Veículo: Moto

* Complementar ao pistão hidráulico.

Fonte: Lyra et al. (2020).

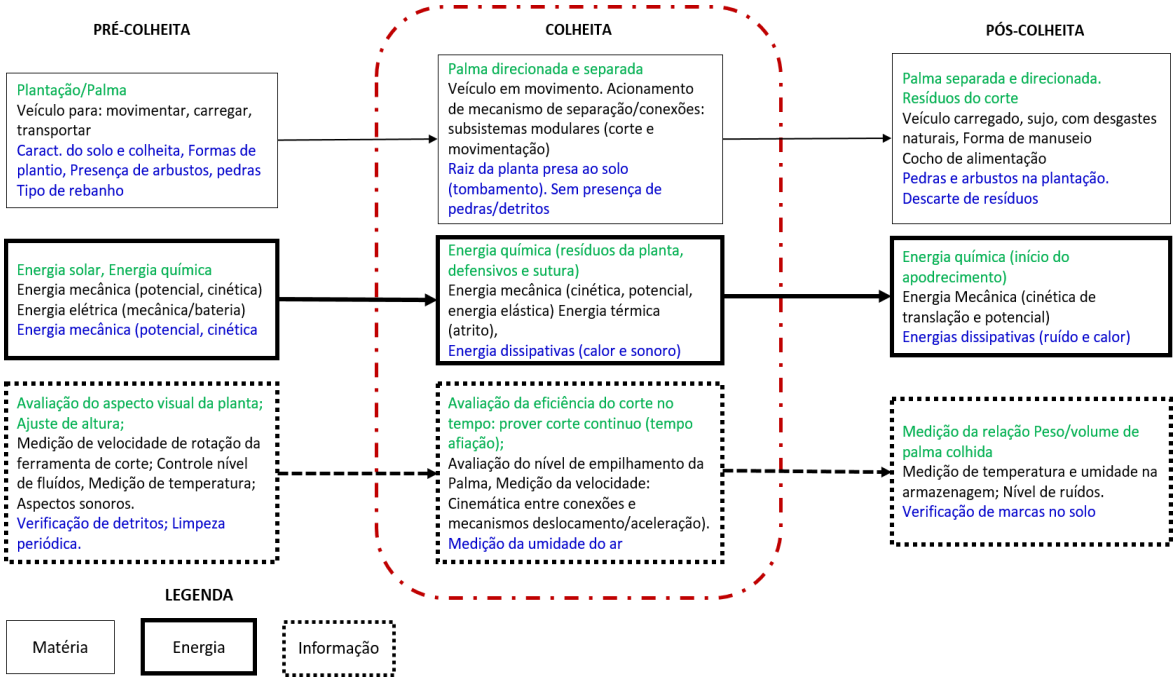
Os resultados do questionário indicam:

- ✓ solução de corte para os entrevistados segue o modelo observado em outras lavouras, como colhedoras de cana-de-açúcar que usam Lâminas giratórias;
- ✓ utilização de acoplamento (seja por trator ou por moto) indicam que o processo de mecanização do implemento deve considerar o corte e o transporte ao longo da colheita;
- ✓ soluções de corte utilizam sistemas rotativos, indicando familiaridade dos entrevistados com estes mecanismos de corte. Esse fator é importante pois indica a aceitação do consumidor em relação ao implemento.

Com o objetivo de verificar a transformação da matéria dos principais componentes que interagem com o equipamento agrícola antes, durante e depois da colheita foi desenvolvido um diagrama MEI (Matéria - Energia - Informação), baseado nos diagramas de bloco e caixa preta proposto por Pahl et al. (2007) e, que contribuem para definir as funções e subfunções a serem desempenhadas pelo equipamento. Desta forma compreende-se os conceitos físicos e contribui com a análise e definição de **viabilidade técnica,** além de ampliar as alternativas de solução no corte e colheita da Palma. As etapas analisadas no diagrama MEI contam com a pré-colheita, a colheita e a pós-colheita. Na Figura 35 é possível observar a transformação de cada Matéria. As transformações relacionadas a Palma estão em verde, as relacionadas ao veículo

(implemento) estão em preto enquanto que outros fatores como solo e presença de arbustos e pedras estão em azul.

Figura 35 – Diagrama MEI para a colheita de Palma



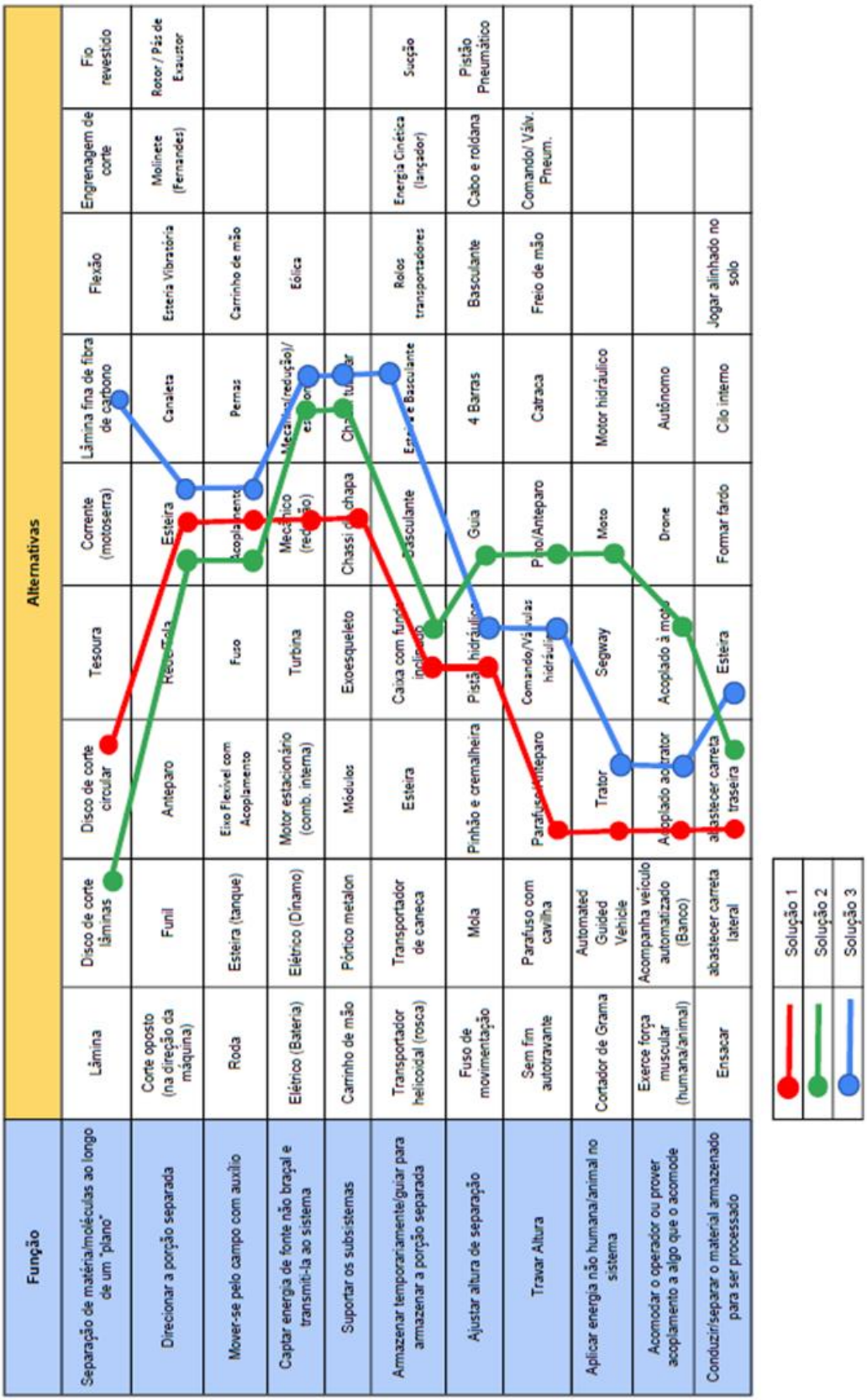
Fonte: Lyra et al. (2020).

A viabilidade técnica do projeto se mostrou favorável, tendo em vista todas as informações obtidas da fase informacional (tanto de mercado e quanto técnica), dos princípios e formas de realização e das informações do Diagrama MEI, que consolidam a existência de soluções viáveis. Estas são trabalhadas na próxima atividade: **alternativas de conceito.**

As alternativas de conceito nas quais se encontra a função e as alternativas é realizada por meio de um quadro morfológico, ilustrado na Figura 36. Nas cores vermelho, verde e azul tem-se as escolhas para cada função, de uma das alternativas, criando três soluções distintas para mecanização da colheita da palma forrageira. As escolhas foram definidas em reuniões especificas, baseado na experiência dos membros com participação de engenheiros da CASALE.

O FMEA Conceitual foi aplicado para analisar quais os efeitos, modos e causas das prováveis falhas de cada um dos parâmetros de projeto escolhidos nas três soluções definidas no quadro morfológico. Na Tabela 9 é apresentado parte dos resultados do FMEA Conceitual, de maneira que se consiga compreender como as informações foram utilizadas na concepção final das soluções adotadas. Nesta tabela são apresentados os resultados para três parâmetros de projeto selecionados na solução conceitual 1 (cor vermelha), que são: disco de corte circular, esteira e acoplamento.

Figura 38 – Quadro morfológico com três soluções definidas



Fonte: Lyra et al. (2020).

Tabela 9 – Solução 1 - FMEA (Análise de modo e efeito de falhas)

Parâmetros de projeto	**Efeitos da Falha**	**Modos de falha**	**Causas da falha**
Disco de corte circular	- Quebra da ferramenta	- Corte irregular das palmas - Tempo maior de corte - Folga no aperto (momento torsor) da ferramenta no suporte	- Desgaste do perfil de corte - Desalinhamento (momento fletor elevado) - Tocos de arbustos remanescentes na área - Pedras existentes no terreno
Esteira	- Movimento descontínuo. - Perda pelas laterais de palma	- Escorregamento excessivo da correia sobre polias - Solo desnivelado	- Deformação excessiva/desgaste da correia; - Desalinhamento causada por velocidade muito baixa/sem pré-carga; - Desgaste devido a pré-carga excessiva.
Acoplamento	- Ruído excessivo - Dificuldade de conduzir	- Desgaste dos elementos da união; - Dificuldade no desengate e engate.	- Desgaste por desalinhamento- aumento da força cortante; - Desgaste adesivo; - Desgaste abrasivo; - Falta de lubrificação; - Excesso de torque em variação brusca de velocidades;

Fonte: Lyra et al. (2020).

Na linha 1 da Tabela 9 apresenta-se para o parâmetro de projeto, o disco de corte, sendo o efeito da falha a quebra da ferramenta. Pressupõe três modos de falha: corte irregular das palmas, tempo maior de corte e folga no aperto (momento torsor) da ferramenta no suporte. Como causas da falha: desgaste do perfil de corte, desalinhamento (momento fletor elevado), tocos de arbustos remanescentes na área e pedras existentes no terreno. De forma semelhante foram obtidas informações de todos os parâmetros de projeto para as três soluções definidas no quadro morfológico, permitindo avançar para etapa final, ou seja, desenvolver os croquis com as soluções.

A Figura 37 ilustra os croquis das Soluções 1 e 2. A solução 1 é de maior porte, para tração por trator, enquanto a solução 2 é de menor porte para ser tracionada por moto. Ambas têm conceito de corte e recolhimento da palma de forma similar, prevendo um reservatório para recolhimento da palma que será transportada até a área de armazenamento.

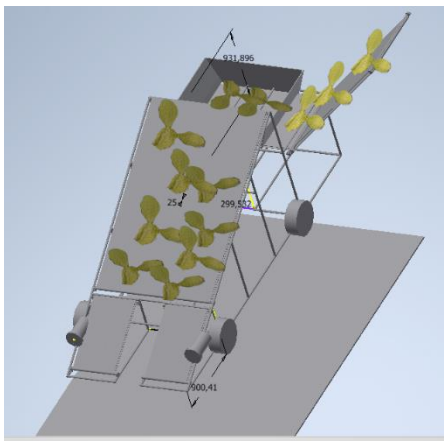
Figura 37 – Croquis das Soluções 1 e 2

a) – Solução 1 b) – Solução 2

Fonte: Lyra et al. (2020).

O croqui da Solução 3 é apresentado na Figura 38, tendo sido desenvolvido com mais soluções inovativas e disruptivas em relação ao corte, o que exigem maior grau de pesquisa e inovação. Todas as soluções conceituais tiveram a aprovação final da equipe de Engenharia e Diretoria da CASALE.

Figura 38 – Croqui da Solução 3



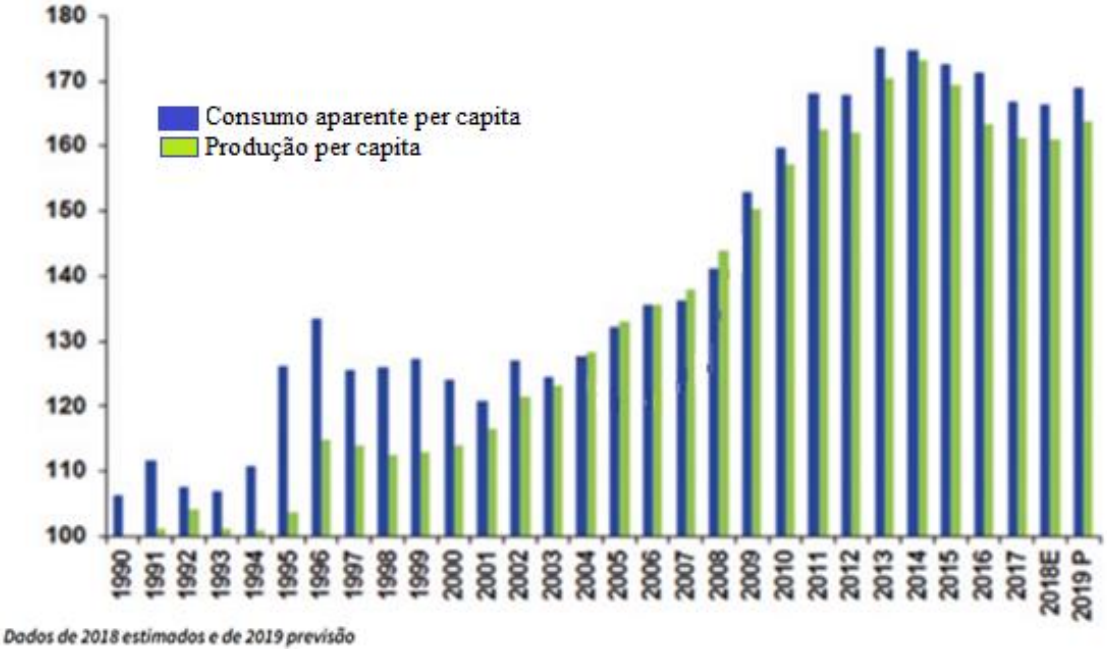
Fonte: próprio autor.

O fechamento da fase conceitual ocorre através do **estudo de viabilidade econômica** (viabilidade de mercado), que inicia pela determinação da *Demanda.*

O estudo de demanda levou em consideração os dados de mercado, descritos anteriormente, acrescidos de informações especificas da área comercial da empresa Casale. Foram feitas projeções em um cenário mais otimista e outro realista. Par isso foi levado em consideração o consumo da palma forrageira para a criação de vaca leiteira, em função do maior valor agregado que a palma forrageira oferece a essa atividade. Entretanto, os outros rebanhos alimentados com a mesma, aumentam ainda mais a viabilidade econômica do projeto.

Dados socioeconômicos do semiárido brasileiro apresentam uma dimensão do mercado para o leite e seus derivados existente na região, com mais de 1.262 municípios e uma população de mais de 27 milhões de habitantes. Considerando o consumo por habitante no Brasil de 165 litros em 2019, como mostrado na Figura 39, de forma simples teríamos uma expectativa de consumo na região de 4,455 bilhões de litro de leite ano.

Figura 39 – Consumo e Produção per capita de leite no Brasil de 1990 a 2019



Fonte: adaptado de Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2019, p. 26).

Para atender o consumo da própria região, seria preciso um rebanho de 3,78 milhões de vacas de leite com média de 1.178 litros/ano, levando em consideração a produtividade de leite por vaca na região, com os dados apresentados na Tabela 10 para o ano de 2017.

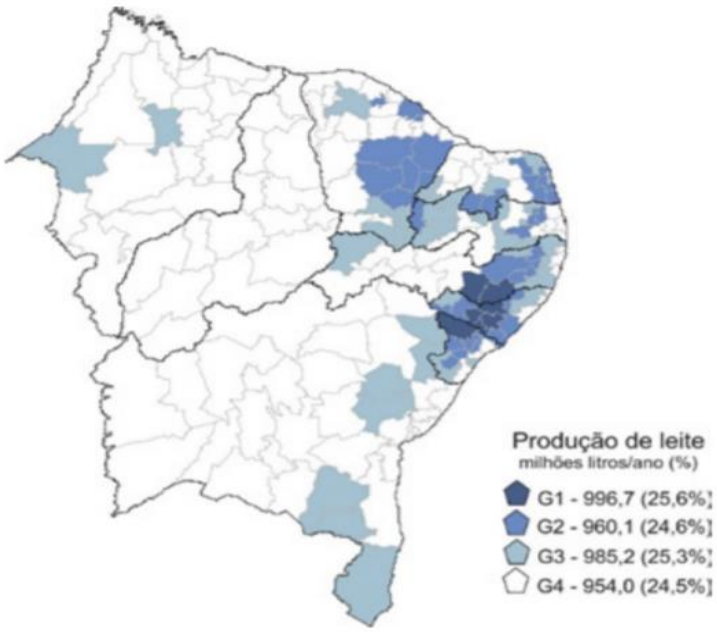
Tabela 10 – Produtividade de leite por vaca ordenhada (litros/vaca/ano) na região Nordeste e nas suas unidades da Federação – 2011 e 2017, em litros

REGIÃO GEOGRÁFICA E UNIDADE DA FEDERAÇÃO	PRODUTIVIDADE (LITROS/VACA/ANO		VAR% 2017/2011	VAR VOLUME 2017/2011
	2011	2017		
REGIÃO NORDESTE	833	1178	41,5	345
Maranhão	653	617	-6	-36
Piauí	570	577	1	7
Ceará	829	1163	40	334
Rio Grande do Norte	927	924	0	-3
Paraíba	914	867	-5	-47
Pernambuco	1538	1908	24	370
Alagoas	1538	1969	28	431
Sergipe	1392	2007	44	615
Bahia	561	1087	94	526

Fonte: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2019).

A Figura 40 também colabora com essa visão, com dados específicos das bacias leiteiras distribuídas em microrregiões, com a produção de cada uma, num total de 3.896,0 milhões de litros de leite para o ano de 2017. Este valor em relação a estimativa de consumo feita anteriormente, mostra uma necessidade de importação de leite, que representa também o potencial para o crescimento da produção na região.

Figura 40 – Distribuição das Microrregiões de acordo a produção de leite por área na região Nordeste em 2017



Fonte: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2019).

A existência de tratores já apresentados no estudo de mercado em conjunto com a informações de misturadores Casale em julho de 2020 nos principais estados produtores, é levado em consideração para se fazer as estimativas de demanda em dois cenários propostos, para pelo menos 5 anos. Na Tabela 11 temos as duas projeções de demanda, ambas com crescimento linear e taxas de crescimento constante, como mostras as observações 1, 2 e 3.

Tabela 11 – Demanda para o sistema de colheita mecanizada de palma forrageira

Demanda	Número previsto					
Ano	2021	2022	2023	2024	2025	Total
Cenário Otímista	20	25	31	39	49	164
Cenário realista	16	19	23	28	33	119

1) número propriedades com misturadores verticais Casale na região nordeste em julho de 2020 está em torno de 80 equipamentos.
2) para o cenário Otimista um mercado inicial de 25% dos proprietários que já possuem misturador Casale com crescimento de venda de 25% ao ano.
3) para o cenário Realista um mercado inicial de 20% dos proprietários que já possuem misturador Casale com crescimento de venda de 20% ao ano.

Fonte: Lyra et al. (2020)

O cenário apresentado é extremamente conservador, mesmo para o caso mais otimista, considera que em 5 anos apenas 164 sistemas seriam vendidos (cálculos apresentados nas

observações da Tabela 11), o que representa apenas 4% do volume de tratores existentes em 2017 e de 25% das propriedades com misturadores verticais.

O ganho para o produtor, que possa tornar essa demanda realidade, ocorre como em toda atividade que consegue ser mecanizada na agricultura, por meio das reduções de custos e um melhor aproveitamento da mão de obra.

Um estudo de custo da colheita da palma forrageira é apresentado na Tabela 12, na qual encontra-se um custo total de 11,12 reais para colher uma tonelada de palma forrageira, sendo os dois primeiros itens: corte e carregamento, responsável por 6,67 reais por tonelada colhida ou 0,00667 centavos de real por kg colhida ou ainda 60% do custo. O sistema mecanizado precisa focar então na redução desses custos.

Tabela 12 – Levantamento de custos das operações de colheita manual da palma

CUSTO DA COLHEITA MANUAL DE PALMA FORRAGEIRA POR TONELADA					
Itens considerados	unidade	quantidade	R$/unid	todal	%
corte	homem-hora/t	0,27	10,00	2,67	24%
carregamento	homem-hora/t	0,40	10,00	4,00	36%
transporte ida	homem-hora/t	0,13	10,00	1,33	12%
descarregamento	homem-hora/t	0,07	10,00	0,70	6%
transporte volta	homem-hora/t	0,13	10,00	1,30	12%
óleo diesel	litros	0,25	4,49	1,12	10%
TOTAL (R$/T)				11,12	149

Observado na Fazenda Gameleira - Iaçu-BA, 2019

Fonte: Segundo Suassuna (informação verbal)[1].

Uma solução mecanizada para o corte e carregamento fará uma substituição de custo de corte e carregamento manual anteriormente apresentados, pelos custos de um sistema mecanizado. Não é possível fazer um estudo antecipado com precisão de como serão os custos das soluções aqui adotadas. Dessa forma, aproveitaremos um estudo com exemplos de cálculo que envolve custo de operações mecanizadas nas fazendas hortifrutícolas, ver Figura 41.

Figura 41 – Exemplos de cálculo do custo de hora-máquina em fazendas hortifrutícolas

Exemplos de cálculo do custo de hora-máquina (R$/hora) por atividade nas fazendas hortifrutícolas

		Custo de Manutenção (Cons)			Custo de Combustível (Comb)				Custo de Manutenção (Cons)			TOTAL
Atividade	Trator (modelo)	ViM (R$)	TxmM (%)	VuM (h)	CV	C (l/cv*ha)	PrD (R$/l)	Implemento	ViM (R$)	TxmM (%)	VuM (h)	HM (R$/h)
Calagem	Trator (4x2)	75.000	100	12.000	75	0,12	1,9	Distribuidor de calcário de 5.000 kg	15.000	80	2.000	29,35
Gradagem	Trator (4x4)	108.000	80	12.000	100	0,12	1,9	Grade aradora	17.000	60	2.500	34,08
Aração	Trator (4x2)	75.000	100	12.000	75	0,12	1,9	Arado de 3 discos	4.000	100	2.500	24,95
Subsolagem	Trator (4x4)	108.000	80	12.000	100	0,12	1,9	Subsolador de 3 hastes	2.500	75	2.500	30,75
Adubação	Trator (4x2)	103.000	100	12.000	100	0,12	1,9	Carreta	5.100	70	5.000	32,10
Roçagem	Trator (4x2)	75.000	100	12.000	75	0,12	1,9	Roçadeira (2,6m)	14.000	150	2.500	31,75
Pulverização	Trator (4x2)	75.000	100	12.000	75	0,12	1,9	Pulverizador de 2.000 l	21.000	50	2.000	28,60

Fonte: Capello, Menten e Manarim (2010).

Para um sistema mecanizado é interessante conhecer quantos kg/m linear apresenta uma linha de palma, já que este valor influência na velocidade de operação e no total colhido por hora. Um valor estimado foi adotado para o espaçamento de plantio de 1,5 metros por linha de palma forrageira e uma produtividade de 150 t/ha. Com esse espaçamento em um ha de terra plantado existem 66,7 linhas ou 6.666,7 metros lineares, o que resulta em 22,5 kg/m (150.000 kg/6.666,7 m).

A visualização dos demais cálculos para se estimar custo da operação mecanizada podem ser vistos na Tabela 13, que leva em consideração um custo hora para o sistema com um valor acima do mais alto custo encontrado na Figura 34, ou seja, de R$ 35 a hora. Para isso, será usado a expectativa de preço ao produtor externada segundo Dr. Tadeu Voltolini (informação verbal)[2], que seria na faixa de 25 mil reais e, mais duas faixas de valores: 50mil reais e 100 mil reais e um consumo diário de 40 kg por animal de palma forrageira.

Tabela 13 – Principais cálculos para estimar custo operacional do sistema proposto

Principais cálculos relacionados a colheita mecanizada para os modelos propostos			
Previsão de colheita dos modelos propostos	25 mil	50 mil	100 mil
Plantel de animais a serem atendidos	< 5 animais	de 5 a 50 animais	mais de 100 animais
Velocidade operacional (km/h)	1	1	1
Colheita kg/h	22500	22500	22500
Tempo de manobra 50% de aproveitamento	0,5	0,5	0,5
Produção efetiva colheita em kg/h	11250	11250	11250
Necessiade de alimento diário por animal	40	40	40
Necessiade de alimento diário total	200	2000	4000
Horas necessárias de colheita diário total	0,02	0,18	0,36
Necessiade de alimento diário total	2000	20000	40000
Horas necessárias de colheita para 10 dias	0,18	1,78	3,56
Custo por R$/kg colhido	R$ 0,003	R$ 0,003	R$ 0,003

Fonte: Lyra et al. (2020).

Os cálculos apresentam resultado de 0,003 centavos de real por kg de palma forrageira colhida, ou seja, uma redução de 55% no custo atual. Com esta redução pode-se realizar uma estimativa mínima de rebanho para viabilizar o investimento na aquisição do sistema, só em relação aos custos dos itens envolvidos, ou seja, corte e carrego. Na Tabela 15 encontra-se essa estimativa, para três faixas de preço, financiados em 60 meses e a estimativa da quantidade de rebanho que a propriedade tem que ter para bancar o investimento.

Tabela 14 – Quantidade de rebanho necessária para bancar investimento

Investimento		R$ 25.000,00	R$ 50.000,00	R$ 100.000,00
Parcelas financiamento	Quantidade	60	60	60
Valor anual	Total	R$ 5.000,00	R$ 10.000,00	R$ 20.000,00
Custo colheita/animal/ano	Total	243,5	243,5	243,5
C.O. Quantidade necessária de vacas	(C3/C4)/0,55	37	75	149

Fonte: Lyra et al. (2020).

O estudo seguiu com o cálculo de oferta e viabilidade econômica, para os dois cenários de demanda traçados (otimista e realista) e para as três faixas de preço, realizado por meio de uma planilha em Excel disponibilizada pela empresa Casale. No preenchimento da planilha foram estimados alguns valores em conjunto com o pessoal da engenharia da empresa. A viabilidade econômica ocorre de forma automática na planilha.

Os resultados obtidos, por questões de confidencialidade do projeto, não serão apresentados, entretanto, nas tabelas a seguir, se consegui visualizar a maior parte das informações existentes e trabalhadas na planilha em Excel. Usou-se o recurso de ocultar colunas para ficar legível a apresentação das informações ilustradas nas tabelas, mas na realidade é uma única planilha, inclusive, repete-se as colunas referentes ao Escopo do Projeto, para uma melhor visualização.

Na Tabela 15 encontram-se nas três primeiras colunas o espaço para preencher o Escopo do Projeto, com as informações do tipo, data de inclusão e descrição. Na quarta coluna inicia os dados referentes a Análise Econômica, com uma linha para o planejado e outra para o realizado. Na quinta coluna está o mês/ano lançamento, seguido de 6 colunas para projeção de vendas (destacadas com título na cor laranja). Na sequência há as colunas para Engenharia de Produtos + Engenharia de Processos + Produção + Compras + Diretoria, com dados sobre Preço Objetivo, Custo matéria prima (Custo M.P.) até a % de margem Bruta esperada no Cliente Final.

Tabela 15 – Cálculo com cenário: demanda, preço previsto e custo de fabricação

ESCOPO DO PROJETO			ANÁLISE ECONÔMICA															
					COMERCIAL						ENHARIA DE PRODUTOS + ENGENHARIA DE PROCESSOS + PRODUÇÃO + COMPRAS + DIRETO						
					Projeção Vendas (Nº)												
Ti	Data da Inclus	Descrição		MÊS/ANO LANÇ.	ANO LAI	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	Preço Objetivo CLIENTE FIN	Custo M.P	Horas de fabricação	Custo hora fabricação	Custo Fabricação	Margem Bruta CLIENTE FIN.	%
			PLANEJADO												R$ -	R$ -	
			REALIZADO												R$ -	R$ -	
			PLANEJADO												R$ -	R$ -	
			REALIZADO												R$ -	R$ -	
			PLANEJADO												R$ -	R$ -	
			REALIZADO												R$ -	R$ -	

Fonte: próprio autor.

Na Tabela 16 repete-se as 4 primeiras colunas, para facilitar a visualização de que se está na mesma planilha. Segue-se então para as colunas com informações sobre os gastos e tempo estimados com pesquisa, desenvolvimento e investimento total.

Tabela 16 – Demais colunas estimadas e calculadas automaticamente para o cálculo com cenário

		ESCOPO DO PROJETO	ANÁLISE ECONÔMICA						
				ENGENHARIA DE PRODUTOS + ENGENHARIA DE PROCESSOS					
				Pesquisa		Desenvolvimento		Investimento Total	
Ti	Data da Inclus	Descrição		Invest. ($)	Tempo (mes	Invest. ($)	Tempo (mes	Invest. ($)	Tempo (mes
			PLANEJADO						
			REALIZADO						
			PLANEJADO						
			REALIZADO						
			PLANEJADO						
			REALIZADO						

Fonte: próprio autor.

Na Tabela 17 encontram-se os resultados em retorno sobre investimento (ROI) e sobre valor líquido presente (VLP) para todos os cenários, pode-se então definir se são favoráveis ao projeto, qual o melhor valor obtido e tomar as decisões de continuidade do mesmo.

Tabela 17 – Resultados da viabilidade econômica do cenário

		ESCOPO DO PROJETO	ANÁLISE ECO						
				CÁLCULO SOBRE A MARGEM BRUTA - PREÇO CLIENTE					
				Payback					
Ti	Data da Inclus	Descrição		SALDO	ROI	Payback (Ano	TMA	VPL	TIR
			PLANEJADO						
			REALIZADO						
			PLANEJADO						
			REALIZADO						
			PLANEJADO						
			REALIZADO						

Fonte: próprio autor.

Como os resultados estimados no projeto foram favoráveis em quase todos os cenários trabalhados, foi aprovado a continuação do trabalho, que foi realização na segunda etapa do projeto, como veremos no item seguinte. Além de ter ficado claro o potencial da elaboração do pedido patente, que foi realizado no contexto do projeto EMBRAPII e se encontra depositado sob o número: BR 10 2021 014570-6.

Ao se utilizar à metodologia de projeto os objetivos e prazos estabelecidos foram alcançados, o que demostra a importância e contribuição de sua utilização.

3.3.2 Desenvolvimento do protótipo de um implemento agrícola para o corte e colheita de palma forrageira.

O objetivo desta etapa do projeto foi o desenvolvimento do protótipo de um implemento agrícola para o corte e colheita de palma forrageira, por meio das outras duas fases prevista na metodologia de sistematização de fases: preliminar e detalhada. O cálculo dos esforços envolvidos e o detalhamento dos componentes são as principais entregas esperadas nesta etapa. Foi escolhida a primeira solução conceitual da fase anterior para ser desenvolvida nessa etapa, ou seja, a solução 1 de maior porte, a ser tracionada por trator. Para isso foram estabelecidas as seguintes atividades:

1. Previsão de desempenho técnico – baseado nas informações obtidas na fase informacional e conceitual;
2. Memorial de cálculo de componentes estruturais e mecânicos – dimensionamento de engenharia;
3. Análise de valor e custo – cálculos financeiros;
4. FMEA – aplicação da análise de falha;
5. Estimativa de vida útil – coeficiente de segurança, fadiga de elementos estruturais, elementos mecânicos – estimativas teóricas;
6. Desenho de *Layout* – visão geral do conjunto desenvolvido;
7. Desenho de Detalhes – especificações técnicas de desenho;
8. Desenho de Montagem – visualização geral do implemento projetado;
9. Desenhos Finais para a produção do protótipo – desenhos com especificações para produção do protótipo;
10. Lista de Materiais – discriminação do material a ser aplicado;
11. Redação de Relatório Final – documento de apresentação da etapa do projeto.

O desenvolvimento dessas atividades foi previsto para ser realizado em 7 meses, por de meio de três macro entregas: a primeira das atividades 1 a 5, a segunda de 6 a 9 e a última a 10 e 11. Adota-se aqui a atividade 6 como finalização da fase preliminar.

Na Figura 42 é apresentado o cronograma de atividades planejado, no qual as colunas representam os meses, na qual cada X representa o período de uma semana e as linhas as atividades ou tarefas previstas. É interessante observar que algumas atividades também são desenvolvidas de forma simultânea, com os ganhos inerentes e já abordados na etapa anterior do projeto.

Figura 42 – Cronograma de atividades

Tarefa	1	2	3	4	5	6	7
1	XXXX	XXXX					
2	XXXX	XXXX					
3	X	XXXX	XXXX				
4	X	XXXX	XXXX				
5	X	XXXX	XXXX				
6			X	XXXX	XXXX		
7				XXXX	XXXX	XXXX	
8				X	XXXX	XXXX	
9				X	XXXX	XXXX	
10				X	XXXX	XXXX	
11							XXXX

Fonte: Santos et al. (2021).

As ferramentas aplicadas nesta etapa do projeto foram:

- ✓ perguntas – realizadas em visitas;
- ✓ revisão bibliográfica – consulta direcionada a cultura da palma forrageira e região do semiárido nordestino;
- ✓ planilhas eletrônicas (Programa Excel da Microsoft) – para diversos cálculos;
- ✓ cálculos com utilização e geração de tabelas e gráficos – com os dados coletados na revisão bibliográfica;
- ✓ fórmulas de engenharia – dimensionamentos de estruturas e componentes;
- ✓ gráficos e tabelas de dimensionamento – dimensionamentos de estruturas e componentes;
- ✓ FEMA conceitual – utilizado para prevenir falhas e analisar os riscos das opções 1 e 2 dos sistemas de corte;
- ✓ Programas de CAD/CAE – para realização dos desenhos com as soluções selecionadas.

Uma síntese das atividades desenvolvidas na fase preliminar e fase detalhada são apresentados na sequência.

- ✓ Fase preliminar

Para a atividade 1 de **previsão de desempenho técnico** em uma visão geral, o projeto do implemento foi dividido em cinco sistemas principais:

- ✓ Sistema de corte;
- ✓ Sistema de Elevação (para ajuste da altura de corte);
- ✓ Sistema de Armazenamento;
- ✓ Sistema de Descarregamento;
- ✓ Sistema de Deslocamento.

O Sistema de Corte compreende a tomada de potência (rotação) do trator e a transmissão até o sistema de lâminas de corte, de modo que o conjunto seja capaz de cortar a palma forrageira sem danificar a planta (cortada e remanescente) e promover o seu carregamento para a máquina de maneira segura. Para definir o sistema de corte foi necessário responder às diversas perguntas, tais como:

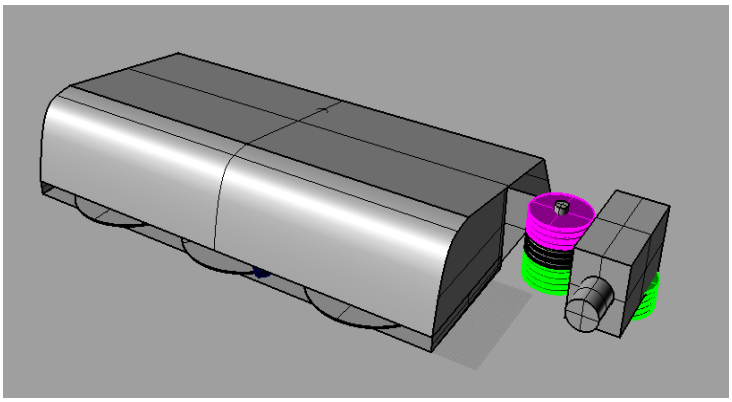
- ✓ Qual a velocidade de corte exigida para o corte da palma forrageira?
- ✓ Qual o sistema de corte ideal (lâminas ou discos de corte)?
- ✓ Qual o desenho da lâmina de corte?
- ✓ Qual o sentido de rotação?
- ✓ Qual a quantidade de discos/lâminas indicada?
- ✓ Qual o sistema de transmissão que caiba no envelope do equipamento?
- ✓ Qual a largura de corte das linhas de palma?

Foram definidas duas opções para o Sistema de Corte, a primeira que trata de um produto comercial conhecido como barra de corte (do inglês, *cutterbar*, observada na Figura 43) e a segunda um sistema de corte por discos com lâminas e transmissão por correias (Figura 44). O segundo sistema foi desenvolvido como uma opção caso as barras de corte fossem economicamente inviáveis pelo preço ou pela logística de importação.

Figura 43 - Modelo genérico de barra de corte proposta como a Opção 1

Fonte: Hoard’s Dairyman (2021).

Figura 44 - Modelo de sistema de corte por discos com lâminas e transmissão por correias, proposta como a Opção 2



Fonte: Santos et al. (2021).

O Sistema de Elevação, assim como o Sistema de Armazenamento, Descarregamento e Deslocamento foram definidos com base em equipamentos da Casale já existentes, com as soluções baseadas em componentes hidráulicos e o deslocamento realizado com o auxílio de rodas/pneus. Os principais questionamentos que devem ser respondidos para estes sistemas incluem:

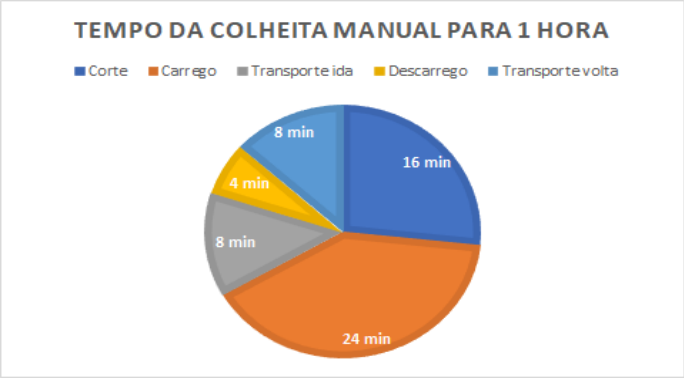
- ✓ Qual a faixa de altura de corte indicada para a colheita?
- ✓ Qual o volume de palma carregada no equipamento?
- ✓ Qual o sistema de descarregamento do implemento?
- ✓ É necessário um sistema de descarregamento secundário?
- ✓ Como é a distribuição da palma no carregamento?

Estes questionamentos são de natureza técnica e possibilitam a realização de previsões e estimativas em termos produtivos, como a massa de palma colhida, a velocidade de avanço indicada e o tempo gasto em toda a cadeia da colheita, os quais serão melhor debatidos a seguir.

Segundo o Documento de Referência sobre Palma Forrageira, elaborado pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste e do Instituto Nacional do Semiárido (2020), as atividades de corte e carrego manual da palma correspondem a 60% do custo e a 67% do tempo homem-hora/tonelada, rever a Tabela 12. Conforme se observa naquela Tabela o preço apresentado para homem-hora/tonelada que é de R$10,00 e o custo do corte e carregamento de 1 hora de serviço que é de R$6,67, e que equivale a 667 kg de palma por operação.

A Figura 45 mostra o tempo de colheita normalizado para 1 hora de trabalho, com as cinco operações: corte, carrego, transporte ida, descarrego e transporte volta.

Figura 45 – Tempo de colheita manual normalizado para 1 hora



Fonte: Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste e do Instituto Nacional do Semiárido (2020).

As atividades de corte e carregamento somam um total de onde 40 minutos. Essas duas atividades serão importantes para a previsão do desempenho técnico do implemento, pois a função deste será principalmente a de automatizar o corte e o carregamento, enquanto que o transporte e o descarregamento se manterão com tempos similares.

Além dos dados fornecidos pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste e do Instituto Nacional do Semiárido (2020) e visando uma melhor compreensão da realidade da colheita da palma no Nordeste brasileiro, um trabalho de observação em campo foi feito na Fazenda Santa Maria, em Itaíba-PE (visitada em janeiro de 2020 – Alberto Lyra). Na mesma utiliza-se um sistema de colheita manual tradicional do semiárido, isto é, corte manual já apresentado na Figura 34, com transporte em carroça de burro ilustrada na Figura 46, na qual também se observa o descarregamento manual.

Figura 46 – Transporte de palma em carroça de burro na Fazenda Santa Maria (Itaíba-PE)

Fonte: próprio autor.

Dos dados coletados mostram como resultado um tempo médio de 20 minutos para encher a carroça (volume de 1,4 m^3), com aproximadamente 400 kg de palma. Vale ressaltar que existe a influência da densidade da palma na linha de cultivo (kg/m), que apresenta variações para linhas simples e duplas. O descarrego da palma foi feito por um do trabalhador, também de forma manual e gastou aproximadamente 10 minutos. Ao considerar o tempo de Transporte de Ida e Volta de 8 minutos cada, de acordo com a Figura 45, consegue-se uma produtividade de 400 kg de palma para 46 minutos. Desta forma, para um 1 hora de trabalho da atividade, obtém-se uma produtividade de 521 kg por hora, que é 21,8% menor que o valor de 667 kg assumido na pesquisa teórica da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste e do Instituto Nacional do Semiárido (2020).

A Fazenda Santa Maria não tem o controle dos custos detalhados por atividade e os mesmos trabalhadores desempenham várias tarefas. Fez-se uma estimativa, apenas para a mão de obra, com uma renda de 1 salário mínimo (R$ 1.100,00 para os valores de março/2021), obteve-se para o corte e carregamento um gasto de 3,33 reais (0,67 hora/homem a 5 reais/h – jornada de 220 horas/mês) ou 8,33 reais a tonelada, 25% maior que o apresentado na Tabela 16. O descarregamento fica em torno de R$ 0,83, o que significaria R$ 2,08 a tonelada, 200% a mais do que na Tabela 16.

Uma segunda visita foi feita à Fazenda Carnaúba, localizada em Taperoá-PB (visitada em outubro de 2020 – Alberto Lyra). A Figura 47 ilustra a forma de colheita da palma nesta propriedade, no qual se diferencia por carregar a palma em um misturador vertical, que já processa a palma e coloca diretamente nos cochos (Figura 48).

Figura 47 – Colocação da palma em um misturador vertical – Fazenda Carnaúba

Fonte: próprio autor.

Figura 48 – Palma processada colocada diretamente no cocho – Fazenda Carnaúba

Fonte: próprio autor.

Durante a visita não foram levantados os custos da colheita de palma na Fazenda Carnaúba. Embora observa-se que neste caso seja eliminada a etapa de descarregamento na sede com a utilização direta da palma na alimentação.

Para previsão de Desempenho do implemento as estimativas de produtividade da palma colhida relacionaram a densidade da plantação com o envelope dimensional da mesma. Os cálculos foram feitos de acordo com as informações contidas no material de referência da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste e do Instituto Nacional do Semiárido (2020) apresentados na Tabela 18, ilustrada na página seguinte, com números que refletem produções potenciais por serem decorrentes de experimentos.

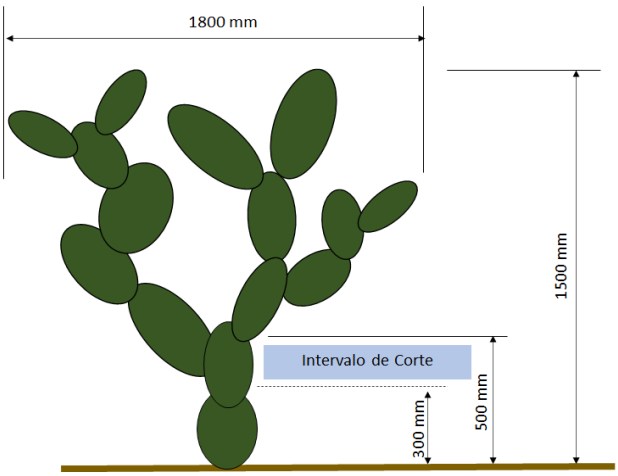
A espécie Orelha de Elefante Mexicana foi adotada para as estimativas neste estudo, pois, apresenta o maior envelope (para efeito dos cálculos), além de ter crescido sua utilização pela alta resistência a cochonilha do carmim. A dimensão da palma Orelha de Elefante Mexicana é descrita na Figura 49. A largura foi considerada de 0,10 m porque as palmas são plantadas com esse espaçamento, embora existam outros esse é o mais adotado tanto no regime simples quanto no regime duplo adensado. O intervalo de corte definido acima da raquete primária está situado entre 0,30 m até 0,50 m, em relação ao solo, para plantas de até 2 anos de idade.

Tabela 18 – Resumo dos parâmetros de produção de palma forrageira Gigante, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana

Parâmetros	Variedades					Fonte
	"Gigante"	"Miúda"		"Orelha de Elefante Mexicana"		
Espaçamento (m x m)	1,6 a 2 x 0,10	1,6 a 2 x 0,0625	1,5 x 0,5 x 0,5	1,6 a 2 x 0,10	2,2 x 0,10 x 0,80	Lemos, (2016); Rocha et al. (2017); Silva et al. (2014); Araújo et al. (2019)
Sistema de plantio	Fileira simples	Fileira simples	Fileira dupla	Fileira simples	Fileira dupla	
Produtividade média de matéria verde (t ha^{-1} *1 ano^{-1} **2 anos^{-1})	426,75**	639*	299,0**	763,5**	956*	Lemos, (2016); Rocha et al. (2017); Silva et al. (2014); Araújo et al. (2019)
Produtividade média de matéria seca (t ha^{-1} *1 ano^{-1} **2 anos^{-1})	52**	44,7*	30,67**	91,7**	71,24*	Silva et al. (2014); Rocha et al. (2017)
Densidade (kg m^{-1})	85,35	127,8	89,7	152,7	286,79	
Teor médio de matéria seca (%)	12,41	12,71	10,25	12,06	7,45	Lemos, (2016); Rocha et al. (2017); Almeida et al. (2012); INSA
Altura de planta (m/2 anos)	1,60	1,15		1,54		Comunicação pessoal: Djalma e Souto Filho (IPA/UFRPE); Alberto Suassuna
Largura da planta (m/2 anos)	1,051	1,50		1,8		Comunicação pessoal: Djalma e Souto Filho (IPA/UFRPE); INSA; Rocha et al. (2017).
Altura máxima de corte (m)	0,50	0,50		0,50		Djalma (IPA), comunicação pessoal.

Fonte: Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste e do Instituto Nacional do Semiárido (2020).

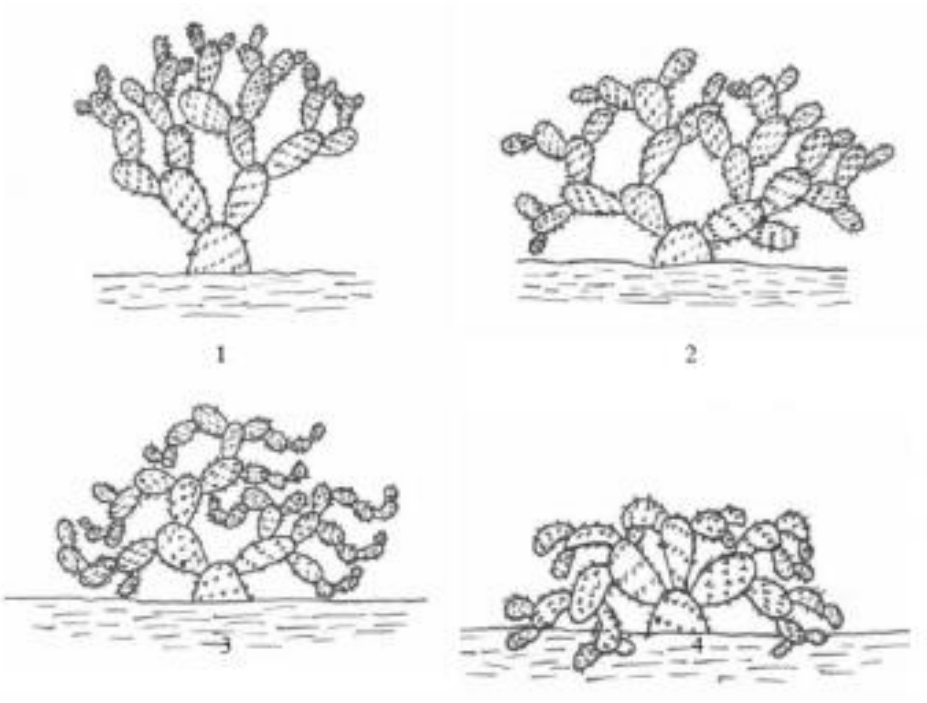
Figura 49 – Dimensões da palma Orelha de Elefante Mexicana com determinação do intervalo de corte



Fonte: Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste e do Instituto Nacional do Semiárido (2020).

A Figura 50 ilustra a diversidade de condições morfológicas das plantas, que influenciam no corte e pode favorecer ou atrapalhar a colheita.

Figura 50 – Morfologia da planta relativa ao porte



1 – ereto; 2 – estendido; 3 – inclinado; 4 – pendente.

Fonte: Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste e do Instituto Nacional do Semiárido (2020).

Como a densidade da palma foi apresentada em termos da massa (em kg) colhida por comprimento da linha, foi necessário fazer uma aproximação do comprimento percorrido pelo implemento durante uma operação de corte. As principais estimativas de cálculo para configuração inicial proposta para o implemento (na versão mais completa, com esteiras para distribuição da palma na parte de armazenamento) resultaram para o espaçamento duplo em 1.583 kg/h e no simples 849,2 kg/h. Isto garante aumento de capacidade operacional no corte e colheita, quando comparado ao corte manual.

A previsão de desempenho técnico é sumarizada na Tabela 19. Para tanto, é usada como base a planilha de Pré-Escopo fornecida pela Casale. As opções de Sistema de Corte 1 e 2 foram indicadas na tabela para os parâmetros variáveis entre elas.

Tabela 19 – Tabela de Pré-Escopo

	Características	Colhedora de Palma
Industrial	Produtividade	até 1,5 ton/h
	Qtde. Discos de Corte	4 (Opção 1) e 3 (Opção 2)
	Posição Discos de Corte	Horizontal
	Acessórios dos discos	Lâminas intercambiaveis
	Diâmetro do disco	380 mm (Opção 1) e 400 mm (Opção 2)
	Número de lâminas por disco	2 (Opção 1) e 2, 4 ou 6 (Opção 2)
	Comprimento útil de corte lâmina	50 mm a 65 mm
	Faixa da altura de Corte	300 a 500 mm
	Acionamento Levante Plataforma	Cilindro hidráulico e base regulável
	Ângulo de giro caçamba	45°
	Altura máxima da caçamba	1,5 mm
	Comprimento da caçamba	4 m
	Volume útil da caçamba	4,2 m^3 (aprox.)
	Comprimento do módulo de corte	1 m
	Envelope do módulo de corte	1 m x1,5 m
Operacional	Largura da coheita	1,5 m (Total)
	Área Colheita	1 linha (simples ou adensada)
	Disponibilidade	8 horas
	Controle	Eletro-hidráulico (alavancas)
Transição	Categoria	Implemento
	Acionamento caçamba basculante	Cilindro hidráulico
	Acionamento altura de corte	Cinlindro hidráulico e barra regulável
	Montagem	Lateral (ao trator)
	Relação Máquina Trator	Articulado com 4 pneus
	Potência Trator	80 - 100 CV
Transmissão	Potência TDP	>= 30 CV
	Rotação TDP	540 RPM
	Relação TDP e polias de transmissão	Caixa Ortogonal e Cardan
	Caixa de Transmissão (Setup)	5 conjuntos de polias e correias
	Entrada na TDP	Cardan com embreagem
	Velocidade Trator	2 - 5 km/h (palma)

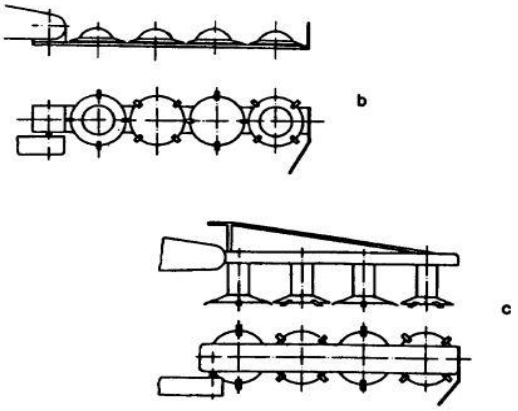
Obs.: Os parênteses indicam a Opção 1 (barra de corte) e Opção 2 (lâminas de corte com transmissão por correia).

Fonte: Santos et al. (2021).

Para a atividade 2 de **memorial de cálculo** a maior parte foi relacionada aos esforços envolvidos no corte da palma forrageira. Algumas aproximações foram feitas com base nos ensaios mecânicos (de compressão e impacto) realizados em laboratório na etapa anterior do projeto. A partir da potência necessária para o corte foi possível estimar a força necessária, as rotações e as demais características do sistema de transmissão. Os resultados serão apresentados nesta ordem lógica.

O princípio de corte adotado neste modelo trata-se de um corte por impacto por meio de eixo vertical. Nesta classificação, segundo os autores Srivastava et al. (2006), os mecanismos de corte para o setor agrícola podem ser classificados como cortadoras rotativas do tipo disco ou tambor (Figura 51). O equipamento Sega Pasto da empresa Casale segue o modelo de cortador rotativo por tambor, enquanto o corte por disco parece ser o mais indicado para o corte da palma.

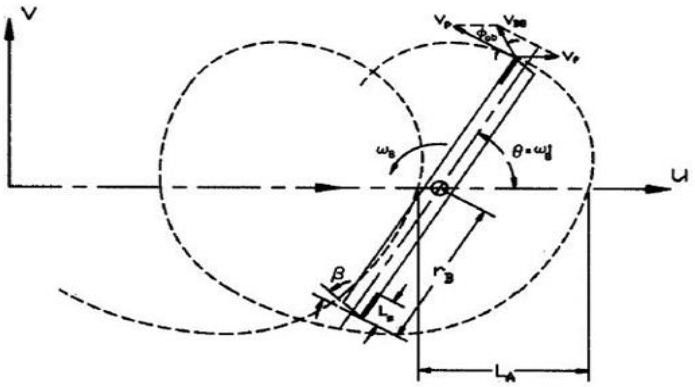
Figura 51 – Cortadoras rotativas do tipo disco (b) ou tambor (c)



Fonte: Srivastava et al. (2006).

Um outro aspecto observado devido ao movimento de avanço é que a ponta da lâmina segue um caminho cicloidal de corte, conforme demonstrado na Figura 52.

Figura 52 – Análise da ação (cicloidal) de corte da lâmina em uma cortadora rotativa



Fonte: Srivastava et al. (2006).

Os equacionamentos e cálculos feitos foram embasados em Srivastava et al. (2006). No APÊNDICE G encontram-se as variáveis, equações e alguns dos cálculos efetuados. Dentre eles foi feito um cálculo estimado para a potência de corte e como resultado o valor de 21,34 kW ou 28,62 HP.

O esclarecimento de dúvidas técnicas e os orçamentos de peças para a opção 1 do sistema de corte pela barra de corte, foram feitos via e-mail com a empresa SaMASZ, com a qual a Casale já possuía um contato prévio, por meio de seu representante no Brasil, Sérgio

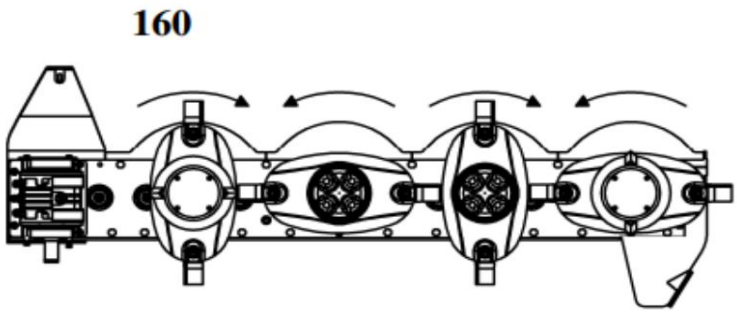
Molina, 2021. De dois modelos de barras de corte apresentados pela empresa o mais indicado para o projeto do implemento foi o SwiftCUT (Figura 53), que atende os padrões dimensionais para ser encaixado no Sistema de Corte. Os discos de corte adjacentes apresentam variação de sentido de rotação entre si, o que colabora para o corte direcionado conforme visto em outros equipamentos agrícolas de colheita.

Figura 53 – Sistema de chapas e engrenagens da barra de corte SwiftCUT da empresa SaMASZ

Fonte: SwifCUT (2021).

As barras de corte são vendidas de acordo com o comprimento, para o corte da palma forrageira, tanto em linhas simples quanto em linhas duplas, com largura de corte planejado de no mínimo 150 cm e no máximo 180 cm (por conta das carenagens da máquina) o mais indicado foi o modelo SwiftCUT 160 (Figura 54). Desta forma atende a largura alcançada das plantas com dois anos de idade.

Figura 54 – Barra de corte SwifcCUT 160



Fonte: Molina (2021).

O preço da barra de corte SwiftCUT 160 fornecido foi de €1338,65, para um pedido mínimo de 5 peças e inclui a caixa de transmissão. O preço do conjunto de facas (lâminas) de corte, que contém 6 facas esquerdas e 6 facas direitas, é de €12,00. Alguns detalhes técnicos da caixa de transmissão da SwiftCUT são:

- ✓ Torque de 120 N.m;
- ✓ Rotação de 1175 rpm;
- ✓ Potência de 15 kW;
- ✓ Revoluções dos discos de corte de 3000 rpm.

A empresa Casale, visitada em 10/03/2021, dispõe de uma barra de corte (fabricante não identificado) similar da SwiftCUT 160. Foi realizada a medição da relação de transmissão da caixa da barra e encontrou-se o resultado o valor de 1:5,5. Portanto, ao se considerar uma rotação de 540 rpm da Tomada de Potência (TDP) do trator, no caso de uma acoplagem direta, os discos de corte atingem uma revolução na faixa dos 3000 rpm, que é o desejado. A barra conta com três discos de corte em um comprimento total de corte de 160 cm, ideal para as configurações previstas para o projeto. Na Figura 55 encontra-se a imagem da mesma.

Figura 55 – Barra de corte disponível na empresa Casale

Fonte: Santos et al. (2021).

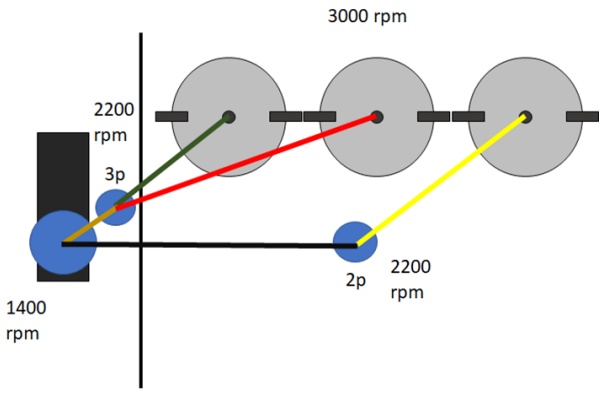
Na Figura 56 apresenta as facas de corte para a barra de corte disponível na empresa Casale. Vale reforçar que forma das lâminas, o comprimento e o ângulo do fio de corte são aspectos que devem ser testados em campo para verificar a condição do repique nas palmas cortadas e do tombamento nas palmas remanescentes, a fim de garantir um corte satisfatório e evitar o desperdício e o desgaste excessivo.

Figura 56 – Lâminas

Fonte: Santos et al. (2021).

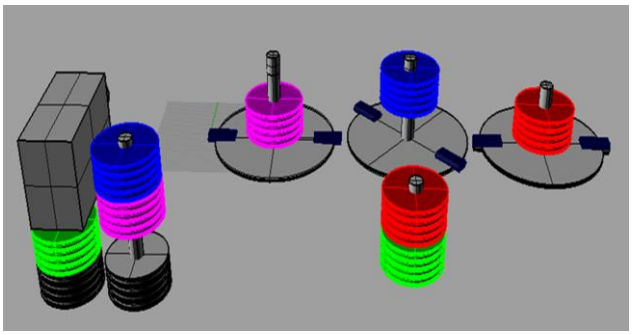
A segunda opção para o sistema de corte envolve a utilização de transmissões do tipo polias/correias em V (Figuras 57 e 58), de modo a garantir a obtenção de uma velocidade de giro de cerca de 3000 rpm nos eixos dos discos de corte, já especificado anteriormente.

Figura 57 - Desenho esquemático (2D) da opção 2, com transmissão por polias/correias em V



Fonte: Santos et al. (2021).

Figura 58 – Desenho esquemático (3D) da montagem das polias, eixos e discos



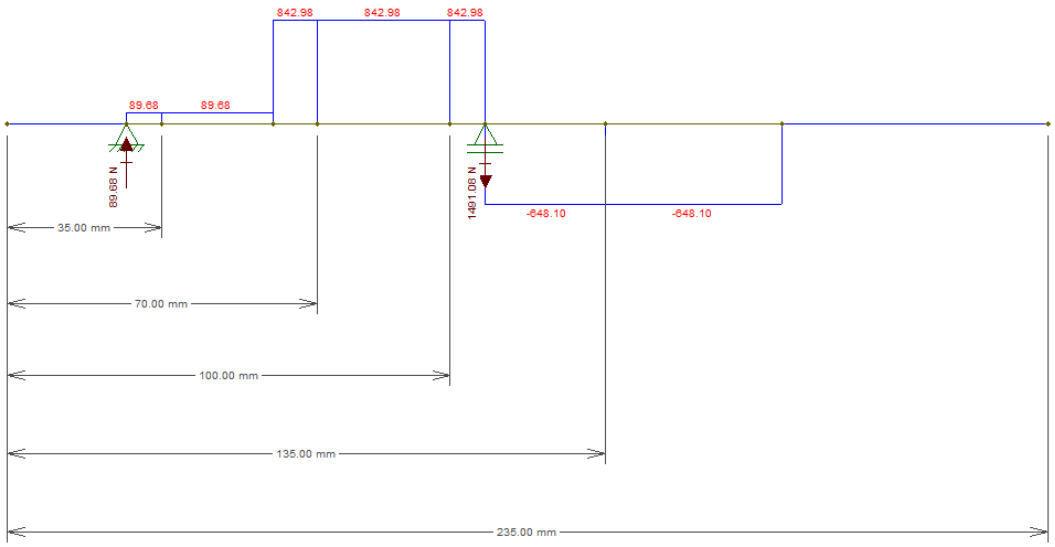
Fonte: Santos et al. (2021).

Para o cálculo e dimensionamento das polias/correias, conforme as rotações a serem obtidas em cada eixo, foi elaborada uma planilha no Excel, já que se trata de um processo iterativo. A planilha foi disponibilizada por compartilhamento do material na nuvem (google drive), baseada nas seguintes referências: Silveira (2020); Budynas e Nisbett (2011); GOODYEAR (s.d.).

Os passos do processo de cálculo e forma de seleção das correias encontram-se no APÊNDICE H.

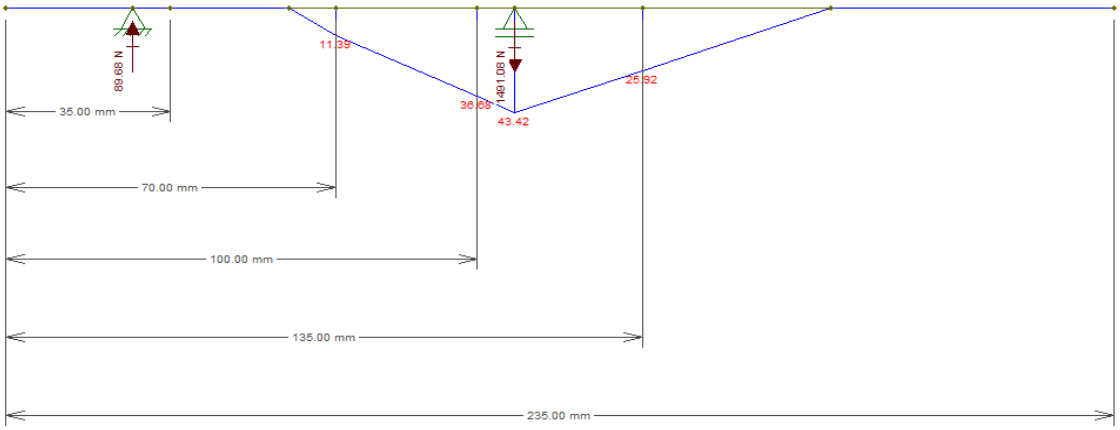
Para o dimensionamento dos eixos também foram elaboradas planilhas no Excel, de modo a facilitar o processo iterativo de cálculos, checagem e ajuste de dimensões. As planilhas também foram compartilhas no material na nuvem (google drive) e foram elaboradas com base na seguinte referência Massaropi et al. (2007). O software “Ftool” foi utilizado para o cálculo dos esforços aos quais cada eixo estaria submetido e esses resultados foram então inseridos como input nas planilhas de verificação. Os esforços atuantes nos eixos foram estimados a partir das forças calculadas nas correias e da força de corte calculada por meio dos ensaios de impacto e compressão com as palmas (etapa 1 do projeto). Para ilustração, nas Figuras 59 e 60 a seguir podem ser visto os gráficos de força cortante e momento fletor gerados pelo Ftool para um dos eixos.

Figura 59 – Força cortante atuante em um dos eixos



Fonte: Santos et al. (2021).

Figura 60 - Momento fletor atuante em um dos eixos



Fonte: Santos et al. (2021).

As planilhas consistem essencialmente das seguintes abas: Material, Desenho, Esforços, Pré-dimensionamento e Abas de Verificação (Fadiga torção pura ou Fadiga padrão) das seções críticas selecionadas para cada eixo.

Mais detalhes referentes ao dimensionamento dos eixos, bem como o dimensionamento das Uniões Eixo-Cubo encontram-se no APÊNDICE I.

As principais conclusões e análise comparativa em relação à Opção 1, apresentam as seguintes condições:

- ✓ Produto comercialmente disponível (embora importado);
- ✓ Facilidade de reposição de peças pela presença do produto no mercado nacional;
- ✓ Mais compacto (menor envelope);
- ✓ Utilização de 4 discos de corte com sentido de rotação alternável entre os discos (sentido horário e anti-horário);
- ✓ Sistema de transmissão por engrenagens, que otimiza o espaço ocupado, diminui a vibração e garante a sincronia;
- ✓ Maior dependência de lubrificação adequada;
- ✓ Sistema de segurança contra impacto das lâminas já implementado;
- ✓ Necessidade de um mecanismo auxiliar de transmissão por polias para a conexão com o eixo cardan do trator, também fornecido pelo fabricante.

Quanto à Opção 2, tem-se as seguintes condições:

- ✓ Produto ainda não validado;
- ✓ Fabricação local;
- ✓ Menos compacto (maior envelope);
- ✓ Maiores restrições quanto ao intervalo da altura de corte;
- ✓ Utilização de 3 discos de corte com mesmo sentido de rotação;

- ✓ Sistema de transmissão por correias, que é mais flexível para impactos, porém, menos compacto, de manutenção mais complexa e menos efetivo no que diz respeito à sincronia e às vibrações;
- ✓ Relativa segurança contra impacto das lâminas por meio do deslizamento das correias.

A análise de valor e custo das duas soluções dimensionadas para o corte, com a elaboração de uma Planilha de Sistemas e Componentes para cada uma delas é desenvolvido parcialmente na atividade 3 – **análise de valor e custo – cálculos financeiros** e foi realizada a partir do levantamento de componentes exigidos para o projeto do protótipo final. O equipamento foi dividido em sistemas e seus componentes foram descritos para a Opção 1 na Tabela 20 e para a Opção 2 na Tabela 21.

Tabela 20 – Planilha de Sistemas e Componentes para a Opção 1

#	Sistema	Componente	Quantidade	Metragem (Total)	Detalhamento
1	Corte	Cutterbar	1	unid.	
2		Caixa de transmissão	1	unid.	
3		União TDP-Caixa	1	unid.	
4		Lâminas de Corte	8	unid.	
5		Defletores inferiores (chapa)	2	unid.	
6		Tela de proteção	1	0,2 m²	
7		Dobradiça da carenagem	2	unid.	
8		Tampa da carenagem (chapa)	1	0,5 m²	
9		Carenagem de cobertura (chapa)	1	1,3 m²	
10	Elevação	Pistões hidráulicos com abertura de 215 mm	2	unid.	
11		Suporte dos pistões (chapa)	4	0,15 m²	
12		Parafuso suporte dos pistões	2	unid.	
13		Porca suporte dos pistões	2	unid.	
14		Pino suporte dos pistões	2	unid.	
15		Cupilhas do pistões	2	unid.	
16		Apoios de fixação de altura (tubos)	4	0,40 m	0,1 m / unid.
17		Pinos de fixação de altura	2	unid.	
18		Chapa inferior	1	0,45 m²	1,5 m x 0,3 m
19		Chapa superior	1	0,45 m²	1,5 m x 0,3 m
20		Mangueiras hidráulicas	2	6 m (3 m cada)	A definir de acordo com o trator
21	Descarregamento	Eixos caçamba basculante	2	0,3 m	0,15 m /unid (diâmetro)
22		Mancais da caçamba	2	unid.	
23		Mancais do chassi	2	unid.	
24		Portas traseiras (chapa)	2	2,5 m²	
25		Dobradiças da porta traseira	4	unid.	
26		Pinos de fixação porta traseira	2	unid.	
27		Cilíndro Telescópico hidráulico de dupla ação.	2	unid.	Ref. http://moodrol.com.br/cilindros-hidraulicos/produtos/
28		Suportes do pistão hidráulico	4	unid.	
29		Parafuso suporte dos pistões	1	unid.	
30		Porca suporte dos pistões	1	unid.	
31		Pino suporte dos pistões	1	unid.	
32		Cupilha do pistões	1	unid.	
33		Mangueira hidráulica	2	13 m (6,5 m cada)	
34	Armazenamento	Caçamba (chapa)	1	17,4 m²	
35		Defletores laterais (chapa)	2	0,6 m²	
36		Lona com talisca	1	8 m	A definir o desenho da talista
37		Rolos transportadores	2	6 unid	Diâmetro de 200 mm
38		Alavanca acionamento esteira	1	1 unid	
39		Suporte lateral esteira	2	1,7 m²	
40		Motor hidráulico	1	unid.	
41		Mangueiras hidráulicas	2	3 m	
42		Chassi	1	20 m	Perfil I
43	Deslocamento	Pneus	4	unid.	
44		Rodas	4	unid.	
45		Eixo-cubo	4	unid.	
46		Suspensão	4	unid.	
47	Hidráulico	Manômetro hidráulico	1	unid.	
48		Comando hidráulico	1	unid.	

Fonte: Santos et al. (2021).

Tabela 21 – Planilha de Sistemas e Componentes para a Opção 2

#	Sistema	Componente	Quant.	Metragem	Detalhamento
1	Corte	Discos (chapa)	3	0,4 diâmetro x 20 mm /unid.	1,2 m x 0,4 m (blanque)
2		Eixo da Caixa de Transmissão	1	unid.	Comp. 275 mm
3		Eixo Disco (menor)	2	unid.	Comp. 320 mm
4		Eixo Disco (maior)	1	unid.	Comp. 235 mm
5		Eixo Intermediário (2 polias)	1	unid.	Comp. 285 mm
6		Eixo Intermediário (3 polias)	1	unid.	Comp. 505 mm
7		Chavetas Eixo da Caixa de Transmissão	2	unid.	Dimensões específicas para cada eixo.
8		Chavetas Eixo Disco (menor)	4	unid.	Dimensões específicas para cada eixo.
9		Chavetas Eixo Disco (maior)	2	unid.	Dimensões específicas para cada eixo.
10		Chavetas Eixo Intermediário (2 polias)	2	unid.	Dimensões específicas para cada eixo.
11		Chavetas Eixo Intermediário (3 polias)	3	unid.	Dimensões específicas para cada eixo.
12		Polias	10	unid.	Dimensões específicas para cada eixo.
13		Correias "V" PowerBand - 4 canais	5	unid.	Comprimentos específicos para cada transmissão
14		Mancais de rolamento	10	unid.	Dimensões específicas para cada eixo.
15		Chapa protetora dos discos	1	0,41 m²	1800 x 230 (espessura de 4,5 mm)
16		Chapa de apoio dos mancais	1	1 m²	
17		Suporte dos mancais dos eixos	5	unid.	Dimensões específicas para cada eixo.
18		Caixa de transmissão	1	unid.	
19		União TDP-Caixa	1	unid.	
20		Lâminas de Corte	8	unid.	
21		Defletores inferiores (chapa)	2	unid.	
22		Tela de proteção	1	0,2 m²	
23		Dobradiça da carenagem	2	unid.	
24		Tampa da carenagem (chapa)	1	0,5 m²	
25		Carenagem de cobertura (chapa)	1	2,5 m²	
26	Elevação	Pistões hidráulicos	2	unid.	
27		Suporte dos pistões (chapa)	4	0,15 m²	
28		Parafuso suporte dos pistões	2	unid.	
29		Porca suporte dos pistões	2	unid.	
30		Pino suporte dos pistões	2	unid.	
31		Cupilhas do pistões	2	unid.	
32		Apoios de fixação de altura (tubos)	4	0,40 m	0,1 m / unid.
33		Pinos de fixação de altura	2	unid.	
34		Chapa inferior	1	0,45 m²	1,5 m x 0,3 m
35		Chapa superior	1	0,45 m²	1,5 m x 0,3 m
36		Mangueiras hidráulicas	2	6 m (3 m cada)	A definir de acordo com o trator
37		Manômetro hidráulico	1	unid.	
38		Comando hidráulico	1	unid.	
39	Descarregamento	Eixos caçamba basculante	2	0,3 m	0,15 m /unid (diâmetro
40		Mancais da caçamba	2	unid.	
41		Mancais do chassi	2	unid.	
42		Portas traseiras (chapa)	2	2,5 m²	
43		Dobradiças da porta traseira	4	unid.	
44		Pinos de fixação porta traseira	2	unid.	
45		Pistão hidráulico	2	unid.	
46		Suportes do pistão hidráulico	4	unid.	
47		Parafuso suporte dos pistões	1	unid.	
48		Porca suporte dos pistões	1	unid.	
49		Pino suporte dos pistões	1	unid.	
50		Cupilha do pistões	1	unid.	
51		Mangueira hidráulica	2	13 m (6,5 m cada)	A definir de acordo com o trator
52		Manômetro hidráulico	1	unid.	
53		Comando hidráulico	1	unid.	
54	Armazenamento	Caçamba (chapa)	1	17,4 m²	
55		Defletores laterais (chapa)	2	0,6 m²	
56		Lona com talisca	1	8 m	A definir o desenho da talista
57		Rolos transportadores	2	6 unid	Diâmetro de 200 mm
58		Alavanca acionamento esteira	1	1 unid	
59		Suporte lateral esteira	2	1,7 m²	
60		Motor hidráulico	1	unid.	
61		Mangueiras hidráulicas	2	3 m	
62		Chassi	1	20 m	Perfil I
63	Deslocamento	Pneus	4	unid.	
64		Rodas	4	unid.	
65		Eixo-cubo	4	unid.	
66		Suspensão	4	unid.	
67	Hidráulico	Manômetro hidráulico	1	unid.	
68		Comando hidráulico	1	unid.	

Fonte: Santos et al. (2021).

Os cinco sistemas que compõem o implemento agrícola para a colheita de palma são: Corte, Elevação, Armazenamento, Descarregamento e Deslocamento. Apenas o sistema de corte se diferencia entre as Soluções 1 e 2.

O projeto conceitual destes sistemas foi baseado nas soluções existentes em alguns equipamentos da empresa Casale, tais como Sega Pasto para os sistemas de elevação e de descarregamento, que prevê a operação por meio de cilindros hidráulicos ligados por mangueiras ao trator. O seu acionamento é manual por parte do operador e devem ser regulados com o veículo parado. Os pistões hidráulicos do sistema de elevação são responsáveis pela regulagem de altura do implemento e, consequentemente, da altura de corte, com a utilização de modelos similares ao equipamento Sega Pasto da Casale.

As estruturas do chassi, carenagens, apoios e suportes são feitos a partir de chapas dobradas, soldadas e/ou parafusadas. Uma estrutura central (chassi) serve de suporte para o acoplamento dos demais sistemas.

Vale destacar que as informações relativas aos custos dos componentes não foram inseridas, pois, conforme acordado em reuniões desta etapa do projeto, elas serão acrescentadas posteriormente, pela própria empresa Casale, que pode melhor defini-las. Isto também não permitiu o cálculo financeiro propriamente dito.

Para a atividade 4 – **FMEA** teve por objetivo analisar os riscos envolvidos nos componentes das Opções 1 e 2, e utilizadas como base para as planilhas fornecidas pela própria empresa Casale, as quais foram avaliadas de acordo com a visão de desenvolvimento do projeto, com a severidade, detecção e ocorrência ponderadas de acordo com o controle do projeto até o lançamento do produto. Vale destacar que discussões futuras do FMEA são necessárias, de modo a agregar a visão de outras áreas da empresa, tais como manufatura, comercial, marketing, entre outras, bem como os avanços e modificações no projeto.

Com relação à Opção 1, encontra-se na Figura 61 a identificação dos itens do Sistema de Corte com uma atenção direcionada para as falhas relacionadas ao sistema de facas de corte e ao sistema de transmissão por engrenagens.

Figura 61 – Identificação dos itens do Sistema de Corte da Opção 1

	1. IDENTIFICAÇÃO				2. POTENCIAL MODO DE FALHA	3. POTENCIAL EFEITO DE FALHA
MODO DE FALHA #	GRUPO & SISTEMA	ITEM	FUNÇÃO DO SISTEMA	FUNÇÃO & REQUISITOS	TIPO	EFEITO
1	Cutterbar	lâminas de corte	Corte	Corte limpo sem repique da Palma cortada e remanescente.	4. Função Over	Quebrar a lâmina
2	Cutterbar	lâminas de corte	Corte	Corte limpo sem repique da Palma cortada e remanescente	5. Função degrada ao longo do tempo	Não cortar, repicar ou arrancar a planta
3	Cutterbar	transmissão por engrenagens	Corte	Faixa de rotação à 3000 rpm	5. Função degrada ao longo do tempo	Ruído e travamento
4	Cutterbar	transmissão por engrenagens	Corte	Faixa de rotação à 3000 rpm	5. Função degrada ao longo do tempo	Ruído, formação gradual de trincas e quebra de dente
5	Cutterbar	caixa de transmissão	Corte	Multiplicador de 540 rpm para 3000 rpm	5. Função degrada ao longo do tempo	Ruído, travamento, trincas e quebra de dente
6	Cutterbar	caixa de transmissão	Corte	Multiplicador de 540 rpm para 3000 rpm	1. Nenhuma função	Sem transmissão
7	Cutterbar	direcionadores do corte	Corte	Direcionar a Palma para a lâmina	4. Função Over	Dobrar ou quebrar a chapa

Fonte: Santos et al. (2021).

As potenciais causas das falhas associadas às engrenagens são de natureza a envolver degradação e/ou de acúmulo de sujeira, quando os sistemas de vedação e lubrificação do equipamento forem comprometidos com perdas parciais e redução de desempenho, ver Figura 62.

Figura 62 – Avaliação dos itens do Sistema de Corte da Opção 1

	4. AVALIAÇÃO										5. RESULTADO	
MODO DE FALHA #	SEVERIDADE	TIPO KC	POTENCIAL CAUSA DA FALHA	OCORRÊNCIA	Controle atual do Projeto PREVENÇÃO	Controle atual do Projeto DETECÇÃO	DETECÇÃO	S	O	D	RISK	RPN
1	10. Risco de acidente SEM aviso	CC	Impacto com pedra ou objeto rígido	4. Low UP (>0,05%)	Limpar o terreno.	Visual	9. REMOTE detection	10	4	9	40	360
2	7. Redução de performance ALTA	SC	Perda de fio natural ou em devido a substâncias presentes na planta	9. Repeated failures VERY LIKELY (>12,5%)	Checar o fio de corte com frequência	Visual e medição	1.Certamente detectado	7	9	1	63	63
3	9. Risco de acidente COM aviso	CC	Problemas de lubrificação e vedação acumulados (penetração de sujeira ou partículas). Travamento dos discos.	3.Low MIDDLE (>0,01%)	Lubrificar e checar vedação com frequência.	Sonora e visual.	6. BAD detection MIDDLE	9	3	6	27	162
4	7. Redução de performance ALTA	SC	Problemas de lubrificação e vedação (penetração de sujeira ou partículas).	5. Occasional DOWN (>0,25%)	Lubrificar e checar vedação com frequência.	Sonora e visual.	3. Likelihood Detection MIDDLE	7	5	3	35	105
5	6. Redução de performance MÉDIA	-	Problemas de lubrificação e vedação (penetração de sujeira ou partículas).	3.Low MIDDLE (>0,01%)	Lubrificar e checar vedação com frequência.	Sonora e visual.	3. Likelihood Detection MIDDLE	6	3	3	18	54
6	8. Função primária perdida	-	Problema no acoplamento do cardan	2. Low DOWN (<= 0,01%)	Checar periódicamente a conexão e realiza-la de maneira adequada.	Visual	2. Likelihood Detection UP	8	2	2	16	32
7	6. Redução de performance MÉDIA	-	Impacto com pedra ou objeto rígido ou deformação.	3.Low MIDDLE (>0,01%)	Limpar o terreno e checar a integridade da peça	Visual	9. REMOTE detection	6	3	9	18	162

Fonte: Santos et al. (2021).

Apresenta-se a seguir as Figuras 63 e 64 com os valores para a Opção 2 do FMEA, respectivamente para identificação e para avalição.

Figura 63 – Identificação dos itens do Sistema de Corte da Opção 2

	1. IDENTIFICAÇÃO				2. POTENCIAL MODO DE FALHA	3. POTENCIAL EFEITO DE FALHA
MODO DE FALHA #	GRUPO & SISTEMA	ITEM	FUNÇÃO DO SISTEMA	FUNÇÃO & REQUISITOS	TIPO	EFEITO
1	Módulo de Corte 2	lâminas de corte	Corte	Corte limpo sem repique da Palma cortada e remanescente	4. Função Over	Quebrar a lâmina
2	Módulo de Corte 2	lâminas de corte	Corte	Corte limpo sem repique da Palma cortada e remanescente	5. Função degrada ao longo do tempo	Não cortar, repicar ou arrancar a planta
3	Módulo de Corte 2	eixos	Corte	Transmitir rotação	3. Função intermitente	Ruído, flambagem, vibração, travamento parcial.
4	Módulo de Corte 2	polias e correias	Corte	Transmitir rotação	3. Função intermitente	Falta de contato entre polia/correia, deslizamento, vibração.
5	Módulo de Corte 2	polias e correias	Corte	Transmitir rotação	1. Nenhuma função	Rompimento da correia
6	Módulo de Corte 2	caixa de transmissão	Corte	Multiplicador de 540 rpm para 3000 rpm	5. Função degrada ao longo do tempo	Ruído, travamento, trincas e quebra de dente
7	Módulo de Corte 2	caixa de transmissão	Corte	Multiplicador de 540 rpm para 3000 rpm	1. Nenhuma função	Sem transmissão
8	Módulo de Corte 2	direcionadores do corte	Corte	Direcionar a Palma para a lâmina	4. Função Over	Dobrar ou quebrar a chapa
9	Módulo de Corte 2	envelope estrutural com gavetas	Corte	Suporte e proteção do sistema de lâminas e transmissão	2. Função parcial	Expor o sistema de corte e transmissão.

Fonte: Santos et al. (2021).

Figura 64 – Avaliação dos itens do Sistema de Corte da Opção 2

	4. AVALIAÇÃO										5. RESULTADO	
MODO DE FALHA #	SEVERIDADE	TIPO KC	POTENCIAL CAUSA DA FALHA	OCORRÊNCIA	Controle atual de Projeto PREVENÇÃO	Controle atual de Projeto DETECÇÃO	DETECÇÃO	S	O	D	RISK	RPN
1	10. Risco de acidente SEM aviso	CC	Impacto com pedra ou objeto rígido	4. Low UP (>0,05%)	Limpar o terreno.	Visual	9. REMOTE detection	10	4	9	40	360
2	7. Redução de performance ALTA	SC	Perda de fio natural ou em devido a substâncias presentes na planta	9. Repeated failures VERY LIKELY (>12,5%)	Checar o fio de corte com frequência	Visual e medição	1 .Certamente detectado	7	9	1	63	63
3	7. Redução de performance ALTA	SC	Sujeira, desgaste, perda de acoplamento, impacto, esforço excessivo	4. Low UP (>0,05%)	Manutenção adequada, isolamento e vedação dos eixos.	Visual e sonora	8. Very LOW detection	7	4	8	28	224
4	6. Redução de performance MÉDIA	SC	Folga, sujeira, desgaste natural e não adequação as recomendações do fabricante quanto manutenção (troca).	5. Occasional DOWN (>0,25%)	Manutenção adequada (checar folga, esticadores, diretrizes de fabricante)	Visual e sonora	6. BAD detection MIDDLE	6	5	6	30	180
5	8. Função primária perdida	SC	Carga excessiva, folga, sujeira, desgaste natural, montagem errada e não adequação as recomendações do fabricante quanto manutenção (troca).	4. Low UP (>0,05%)	Manutenção e instalação adequada (checar folga, esticadores, diretrizes de fabricante)	Visual e sonora	8. Very LOW detection	8	4	8	32	256
6	6. Redução de performance MÉDIA	-	Problemas de lubrificação e vedação (penetração de sujeira ou partículas).	3 .Low MIDDLE (>0,01%)	Lubrificar e checar vedação com frequência.	Sonora e visual.	3. Likelihood Detection MIDDLE	6	3	3	18	54
7	8. Função primária perdida	-	Problema no acoplamento do cardan	2. Low DOWN (<= 0,01%)	Checar periódicamente a conexão e realiza-la de maneira adequada.	Visual	2. Likelihood Detection UP	8	2	2	16	32
8	6. Redução de performance MÉDIA	-	Impacto com pedra ou objeto rígido ou deformação.	3 .Low MIDDLE (>0,01%)	Limpar o terreno e checar a integridade da peça	Visual	9. REMOTE detection	6	3	9	18	162
9	6. Redução de performance MÉDIA	-	Corrosão, dobra ou quebra por impacto, amassar.	3 .Low MIDDLE (>0,01%)	Checar a integridade da estrutura (contra corrosão) e evitar intemperes.	Visual	6. BAD detection MIDDLE	6	3	6	18	108

Fonte: Santos et al. (2021).

Por se tratar de um equipamento comercial e amplamente utilizado por diferentes marcas do mercado entende-se que os valores de RPN ("*Risk Priority Number*", ou, Número de Prioridade de Risco) da Opção 1 Figura 62 sejam inferiores quando comparados à Opção 2 Figura 64, que possui componentes ainda em desenvolvimento, sem testes laboratoriais e operacionais mais aprofundados.

As falhas detectadas nas lâminas de corte são de natureza "*Over*" e de natureza "Degradação ao longo do tempo", respectivamente, quando se tem um impacto com um objeto rígido que quebra a lâmina ou quando se tem a perda do fio da lâmina. Nestes dois aspectos, a prevenção está relacionada à limpeza prévia do terreno para evitar situações críticas ao equipamento e à manutenção das lâminas, assim como qualquer outro equipamento com fio de corte.

Os itens Direcionadores de Corte se repetem na Opção 1 e 2 por serem estruturas frontais às lâminas de corte que irão auxiliar no direcionamento da palma para os discos de corte. O seu formato triangular já é um item encontrado em produtos da empresa Casale e a sua fabricação é feita a partir da dobra de chapas de aço com solda de tubos.

A classificação da característica chave (Tipo Kc) e os valores elevados de Severidade e Detecção dos componentes dos eixos, polias e correias na Opção 2 na Figura 64, apontam para uma atenção especial à fabricação, montagem e ajuste dos mesmos. Embora não haja previsão de riscos envolvendo a segurança do usuário, estes componentes podem levar à redução de desempenho e até à perda de função primária de transmissão no projeto. O número elevado de transmissões por polias e a presença de eixos com relação de comprimento/diâmetro superiores a sete vezes foram as principais causas dos valores elevados para estes itens.

As demais análises do FMEA para os outros sistemas encontram-se no APÊNDICE J, seguindo a mesma forma de elaboração e análise dos anteriores.

As demais atividades, de 5 a 10, previstos inicialmente e descrito no início desta etapa do projeto, foram discutidas e ilustradas através das soluções conceituais propostas para cada um destes sistemas em uma primeira versão do protótipo do implemento. Elas estão presentes na atividade 11 – **Redação do relatório final**, entretanto, como já comentado anteriormente, os termos de confidencialidade, não permitem apresentar estas atividades, pois pode ser considerado quebra de contrato.

Por fim, vale reforçar que as ideias conceituais, inclusive para futuras versões do implemento, com determinados acréscimos em termos de componentes e funcionalidade, especialmente no que diz respeito aos sistemas de armazenamento e descarregamento foram

repassados em formas de desenhos técnicos dos componentes e montagens relativos ao primeiro protótipo, excetuadas as peças comerciais ou já utilizadas pela empresa Casale.

Outro ponto importante é que para validação das propostas, inclusive do sistema de corte, necessita de uma primeira experiência com a operação em campo, a fim de identificar possíveis problemas, ajustes e melhorias a serem realizados.

O próximo capítulo apresenta a proposição da metodologia e ferramentas de projeto aplicados a MA com ênfase nos pequenas fabricantes de MIA.

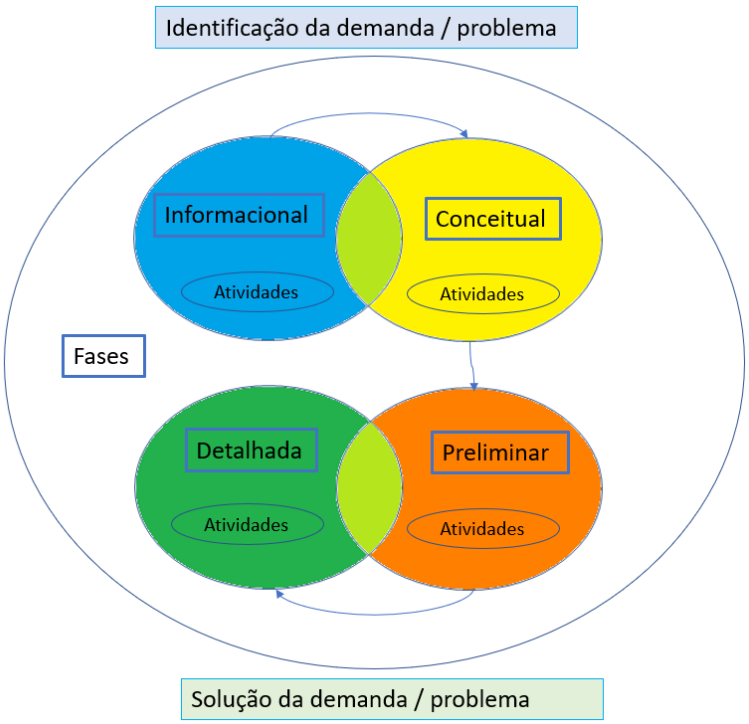
4 PROPOSTA DE METODOLOGIA E FERRAMENTAS DE PROJETO

Levando em consideração o que foi apresentado nos capítulos anteriores, fazendo uso do que se entendeu por mais adequado e buscando simplificar o entendimento das metodologias encontradas é apresentada a seguir a proposta de metodologia e ferramentas de projetos aplicados à MA com ênfase nos pequenos fabricantes de MIA.

A MP proposta é a de sistematização de fases, composta por quatro fases: informacional, conceitual, preliminar e detalhada. Uma visão geral encontra-se ilustrada na Figura 65. A representação utilizada procura ser mais interativa que um fluxograma clássico quando se tem atividades simultâneas e tão objetivo quanto às representações que surgem à partir da proposta de Romano (2003), apresentada na Figura 13.

A ausência de macrofases e de algumas fases quando comparados aos demais trabalhos visto ao longo dos capítulos 2 e 3, inclusive à de Gasparin, Walber e Israel (2015) que é a que mais se aproxima dos objetivos dessa tese, ocorre por tentar atender as limitações e características dos pequenos fabricantes de MIA, realizando o projeto até o nível de protótipo virtual. Por essa mesma razão não foram incluídos os conceitos de entrada, domínios, *gates*, saídas entre outros itens presentes nas metodologias e modelos de referência estudados.

Figura 65 – Metodologia de projeto proposta



Fonte: próprio autor.

Os conceitos fundamentais presentes na Figura 65 são:

- todo o processo inicia pela identificação de uma demanda ou problema na MA;
- as fases informacional e conceitual são inicializadas;
- as setas que interligam os círculos indicam o fluxo de conclusão das fases;
- a área de interseção na cor verde clara representa atividades que podem ser desenvolvidas simultaneamente;
- ao se concluir a fase conceitual é inicializado as fases preliminar e detalhada;
- a solução da demanda ou problema na MA ocorre ao se finalizar a fase detalhada.

A representação descritiva das fases é realizada em forma de planilha, uma para cada fase, o que a torna uma forma simplificada do modelo de Romano (2003). São apresentados todos os elementos que compõem a fase: atividades, número da atividade, tarefas, precedência, ferramentas de projeto proposta e por fim, colunas para registrar o início e fim de cada tarefa, que pode servir como cronograma simplificado do projeto.

Na Tabela 22 encontra-se a representação da fase informacional. Fase que tem por objetivo buscar informações em relação à demanda identificada ou problema a ser resolvido. Nesta são trabalhados os principais aspectos relacionados à MA. A cor azul usada na planilha é decorrente da representação da metodologia na Figura 65.

A Tabela também serve de fluxograma de realização das atividades e tarefas, através do número da atividade e da precedência. No caso desta fase observa-se que as tarefas podem ser desenvolvidas de forma simultânea, por não terem precedência. Embora, a depender de como elas irão ser conduzidas e o volume de pessoas envolvidas no projeto, a sequência numérica das mesmas pode servir de cronologia para sua execução.

Tabela 22 – Planilha da fase informacional

Fase Informacional						
Atividades	**Número**	**Tarefas**	**Precedência**	**Ferramentas**	**Inicio**	**Fim**
Mercado	1	Levantamento do perfil	sem	Questionário Entrevista Busca em Base de dados		
	2	Avaliação do tamanho do mercado	sem	Entrevista		
	3	Existência de concorrência	sem	Busca em base de dados		
Técnica	4	Recursos	sem	Reuniões Quadros		
	5	Estudo do ambiente	sem	Revisão bibliográfica Busca em base de dados		
	6	Estudo cultura/planta/animal	sem	Revisão bibliográfica Busca em base de dados		
	7	Estado da técnica	sem	Busca de patentes Busca de imagens e vídeos Busca em equipamentos existentes		

Fonte: próprio autor.

A fase informacional é trabalhada em duas atividades: mercado e técnica. O título de cada tarefa em que é desmembrada a atividade já representa uma breve descrição da mesma e dos objetivos que devem ser alcançados. A seguir temos uma descrição mais detalhada e procura deixar o mais claro possível o que se pretende obter, mas lembrando que a MA é bastante ampla e haverá casos em que sejam necessárias ainda mais informações.

- Mercado
  1. Levantamento do perfil
     - Levantar o máximo de informações possíveis em relação a qual mercado se destina o projeto;
     - Saber se é local, regional, nacional e/ou exportação;
     - Limite de preços do produto resultante do projeto.
  2. Avaliação do tamanho do mercado
     - Procura estimar ou identificar o volume de vendas;
     - Compreender as influências de sazonalidade.
  3. Existência de concorrência
     - Verificar a existência de concorrência.
- Técnica
  1. Recursos
     - Estabelecer as pessoas que devem participarem do projeto;
     - Definir os limites e quantidade de recursos financeiros disponíveis;
     - Compreender se será necessário parcerias para o desenvolvimento do projeto;
     - Analisar a existência de incentivos e apoio governamental.
  2. Estudo do ambiente
     - Fazer o estudo em relação ao clima e bioma;
     - Conhecer as condições de solo e topografia.
  3. Estudo cultura/planta/animal
     - Buscar as informações biológicas, agronômicas e zootécnicas pertinentes;
     - Conhecer as atividades do início ao fim do ciclo da cultura, planta ou animal.
     - Levantar os requisitos técnicos e funções.
  4. Estado da técnica
     - Realizar a busca de soluções técnicas existentes atuais nas diversas fontes disponíveis;
     - Analisar a viabilidade das soluções técnicas encontradas.

As ferramentas de projeto mínimas proposta para a realização das tarefas encontram-se na coluna Ferramentas. Elas aparecem ao longo da tese, principalmente, durante o item 3.3 quando se apresenta de uma forma mais completa o estudo de caso desenvolvido durante o doutorado. Para essa fase só o questionário está formalmente apresentado no APÊNDICE E.

A qualidade das informações irá melhorar significativamente caso se consiga a participação também de pessoas externas à empresa, entre elas: agricultores, pecuaristas, pesquisadores e profissionais que atuam na área de MA ou relacionado à demanda ou problema identificado. O alto nível da pesquisa científica no Brasil por meio das suas Universidades, Institutos Federais, Institutos de Pesquisa, Embrapa, entre outros, ligados a atividades agrícolas, disponibiliza informações de excelente qualidade que podem contribuir de forma decisiva no sucesso dos resultados da fase informacional.

Dando continuidade às descrições das fases, segue-se agora para a fase conceitual que tem por objetivo principal encontrar alternativas de conceitos viáveis técnicas e economicamente, capazes de atender aos requisitos técnicos e de escala necessários ao projeto. A mesma está representada na planilha na Tabela 23, na sua cor correspondente.

Tabela 23 – Planilha da fase conceitual

Fase Conceitual						
Atividades	**Número**	**Tarefas**	**Precedências**	**Ferramentas**	**Inicio**	**Fim**
Principios e *Embodiment*	8	Soluções técnicas	sem	Questionário Quadros		
Escalas	9	Dimensionamentos de escala	sem	Questionário Quadros		
Viabilidade técnica	10	Definir requisitos e funções	Fase informacional 8 e 9	Formulários Diagrama MEI		
Alternativas de conceito	11	Escolhas e definições	10	Quadro Morfológico FMEA Conceitual		
	12	Esboços e desenhos	10	Progamas CAD		
Viabilidade de mercado	13	Estimativa de demanda	2	Tabelas eletrônicas Excel		
	14	Oferta	13	Tabelas eletrônicas Excel		
	15	Viabilidade econômica	14	Tabelas eletrônicas Excel		

Fonte: próprio autor.

A fase conceitual está dividida em 5 atividades, algumas contendo só uma tarefa e outras mais de uma. As observações de funcionamento e demais considerações realizadas em relação à metodologia e ferramentas de projeto na planilha anterior se aplicam a esta e demais planilhas.

Nessa fase aparecem agora as tarefas com precedência para o início de sua realização. Desta forma algumas atividades só podem iniciar ao ser finalizado a que está indicada na precedência. Como exemplo a Viabilidade Técnica só pode ser inicializada quando for concluída a fase informacional e as atividades 8 e 9 desta fase. Por outro lado, consegue-se identificar as atividades que pertencem à interseção na cor verde claro na Figura 65 e que podem ser realizadas de forma simultânea às da fase informacional, são elas: soluções técnicas,

dimensionamento de escalas desde o início da fase por não ter precedência e, estimativa de demanda, esta após finalizada atividade 2 de avaliação do tamanho do mercado na fase informacional.

Segue agora uma descrição mais detalha das atividades e tarefas.

- Princípios e formas de realização
  8. Soluções técnicas
     - Buscar as soluções técnicas capazes de realizar as ações para satisfazer os requisitos técnicos e funções que são levantados na fase informacional;
     - Listar os princípios e formas de realização encontrados.
- Escalas
  9. Dimensionamentos de escala
     - Procura estabelecer os volumes e dimensões que estarão envolvidas nas soluções a serem trabalhadas;
     - Auxilia a definir porte do que será desenvolvido em função dos limites de preço levantados.
- Viabilidade Técnica
  10. Definir requisitos e funções
     - Fazer a seleção das alternativas mais viáveis das encontradas nas soluções técnicas.
- Alternativas de conceito
  11. Escolhas e definições
     - Selecionar e definir as soluções viáveis tecnicamente já com os dimensionamentos de escala, procurando estabelecer duas ou três soluções conceituais.
  12. Esboço e desenhos
     - Realizar os croquis com as soluções conceituais.
- Viabilidade de mercado
  13. Estimativa de demanda
     - Realizar as estimativas de vendas à parti das informações de avaliação do tamanho de mercado.
  14. Oferta
     - Analisar a capacidade de oferta dentro da realidade de produção da empresa;
     - Avaliar a necessidade de investimento e capacidade de realização por parte da empresa.

15. Viabilidade econômica

- Realizar os cálculos financeiros de viabilidade econômica que possibilitem a decisão de prosseguir o projeto, caso seja viável.

Para facilitar encontrar alguns dos exemplos das ferramentas de projeto vistas para essa fase foi elaborado o Quadro 14 a seguir.

Quadro 14 – Lista com exemplos de algumas das ferramentas fase conceitual

Número	Tarefas	Ferramentas	Descrição	Localização
8	Soluções Técnicas	Questionário	Questionário aplicado	APÊNCIE F p.157
		Quadros	Quadro 7	p. 79
10	Definir requisitos e funções	Diagrama MEI	Figura 37	p. 88
11	Escolhas e definições	Quadro Morfológico	Figura 38	p. 89
		FMEA Conceitual	Tabela 10	p. 90
13	Estimativa de demanda	Tabelas eletrônica Excel	Tabela 12	p. 93
15	Viabilidade econômica	Tabelas eletrônica Excel	Tabela 18	p. 97

Fonte: próprio autor.

Com finalização da fase conceitual, caso se confirme a viabilidade econômica, permite o início das fases preliminar e detalhada. Pode-se iniciar as atividades que pertencem a área de interseção, verde claro na Figura 65, desde que existam recursos para desenvolver as atividades de forma simultânea.

A fase preliminar tem por objetivo apresentar através dos desenhos, entre eles a visão geral do conjunto, as escolhas e dimensionamentos efetuadas, incluído análise de valor e custo. A mesma está representada na planilha na Tabela 24. Essa fase ficou com um fluxo de atividades mais sequencial que as anteriores, apenas as atividades 20 e 21 podem ser feitas de forma simultânea.

Tabela 24 – Planilha da fase preliminar

Fase Preliminar						
Atividades	Número	Tarefas	Precedência	Ferramentas	Inicio	Fim
Previsão de desempenho	16	Estimativas de performace	15	Questionário Entrevista Busca em Base de dados Revisão bibliográfica		
	17	Cálculos de dimensões	16	Reuniões		
	18	Definições dos sistemas	17	Busca em base de dados		
Memória de cálculo	19	Dimensionamento engenharia	18	Normas Técnicas Livros de referência Manuais de fabricantes Planilhas em Excel		
Análise de valor e custo	20	Cálculos financeiros	19	Planilhas em Excel		
Desenho de layout	21	Visão geral do conjunto	19	Softwares CAD		

Fonte: próprio autor.

➢ Previsão de desempenho

16. Estimativa de desempenho

- Realizar as estimativas de desempenho previstas para a alternativa conceitual escolhida.

17. Cálculos de dimensões
    - Desenvolver os cálculos das dimensões dos sistemas da alternativa conceitual escolhida que atendam a estimativa de desempenho.
18. Definições dos sistemas
    - Realiza a escolha dos sistemas com melhores resultados nos cálculos dimensionais.

➢ Memória de cálculo

19. Dimensionamento engenharia
    - Realizar os dimensionamentos de engenharia de todos os sistemas;
    - Gerar os dados dimensionais que permitam elaboração do desenho de layout.

➢ Análise de valor e custo

20. Cálculos financeiros
    - Realizar os cálculos financeiros como os sistemas escolhidos que permita encontrar os valores a serem gastos e os custos relacionados.

➢ Desenho de layout

21. Visão geral do conjunto
    - Realizar os desenhos com a visão geral do conjunto à parti dos resultados do dimensionamento da engenharia.

As ferramentas de projetos propostas nessa fase vão ser específicas de cada projeto, entretanto, podem gerar um banco de dados para novos projetos, desde que documentadas, arquivadas e disponibilizadas de forma adequada.

Por último temos a fase detalhada que tem por objetivo realizar as especificações técnicas finais, que possibilitam realizar todos os desenhos envolvidos no projeto, bem como a lista de materiais. A mesma está representada na planilha na Tabela 25.

Tabela 25 – Fluxograma de realização da fase detalhada

Fase Detalhada						
Atividade	**Número**	**Tarefa**	**Precedência**	**Ferramenta**	**Inicio**	**Fim**
Desenho de detalhes	22	Especificações técnicas	19	Normas Técnicas Livros de referência Manuais de fabricantes Planilhas em Excel		
	23	Representação em desenho	22	Software CAD		
Desenhos de montagem	24	Desenho protótipo	23	Software CAD		
Desenhos finais	25	Desenhos para produção	24	Software CAD		
Lista de materiais	26	Discriminar materiais	25	Software CAD Planilhas em Excel		

Fonte: próprio autor.

Fica perceptível na tabela que só atividade 22 pertence a área de interseção com a fase preliminar e que permite ser iniciada ao final da atividade 19, de dimensionamento da engenharia.

- Desenho de detalhes
  22. Especificações técnicas
    - Realizar as especificações técnicas de todos os sistemas e componentes.
  23. Representação em desenho
    - Realizar os desenhos técnicos do projeto.
- Desenhos de montagem
  24. Desenho protótipo
    - Fazer os desenhos de montagem e produzir os protótipos virtuais.
- Desenhos finais
  25. Desenhos para produção
    - Desenvolver os desenhos para produção dentro da realidade da empresa.
- Lista de materiais
  26. Discriminar materiais
    - Estabelecer a relação de materiais;
    - Verificar os materiais a serem aproveitados de outras linhas de produto;
    - Definir os materiais a serem produzidos na empresa ou adquiridos no mercado.

As ferramentas propostas dessa etapa incluem software CAD, planilha Excel e acervos técnicos (Normas Técnicas, manuais de fabricantes e Livros de referência da área técnica).

Ao se concluir a fase detalhada fica estabelecida a solução da demanda ou problema que motivou o início do projeto, por meio dos desenhos finais, de um protótipo virtual e da lista de materiais. Cria-se as condições de passar para manufatura do protótipo ou produção de unidades que permitam a validação, melhorias e desenvolvimento final junto a clientes ou parceiros envolvidos no projeto, necessárias ao projeto definitivo para uma produção comercial.

Os principais ganhos da proposta comparados as que servem de base a mesma estão relacionados a simplificação dos fluxogramas utilizados, tendo em uma única figura a visão geral da mesma e as demais informações disponibilizadas em termos de tabelas com as informações simplificadas, contemplando as ferramentas propostas, interdependência das atividades e fases, além de breve cronograma.

Conclui-se que o uso desta metodologia e ferramenta de projetos aplicado à MA por pequenos fabricantes de MIA e os resultados por ela oferecidos tem o potencial criar a confiança necessária em utilizar as metodologias ou modelos de referência mais completos e já disponíveis.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho objetiva propor e validar uma metodologia e ferramentas de projeto aplicada a mecanização agrícola com ênfase nos pequenos fabricantes de MIA. A metodologia é de sistematização de fases, composta de quatro etapas: informacional, conceitual, preliminar e detalhada. A mesma contém atividades, tarefas e ferramentas pré-determinadas, bem como o fluxo de realização por meio das precedências, que estão representados eu uma figura e em planilhas, com as definições e descrições necessárias ao seu entendimento.

A metodologia e as ferramentas de projeto foram propostas com base no referencial teórico realizado e mais três elementos: uma revisão bibliográfica sistemática sobre as MP quem vem sendo utilizadas pela mecanização agrícola e por pequenos fabricantes; pela análise da tese de Fernandes (2018) que trabalhou no desenvolvimento, construção e avaliação de um protótipo de fatiadora de cactácea forrageira; na apresentação do estudo de caso que faz uso de uma metodologia e ferramentas de projeto aplicados à mecanização agrícola em um trabalho que envolveu a colheita da palma forrageira.

A disponibilização de uma metodologia e ferramentas de projeto aplicada à MA que consiga se adequar melhor as limitações e características dos pequenas fabricantes de MIA pode contribuir para que estes participem de forma mais efetiva no desenvolvimento de novos produtos ou melhoria dos existentes e busca reduzir a dependência da MA dos médios e grandes fabricantes, além de proporcionar mais competitividade ao já bem sucedido agronegócio brasileiro.

Embora tenha se encontrado durante o referencial teórico e a RBS metodologias e modelos de referência de PDP para máquinas agrícolas ou voltados à pequenas e médias indústrias de metal mecânica, estes apresentam um volume e nível de informações, exigências em estrutura, gestão de projetos e pessoas que dificultam e uso pelos pequenos fabricantes de MIA. Desta forma surge a demanda para a proposição da metodologia e ferramentas de projeto que foram o objetivo principal deste trabalho.

A análise do trabalho de Fernando (2018) contribui para a importância do uso da MP e de ferramentas de projeto no desenvolvimento, construção e avaliação de implementos agrícolas, mas ao mesmo tempo, das limitações nos resultados obtidos por não está estruturada especificamente com esse propósito.

A maior contribuição veio da participação e apresentação do estudo de caso que envolveu a colheita de palma forrageira. Este representou a formulação prévia de uma metodologia e ferramentas de projeto e sua aplicação em situação real bem próxima da que se

pretendia desenvolver. Embora a identificação do problema de MA a ser resolvido, estudo para mecanização da colheita de palma forrageira, e do desenvolvimento do trabalho ter sido feito em parceria com uma empresa de porte médio de MIA, as entregas finais e a condução do trabalho foram muitos próximos do perfil encontrado nos pequenos fabricantes de MIA. Desta forma obteve-se a fundamentação teórica e prática que complementou o conhecimento necessário a elaboração final da metodologia e ferramentas de projeto desta tese.

Uma das limitações deste trabalho é a não aplicação da metodologia proposta em uma situação prática real, ficando sua validação condicionada aos resultados obtidos no estudo de caso da palma forrageira e do comparativo com os resultados encontrados nos trabalhos levantados no referencial teórico e na RBS.

Como trabalhos futuros, espera-se:

- ✓ poder aplicar a metodologia em um dos três pequenos fabricantes de MIA que participaram da entrevista e responderam ao questionário sobre uso de metodologias de projeto, de tal foram que possa validar ou melhorar a proposta desenvolvida na tese;
- ✓ realizar estudos em empresas agroindustriais, como as do setor canavieiro, que possuem uma grande estrutura de MA para uso da metodologia e ferramenta de projeto desenvolvida na solução de demandas e problemas específicos das mesmas;
- ✓ Em termos acadêmicos verificar a possibilidade de adequar a mesma para uso na disciplina de planejamento de projeto do curso de nível técnico de Fabricação Mecânica no IFSP-Catanduva, tendo em vista não ter identificado material bibliográfico para mesma, o que possibilita que a metodologia e as ferramentas proposta venha a proporcionar bons resultados aos projetos que são elaborados durante a disciplina.
- ✓ Ainda em termos acadêmicos procurar utilizar em curso de pós-graduação focado em gestão de projetos aplicados em agroindústrias.
- ✓ Desenvolver artigos científicos à partir do uso da metodologia e ferramentas proposta por micro empresas e que possibilite demonstrar como elas podem se apropriar e melhorar os processos de desenvolvimento de seus produtos (PDP).

REFERÊNCIAS

ABBOUD, A. C. de S. (org.). **Introdução à agronomia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013. ISBN 978-85-7193-304-0.

ADAMS, B. T. PART 2 FARM MACHINERY DESING: 4 Farm machinery automation for tillage planting, cultivation, and harvesting. *In*: KULZ, M. (ed.). **Handbook of Farm, Dairy, and Food Machinery**. Delmar: William Andrew, 2007. ISBN: 978-0-8155-1538-8.

AGCO. **História.** 2022a. Disponível em: https://www.agco.com.br/about/agco-history.html. Acesso em: 11 jul. 2022.

AGCO. **As nossas soluções.** 2022b. Disponível em: https://www.agco.com.br/our-solutions.html. Acesso em: 11 jul. 2022.

AGRIMEC. **Sobre nós:** nosso maior compromisso é facilitar a vida do produtor rural – nossa história. 2022a. Disponível em: https://agrimec.com.br/agrimec/. Acesso em: 11 jul. 2022.

AGRIMEC. **Implementos agrícolas.** 2022b. Disponível em: https://agrimec.com.br/implementos-agricolas/. Acesso em: 11 jul. 2022.

ALONÇO, A. dos S. **Metodologia de projeto para a concepção de máquinas agrícolas seguras.** 2004. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EUIPAMENTOS. **Blog:** ABIMAQ em números. 2022a. Disponível em: https://abimaq.org.br/blogmaq/895/abimaq-em-numeros-2021. Acesso em: 07 jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EUIPAMENTOS. **Macro setores.** 2022b. Disponível em: https://camaras.abimaq.org.br/. Acesso em: 07 jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EUIPAMENTOS. **CSMIA.** 2022c. Disponível em: https://camaras.abimaq.org.br/camaras/33/camara-setorial-de-maquinas-e-implementos-agricolas. Acesso em: 23 dez. 2022.

BACK, N. **Metodologia de projeto de produtos industriais.** Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983. ISBN 85-7030-013-1

BACK, N. *et al*. **Projeto integrado de produtos:** planejamento, concepção e modelagem. Barueri: Manole, 2008. ISBN 978-85-204-2208-3.

BARICELO, L. G. **A evolução diferenciada da indústria de máquinas agrícolas:** um estudo sobre os casos norte-americano e brasileiro. 2015. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

BAXTER, M. **Projeto de produto:** guia prático para o design de novos produtos. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. ISBN 978-85-2120-265-5.

BERGAMO, R.; ROMANO, L. Agricultural machinery and implements design process: guidelines for small and mid-sized businesses. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, , v. 36, n. 1, p. 206-216, jan/fev. 2016.

BIULCHI, P. V. **Máquinas e mecanização agrícola**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2016. ISBN 978-85-8482-675-9.

BORDIGNON, F. **Modelo de referência para o desenvolvimento de produtos cerâmicos considerando o ciclo de vida total do produto.** 2013 Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de Máquinas de Shigley**, 8a ed., McGraw-Hill, 2011. ISBN 978-85-8055-042-9.

CAPELLO, F. P.; MENTEN, M. M.; MANARIM, L. K. Mecanização racional: saiba como transformar potência em lucro na propriedade. **Revista Hortifruti Brasil**, Piracicaba, ano 9, n. 96, p. 1-38, nov. 2010. Disponível em: https://www.hfbrasil.org.br/en/magazine/access/cover/mecanizacao-racional-saiba-como-transformar-potencia-em-lucro.aspx. Acesso em: 04 ago. 2020.

CAMPOS, S. U. **O processo de desenvolvimento de produto do setor moageiro de trigo:** proposição de um modelo de referência. 2009. Dissertação (Mestrado) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Mercado de trabalho no agronegócio**. Piracicaba: CEPEA, 2022a. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/br/mercado-de-trabalho-do-agronegocio.aspx. Acesso em: 12 dez. 2022.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **PIB-AGRO/CEPEA:** PIB do agro cresce 8,36% em 2021; participação no PIB brasileiro chega a 27,4%. Piracicaba: CEPEA, 2022b. Disponível em: http://www.cepea.esalq.usp.br/br/releases/pib-agro-cepea-pib-do-agro-cresce-8-36-em-2021-participacao-no-pib-brasileiro-chega-a-27-4.aspx#:~:text=Diante%20do%20bom%20desempenho%20do,52%2C63%25%2C%20respectivamente. Acesso em: 15 jul. 2022.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **Institucional:** Panorama do Agro. Brasília: CNA, 2022. Disponível em: https://cnabrasil.org.br/cna/panorama-do-agro. Acesso em: 30 nov. 2022.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 8., 2011, Porto Alegre. **Anais** […]. Porto Alegre: [*s. n.*], 2011.

CUNHA, T. J. F. *et al*. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. *In*: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (ed.).

Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. cap. 2, p. 50-87.

DEDINI, F. G. **Metodologia de projeto.** Campinas: Unicamp, 2018. Notas de aula.

DICIONÁRIO ONLINE DE PORTUGUÊS. **Metodologia.** 2022. Disponível em: https://www.dicio.com.br/metodologias/. Acesso em: 28 jul. 2022.

DONGDONG, D.; JUN, W. Research on mechanics properties of crop stalks: a review. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, Beijing, v. 9, n. 6, p. 10-19, 2016.

DUBEUX JR., J. C. B.; SALEM, H. B.; NEFZAOUI, A. Forage production and supply for animal nutrition. *In*: INGLESE, P. et al. (ed.). **Crop ecology, cultivation and uses of cactus pears**. Rome: The Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations and the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), 2017. cap. 7, p. 73 – 92.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, **Anuário do Leite**. 2019. Disponível em: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Or_vnm1y92UJ:https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/198698/1/Anuario-LEITE-2019.pdf+&cd=1&hl=pt-PT&ct=clnk&gl=br. Acesso em: 22 maio 2020.

FERNANDES, F. R. B. **Desenvolvimento, construção e avaliação de um protótipo de fatiadora de cactácea forrageira.** 2018. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Ceará, Fortaleza, 2018.

FRANCISCO, P. R. M. **Mecanização Agrícola:** coletânea de sala de aula. Campina Grande: EPTEC, 2022. ISBN 978-65-00-37423-0.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Pós-graduação em gerenciamento de projetos.** 2022. Disponível em: https://educacao-executiva.fgv.br/cursos/online/pos-graduacao-online/pos-graduacao-em-gerenciamento-de-projetos-1?gclid=CjwKCAjwlqOXBhBqEiwA-hhitOz3v6NXklG-CsPsSfVHJudGH2JV8jJgNTk7r__J3p-S4421BKyczRoCtl8QAvD_BwE. Acesso em: 02 ago. 2022.

GASSEN, J. R. F. **Desenvolvimento de um sistema de documentação para o projeto de máquinas agrícolas:** modelo de referência. 2008. Dissertação (Mestrado) –Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

GASPARIN, D.; WALBER, M.; ISRAEL, C. L. Metodologia de projeto para empresa metal mecânica. **Revista CIATEC – UPF**, Passo Fundo, v. 7, n. 1, p. 79-93, 2015.

GOODYEAR (s.d.). **Cálculos e recomendações para correias de transmissão de potência em "V"**. [S. l.: s. n.], [2012?]. Disponível em: https://etep1g.files.wordpress.com/2012/09/catc3a1logo-goodyear.pdf. Acesso em: 20 fev. 2021.

HOARD'S DAIRYMAN. **SmartCut Cutterbar.** 2021. Disponível em: https://hoards.com/article-10664-smartcut-cutterbar.html. Acesso em: 15 mai. 2021.

HOUAISS. **Método.** 2022. Disponível em: https://houaiss.uol.com.br/corporativo/apps/uol_www/v6-1/html/index.php#1. Acesso em: 28 jul. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Semiárido brasileiro:** Portaria N°89 do Ministério da Integração Nacional, de 16 de março de 2005 - IBGE, Malha Municipal Digital, 2005. Base Cartográfica Digital Integrada – 1:15.000.000ftp. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. Disponível em: //geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/semiarido_brasileiro/Situacao_2005a2017/semiarido_brasileiro.pdf. Acesso em: 18 abr. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática:** SIDRA Censo Agropecuário 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017. Acesso em: 11 maio 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Carta de conjuntura**. Campinas: IPEA, 2022. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/cartadeconjuntura/index.php/tag/comercio-exterior-do-agronegocio/#:~:text=No%20acumulado%20do%20ano%20at%C3%A9,importa%C3%A7%C3%B5es%20(12%2C1%25). Acesso em: 12 dez. 2022.

JACTO. **Empresa:** linha do tempo. 2022a. Disponível em: https://jacto.com/brasil/company/linha-do-tempo. Acesso em: 11 jul. 2022.

JACTO. **Produtos.** 2022b. Disponível em: https: https://jacto.com/brasil/products. Acesso em: 11 jul. 2022.

JOHN DEERE. **Máquinas e implementos agrícolas.** 2022. Disponível em: https://www.deere.com.br/pt/m%C3%A1quinas-e-implementos-agr%C3%ADcolas/. Acesso em: 04 jul. 2022.

LYRA, A. S. V. et al. **Relatório final:** projeto CASALE. 2020. São Carlos: EESC/USP, 2020. Não publicado.

LUCENTE, A. dos R. **Dinâmica da inovação tecnológica no Brasil:** estudo do segmento de máquinas e implementos agrícolas**.** 2010. 174p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

MACHADO, F. M. **Modelo de referência do processo de monetização de valor aplicado ao setor de máquinas agrícola**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

MADUREIRA, O. M. **Metodologia de projeto:** planejamento, execução e gerenciamento. Barueri: Blücher, 2013. ISBN 978-85-212-0465-7

MARIBONDO, J. de F. **Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicada a unidades de processamento de resíduos domiciliares.** 2000. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

MASSAROPI, E.; CARVALHO, J.; FORTULAN, C. A.; LIRANI, J. **Elementos de Máquinas I (SEM 0241)**. São Carlos: EESC/USP, 2007. Notas de aula.

MIRA, W. **Histologia vegetal:** tecidos vegetais. 2022. Disponível em: https://querobolsa.com.br/enem/biologia/histologia-vegetal-tecidos-vegetais. Acesso em: 25 dez. 2022.

MOLINA, S. **Dados técnicos e comerciais da barra de corte.** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <sergio.molina@samasz.pl>. em 20 04 2022.

MONTELEONE, S. **Exploração da adoção da agricultura de precisão no contexto da agricultura 4.0:** proposta de um modelo de gestão das operações de irrigação. 2022. Tese (Doutorado) – Centro Universitário FEI, São Paulo, 2022.

MOREIRA, R. M. G. *et al*. Preliminary design of a coffee harvester. **Semina:** Ciências Agrárias, Londrina, v. 37, n. 5. p. 2933-2946, set./out. 2016.

OCAMPO, J. U. **Processo de desenvolvimento de produtos em PMEs industrias do setor de móveis hospitalares.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

OLIVEIRA, A. S. de; DALLMEYER, A. U.; ROMANO, L. N. Marketing in the pre-development process of agricultural machines: a reference model. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 745-755, jul./ago. 2012.

PAHL, G. *et al*. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações.** Tradução Hans Andreas Wener. Revisão Nazem Nascimento. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. ISBN 978-8-85212-036-36.

PAHL, G. *et al*. **Engineering design:** a systematic approach. 3rd ed. Translation by Gerhard Pahl *et al*. London: Springer, 2007. ISBN 978-1-84628-318-5.

PAULA, I. C. **Proposta de um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos farmacêuticos**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PENTEADO, K. **A agropecuária brasileira impressiona e alimenta o mundo.** 2021. Disponível em: https://maquinasequipamentos.com.br/a-agropecuaria-brasileira-impressiona-e-alimenta-o-mundo/. Acesso em: 10 out. 2022.

PENSO, C. C. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos na indústria de alimentos**. 2003. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) - Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

POLIUSPPRO. **Pós-graduação a distância:** especialização em Gestão de Projetos (CEGP). 2022. Disponível em: https://poliusppro.com/cursos/especializacao-em-gestao-de-projetos-

cegp/?gclid=CjwKCAjwlqOXBhBqEiwA-hhitBvHjv7MwaXc9mw3IK2UXBsVHWHIdzo2ADCcKMkLbHwaaw9_R4q89BoCvlcQAvD_BwE. Acesso em: 02 ago. 2022.

ROCHA, J. E. S. **Palma forrageira no nordeste do Brasil:** estado da arte. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2012. (Embrapa Caprinos e Ovinos. Documentos, 106). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/979108/. Acesso em: 05 out. 2018.

ROMANO, L. N. **Desenvolvimento de máquinas agrícolas:** planejamento, projeto e produção. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2013. ISBN: 9788580390841.

ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o desenvolvimento de máquinas agrícolas.** 2003. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROMEIRO FILHO, E.; FERREIRA, C. V.; MIGUEL, P. A. C.; GOUVINHAS, R. P.; NAVEIRO, R. M. **Projeto do produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

ROZENFELD, H. *et al*. **Gestão do desenvolvimento de produtos:** uma referência para a melhoria de processos. São Paulo: Saraiva, 2006. ISBN: 978-85-0205-446-2.

SANTOS, A. V. de F. **Proposta de metodologia, da perspectiva da engenharia, para o projeto de dispositivos assistivos com abordagem centrada no usuário e o auxílio da manufatura aditiva, no contexto da Tecnologia Assistiva.** 2020. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

SANTOS, A. V. de F. *et al*. **Relatório 2:** fase 2: projeto CASALE. São Carlos: EESC/USP, 2021. Não publicado.

SANTOS, M. C. **Solos do Semiárido do Brasil**. Recife: UFRPE, 2017. (Cadernos do Semiárido n. 10). Disponível em: http://www.editora.ufrpe.br/node/104. Acesso em: 15 nov. 2019.

SILVA, P. F. da. **Crescimento e produtividade de palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada.** 2017. Tese (Doutorado) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 2017. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFCG_9d0d25f66d6936543ea80fbb102961f8. Acesso em: 8 out. 2018.

SILVA, R. P. **A indústria de máquinas agrícolas:** formação de oligopólio, internacionalização e poder de mercado. 2015. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

SILVEIRA, Z. C. **SEM 0327:** Elementos de Máquinas III. São Carlos: SEM-EESC/USP, 2020. Notas de aula.

SKF. **Catálogo de rolamentos**. [*S. l.: s. n.*], 2015. Disponível em: https://www.skf.com/binaries/pub45/Images/0901d19680416a2b-10000_2-PT-BR---Rolling-bearings_tcm_45-121486.pdf. Acesso em: 01 mar. 2021.

SRIVASTAVA, A. K. et al. CHAPTAR 11: Hay and forage harvesting. *In*: MCCANN, P. (ed.). **Engineering principles of agricultural machines**. 2nd ed. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. p. 353-356. ISBN 1-892769-50-6

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Nova delimitação do semiárido de acordo com a Resolução CONDEL nº 107, de 27/07/2017 e nº 115, de 23/11/2017**. 2018. Disponível em: http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiarido/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o_de_Munic%C3%ADpios_Semi%C3%A1rido.pdf. Acesso em: 08 abr. 2020.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE; INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. **Documento de referência sobre palma forrageira. 2020.** Disponível em: www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/documento-de-referncia-palma-sudene-verso-05-03-20-final-pdf. Acesso em: 28 mar. 2021.

SWIFTCUT. **Barra de corte:** SwiftCUT. 2021. Disponível em: https://swiftcut.eu/pt/homepage-pt/. Acesso em: 20 abr. 2021.

TATSCH, M. P. **Modelo de referência para o processo de gestão da produção agrícola:** ênfase na mecanização. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

TOLEDO, J. C.; SIMÕES, J. M. S. **Gestão do desenvolvimento de produto em empresas de pequeno e médio porte do setor de máquinas e implementos agrícolas do Estado de SP**. Gestão da Produção, São Carlos, v. 17, n. 2, p. 257-269, 2010.

ULLMAN, D. G. The mechanical design process. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2010.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development.** 6th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015. ISBN: 978-00-7802-906-6.

VOLTOLINI, T. et al. **Plantio e manejo da palma forrageira no semiárido.** Brasília: EMBRAPA, 2016a. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1061001/1/Cartilha1.pdf. Acesso em: 10 out. 2018.

VOLTOLINI, T. *et al*. **Palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros.** Brasília: EMBRAPA, 2016b. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1061005/1/Cartilha2.pdf. Acesso em: 10 out. 2018.

WEISS, A. **Desenvolvimento e adequação de implementos para a mecanização agrícola nos sistemas conservacionistas em pequenas propriedades**. 1998. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

APÊNDICE A – Pesquisa em pequenas fabricantes

O questionário abaixo foi aplicado nas seguintes empresas: Action Bacurê – Olímpia – SP; Fido – Olímpia – SP; Semecat Máquinas Agrícolas – Catanduva – SP; Herbicat – Catanduva – SP.

Questionário 2 aplicado no levantamento de informações na indústria de máquinas e implementos agrícolas de pequeno e médio porte

Data: / / nº

O objetivo deste questionário é obter uma visão do uso da metodologia de projeto nas indústrias de pequeno e médio porte de máquinas e implementos agrícolas instaladas na região de São José do Rio Preto – SP a respeito do seu processo de projeto e desenvolvimento de produtos.

DADOS GERAIS DA EMPRESA

1. Empresa
_____
2. Localização
_____
3. Número de funcionários: _____
4. Linha de produtos
( ) máquinas
( ) implementos

ÁREA DE PROJETOS DE PRODUTO

5. Existe um setor de projeto e desenvolvimento de produtos
( ) Sim ( ) Não

Se SIM:

6. Como é organizado?
( ) Estrutura funcional
( ) Estrutura matricial
( ) Estrutura por projeto
( ) Outro: _____
7. Qual a formação acadêmica dos profissionais deste setor? _____
_____

CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

8. Que tipo de projeto é desenvolvido?
( ) Novo produto
( ) Produto derivado projeto anterior
( ) Produto atual com pequenas alterações
9. É realizado o processo de planejamento de produtos?
( ) Sim ( ) Não
10. O processo de desenvolvimento de produto segue:
( )algum modelo ou metodologia de projeto; ou
( ) são conduzidos conforme a experiência dos profissionais
11. Conhece os modelos propostos nas teses de doutorado de por Romano (2003) ou Alonço (2004)?
( ) Sim ( ) Não

Se Sim, qual?
_____
_____

12. O processo de desenvolvimento de produto é
( ) sequencial (tradicional)
( ) utiliza conceitos de engenharia simultânea
13. Os procedimentos adotados podem ser ou são representados através de um modelo esquemático contendo as principais fases, etapas ou tarefas?
( ) Sim ( ) Não
14. Os procedimentos adotados se baseiam em algum modelo disponível na literatura? Qual?
( ) Sim ( ) Não _____
_____
15. Que ferramentas são utilizadas no desenvolvimento de produtos – gestão e projeto do produto?
_____
_____

CARACTERIZAÇÃO DA EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

16. Qual o tamanho da equipe: _____
17. Qual a formação acadêmica dos profissionais? _____
_____
_____
18. Nessa formação acadêmica tem disciplinas da área de projeto?
19. A equipe conhece 'metodologias de projeto'?
( ) Sim ( ) Não
20. A equipe conhece modelos de gerenciamento de projeto e/ou modelos de referência? Quais?
( ) Sim ( ) Não
_____
_____
_____
21. Seria bem vindo uma metodologia e ferramentas de projeto simplificada para ser utilizada no projeto e desenvolvimento do produto?
( ) Sim ( ) Não

As respostas à maioria das perguntas encontram-se resumidas na Tabela 26 a seguir.

Tabela 26 – Síntese das respostas ao questionário 2

Pergunta	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D
3	120	60	98	75
4	Máquinas	Implementos	Implementos	Máquinas e Implementos
5	Sim	Sim	Sim	Sim
6	Projeto	Funcional	Funcional	Funcional
7	Engenharia e técnicos	Eng. Mecânica	Eng. Mecânica	Eng. Mecânica Tecnólogo
8	Todos	Produto derivado Produto atual	Todos	Novo Produto
9	Sim	Sim	Sim	Sim
10	Experiência	Experiência	Experiência	Experiência
11	Não	Não	Não	Não
12	Sequencial	Sequencial	Sequencial	Sequencial
13	Sim	Não	Sim	Sim
14	Não	Não	Não	Não
16	6	3	4	10
19	Não	Não	Sim	Sim
20	Não	Não	Não	Não
21	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: próprio autor.

A análise das respostas mostra que todas as empresas atuam na produção de máquinas ou implementos e só uma produzindo os dois. Todas possuem um setor de projeto, com os profissionais com formação em Engenharia, com uma delas realizando projetos só de produtos novos, outra projetos de produtos derivados ou melhorias nos atuais e duas nos três tipos de projeto. Todas realizam o processo de planejamento de produtos, seguindo a experiência dos profissionais.

Dando prosseguimento na análise, observa-se que em nenhuma delas se conhece as teses de Romano (2003) ou Alonço (2004) e não utilizam nenhum modelo de referência ou MP disponível na literatura. A equipes são formadas de 3 a 10 profissionais. Em duas delas disseram conhecer MP, mas em todas se desconhecem modelos de gerenciamento de projeto e/ou modelos de referência. **Por fim, todas afirmaram ser bem vindo uma metodologia e ferramentas de projeto simplificada para ser utilizada no projeto e desenvolvimento de produto.**

APÊNDICE B – *Strings* usadas nas bases de dados

Nesse APÊNDICE são apresentadas as *strings* de busca e forma como foram utilizadas nas bases de dados, de forma que se visualize as adequações necessárias e realizadas para conseguir cumprir o que estava previsto nos objetivos da RBS.

a) Capes

A – (*(project methodology OU design tools OU design agricultural machinery OU reference model) E (agricultural mechanization)) E (small manufacturers)).*

B – ((metodologia de projeto OU ferramentas de projeto OU projetos de máquinas agrícolas OU modelo de referência) E (mecanização agrícola)) E (pequenos fabricantes)).

b) BDTD

A – (+*project methodology AND +design tools OR +reference model AND agricultural machinery*)

B – (+metodologia de projeto AND +ferramentas de projeto OR +projetos de máquinas agrícolas OR +modelo de referência AND +mecanização agrícola)

c) Biblioteca EESC/USP – Teses e dissertações

A - (*"project methodology"*) *OU* ("*design tools"*) *OU* ("*design agricultura machinery*") *OU "reference model") OU ("agricultural mechanization") OU ("small manufacturers")*

B – ("metodologia de projeto") OU ("ferramentas de projeto") OU ("projetos de máquinas agrícolas") OU ("modelo de referência") OU ("mecanização agrícola") OU ("pequenos fabricantes").

APÊNDICE C – Relatório síntese da RBS

A síntese dos artigos selecionados segui a ordem cronológica de publicação e tem por objetivo apresentar as contribuições teóricas e práticas que apoiaram na metodologia e ferramentas de projeto aplicadas à mecanização agrícola, com ênfase nos pequenos fabricantes de MAI.

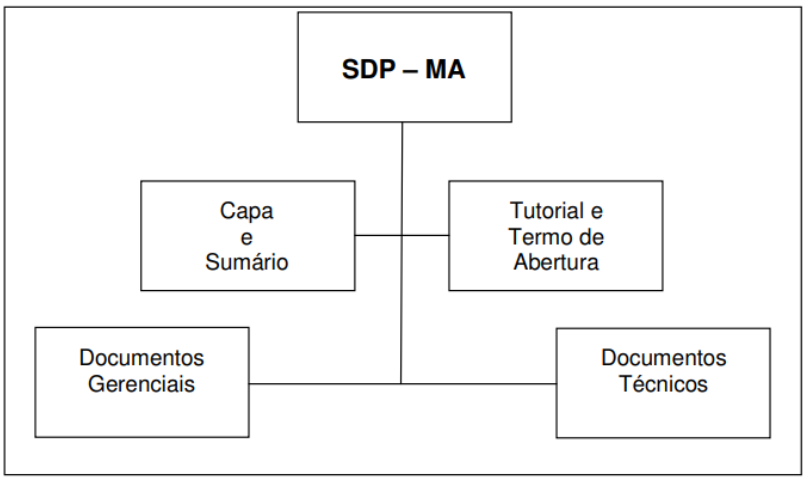
1. **Gassen (2008)**

O autor realiza o desenvolvimento de um Sistema de Documentação para o Projeto de Máquinas Agrícolas (SDP-MA) a ser aplicado ao longo das macrofases de planejamento e projetação do Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas (MR-PDMA), proposto por Romano (2003), já abordado neste trabalho no item 2.3.

O trabalho busca, principalmente, contribuir com a capacidade competitiva das indústrias de máquinas agrícolas, pelo aumento do controle e a padronização dos documentos gerados ao longo do seu desenvolvimento. Tendo em vista que a maior parte das pequenas e médias empresas de máquinas agrícolas à época ainda não faziam uso do PDP e, desta forma procura contribuir, assim como Romano (2003), com modelos de referência para mudar esse cenário.

Uma forma simplificada de apresentar o SPD-MA é através das Figuras 66 e 67 que o sintetizam, apresentadas a seguir.

Figura 66 – Estrutura do SDP-MA



Fonte: Gassen (2008).

Figura 67 – Apresentação do SDP-MA em Diretórios

Fonte: Gassen (2008).

O sistema ficou estruturado em dois pacotes e ao final ficou com 136 documentos, nos quais 54 são de natureza gerencial e 82 de natureza técnica. O que demonstra a complexidade de simplificar os modelos de referência ou metodologias para o PDP e que se torna necessário quando o foco está nos pequenos fabricantes de MIA.

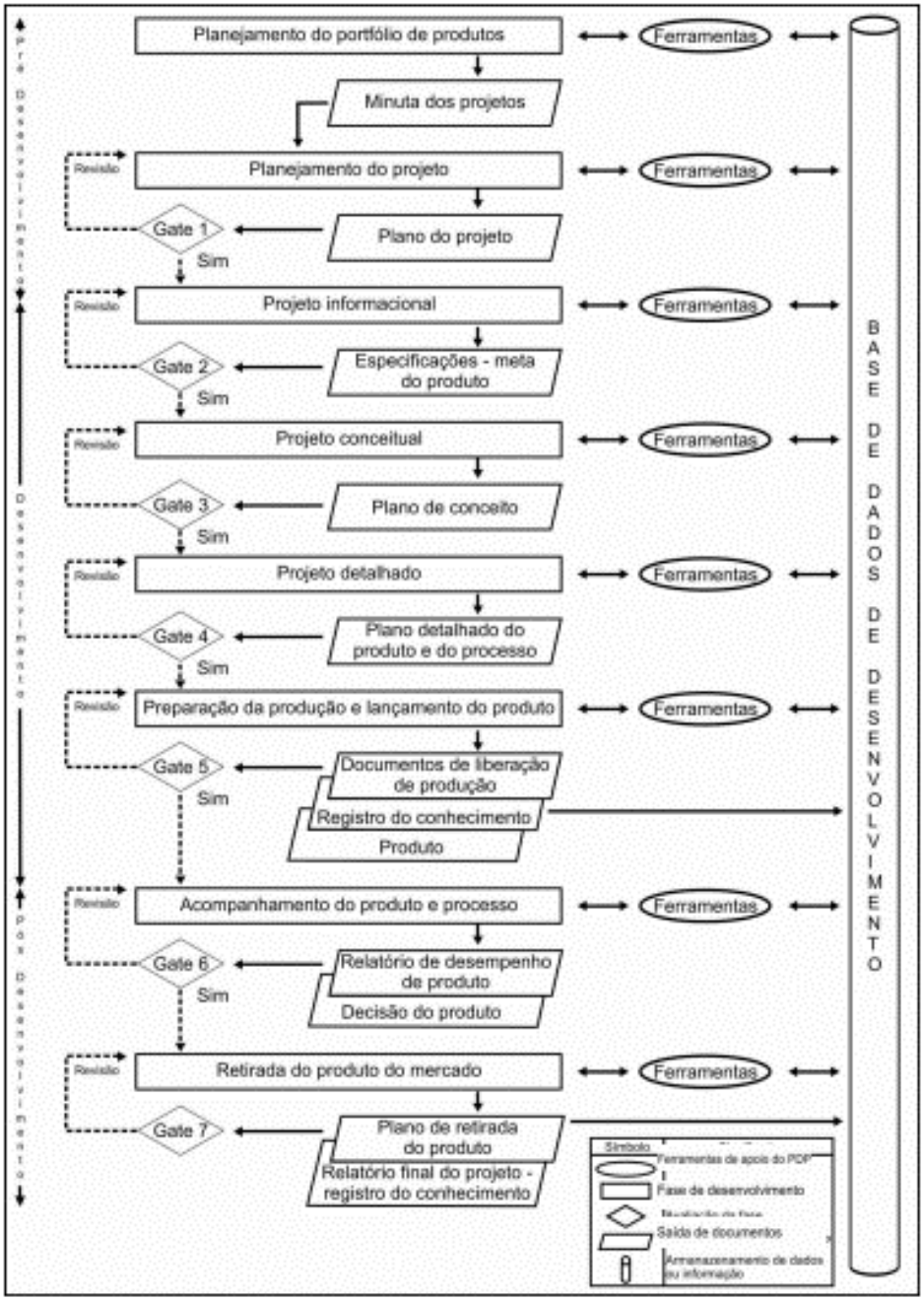
2. Campos (2009)

A autora realiza um trabalho no qual cria um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto do setor moageiro de trigo. Podendo ser utilizado para o desenvolvimento de produtos de diferentes estratégias de inovação (ofensiva, defensiva,

tradicional e dependente). A estrutura organizacional proposta é dos arranjos por projetos ou matricial com forte autoridade do líder do projeto.

A composição da estrutura do modelo de referência foi embasada nos modelos de Rozenfeld *et al.* (2006), Paula (2004) e Penso (2003), busca aproveitar as peculiaridades de cada um e que facilite o sucesso do PDP. A Figura 68 ilustra o modelo de referência de PDP proposto para o setor moageiro.

Figura 68 – Modelo de referência proposto para as empresas moageiras



Fonte: Campos (2009).

Na Figura 69 é possível visualizar as macrofases, as fases e os objetivos de cada fase, além das atividades propostas.

Figura 69 – Definição dos objetivos e atividades para cada fase

MACRO-FASE	FASE	OBJETIVO DA FASE	ATIVIDADE
PRÉ-DESENVOL-VIMENTO	Planejamento do Portfólio de Produtos	Definir os produtos e as linhas de produtos que serão desenvolvidas organizando a ordem de priorização de acordo com os objetivos e metas do negócio	Definir banco de idéias
			Atualizar o portfólio de produtos e priorizar projetos
	Planejamento do Projeto	Identificar as partes envolvidas no projeto, levantar as necessidades e os controles para o projeto	Adaptar o modelo de referência, definir atividades e seqüência
			Definir equipe de projetos
			Preparar cronograma de projetos
			Analisar a viabilidade econômica do projeto
			Encerrar fase - Gate 1
DESENVOLVIMENTO	Projeto Informacional	Pesquisar as necessidades dos consumidores, identificar os requisitos do produto	Identificar as necessidades do público alvo
			Monitorar os concorrentes no mercado
			Definir as especificações e requisitos do produto
			Estudar alternativas de aditivos/tecnologia
			Analisar restrições de projeto
			Encerrar fase - Gate 2
	Projeto Conceitual	Transformar as especificações-meta em alternativas de concepção e definir melhores alternativas	Gerar idéias para a estrutura do produto
			Desenvolver e testar alternativas de concepção do produto
			Propor melhores alternativas de concepção do produto
			Escolher processo de fabricação e *shelf life*
			Avaliar tipos de embalagens
			Monitorar viabilidade econômica
			Encerrar fase - Gate 3
	Projeto Detalhado	Detalhar todas as especificações do produto e manufatura. Planejar a qualidade do produto e treinamento de pessoal	Escolher alternativas de produto
			Projetar embalagem
			Detalhar processo de fabricação, embalagem, envase e distribuição
			Definir e qualificar fornecedores
			Elaborar plano de qualidade para produto e processo
			Planejar produção do lote
			Encerrar fase - Gate 4
	Preparação da Produção e Lançamento do Produto	Colocar o produto no mercado, atendendo os requisitos dos clientes levantados na fase de projeto informacional e cumprindo as especificações finais do projeto do produto e processo de fabricação.	Instalar recursos
			Produzir lote
			Homologar produto e processo
			Registrar produto e processo
			Monitorar viabilidade econômica
			Detalhar procedimento do serviço de atendimento ao consumidor (SAC)
			Implementar estratégia de lançamento de produto
			Liberar produção
			Registrar conhecimento e lições aprendidas
			Encerrar fase - Gate 5
PÓS-DESENVOL-VIMENTO	Acompanhamento do Produto e Processo	Garantir o acompanhamento do desempenho na produção e no mercado, identificando as necessidades e oportunidades de melhorias para a empresa.	Realizar auditoria no processo pós-projeto
			Monitorar desempenho do produto e projeto
			Consolidar informações sobre desempenho
			Encerrar fase - Gate 6
	Retirada do Produto do Mercado	Conduzir adequadamente o plano de retirada do produto do mercado e levantar lições aprendidas	Implementar plano de retirada do produto do mercado
			Encerrar projeto
			Encerrar fase - Gate 7

Fonte: Campos (2009).

A Figura 70 ilustra para a fase de planejamento do portfólio de produtos as entradas, saídas e ferramentas de apoio para cada atividade do modelo proposto. Na figura original estão encontram-se todas as fases. O autor na sequência do trabalho faz uma explicação detalhada de tudo que está proposto no modelo, finalizando com a aplicação do mesmo nas empresas que participam do trabalho, adaptando a realidade de cada uma, conforme é sugerido no referencial teórico.

Figura 70 – Entradas, saídas e ferramentas de apoio para as atividades do modelo

ATIVIDADES	ENTRADA	SAÍDA	FERRAMENTAS
PLANEJAMENTO DO PORTFÓLIO DE PRODUTOS			
Definir banco de idéias	Planejamento Estratégico do Negócio (PEN) Informações do ambiente de intervenção	Banco de dados com idéias de novos produtos	Pesquisas qualitativa, quantitativa, pesquisa de mercado, análise de concorrentes, brainstorming, análise de FFOA, análise PEST.
Atualizar portfólio de produtos e priorizar projetos	Idéias contidas no banco de dados Portfólio de produtos atual	Portfólio de produtos do próximo ano com ordem de priorização de projetos **Minuta dos projetos**	Técnica de DEIN

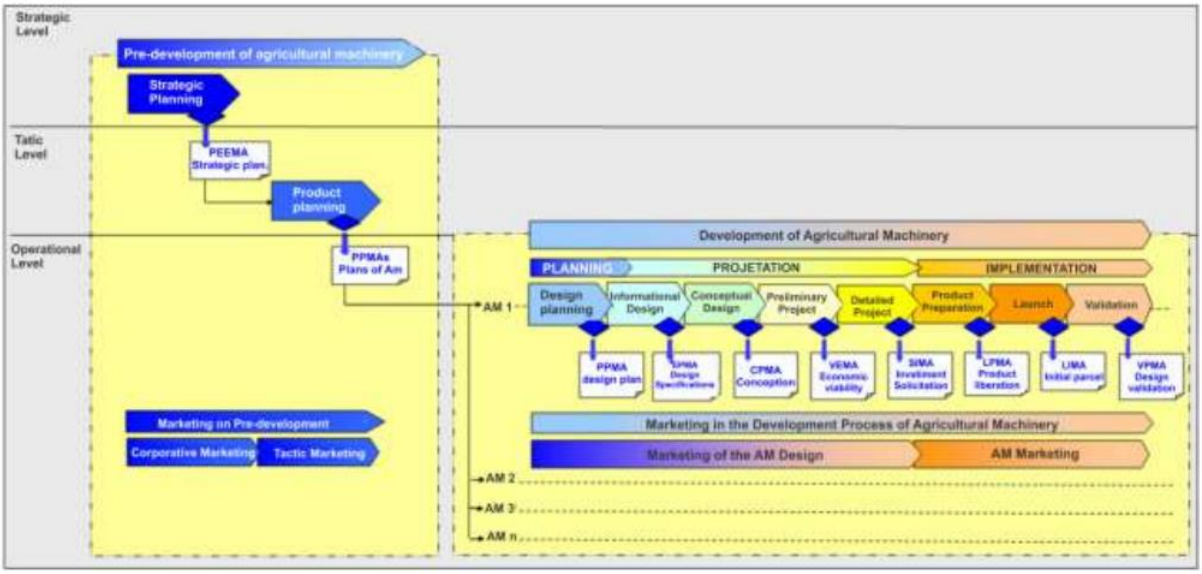
Fonte: adaptado de Campos (2006).

3. **Oliveira; Dallmeyer; Romano (2012)**

O trabalho desenvolvido é marketing no pré-desenvolvimento de máquinas agrícolas: um modelo de referência. Nele os autores procuram pelos mecanismos de marketing a serem utilizados no processo de pré-desenvolvimento de máquinas agrícolas, de forma a aumentar o valor de mercado dos produtos e da empresa e por consequência, gerar um diferencial competitivo às fabricantes de máquinas agrícolas. Este trabalho complementa o trabalho desenvolvido por Romano (2003), descrito neste trabalho no item 2.3.

O modelo de referência criado pode ser visto na Figura 71.

Figura 71 – *General vision of the marketing model in the pre-development and development of agricultural machines*



Fonte: Oliveira, Dallmeyer e Romano (2012).

A forma de proposição e apresentação do modelo segue o mesmo padrão de Romano (2003). O *Strategic Planning* e o *Product planning* presentes no Pré-development of *agricultural* Machinery, conforme visualizado na Figura 73, são detalhados na sequência do trabalho, de forma a se compreender todas as ações a serem desenvolvidas, os mesmos sequem

fluxogramas próprios. As diferenças e quantidades de itens a mais propostos nesse modelo de referência com o origina de Romano (2003) podem ser vistos na Tabela 27.

Tabela 27 – *Summary of the reference model for the marketing in the Pre-Development and comparison with the activities with participation of the marketing domain (ROMANO, 2003)*

	Model Proposed		DPAM of ROMANO (2003)	
	Quantity		Quantity	
	Activities	Tasks	Activities	Tasks
Strategic Planning	8	45	-	-
Product Planning	9	61	-	-
Design Planning	-	-	5	15
Informational Dcsign	-	-	7	14
Conceptual Design	-	-	3	5
Preliminary Design	-	-	6	26
Detailed Design	-	-	11	31
Product preparation	-	-	9	23
Launch	-	-	4	13
Validation	-	-	4	6

Fonte: Oliveira, Dallmeyer e Romano (2012).

Na Tabela 27 observa-se que ouve um acréscimo de 17 atividades e 106 tarefas em relação ao original. Embora tenha a capacidade de aumentar as chances de sucesso no desenvolvimento de projetos máquinas agrícolas, pressupõe estruturas na empresa que normalmente não existem nos pequenos fabricantes de MIA. Isto impõe limitações quanto a sua adoção na metodologia a ser proposta neste trabalho.

4. Bordignon (2013)

O trabalho foi no desenvolvimento de um modelo de referência para o desenvolvimento de novos produtos e de tecnologias de produção para o setor da produção industrial brasileira de cerâmica para revestimento. Teve também como visão o ciclo de vida total do produto, integrado com a tecnologia de produção, a análise e o tratamento dos aspectos ambientais. A validação do modelo ocorre com pesquisa de campo, realizada em empresas do setor e com análise crítica do cálculo dos impactos ambientais.

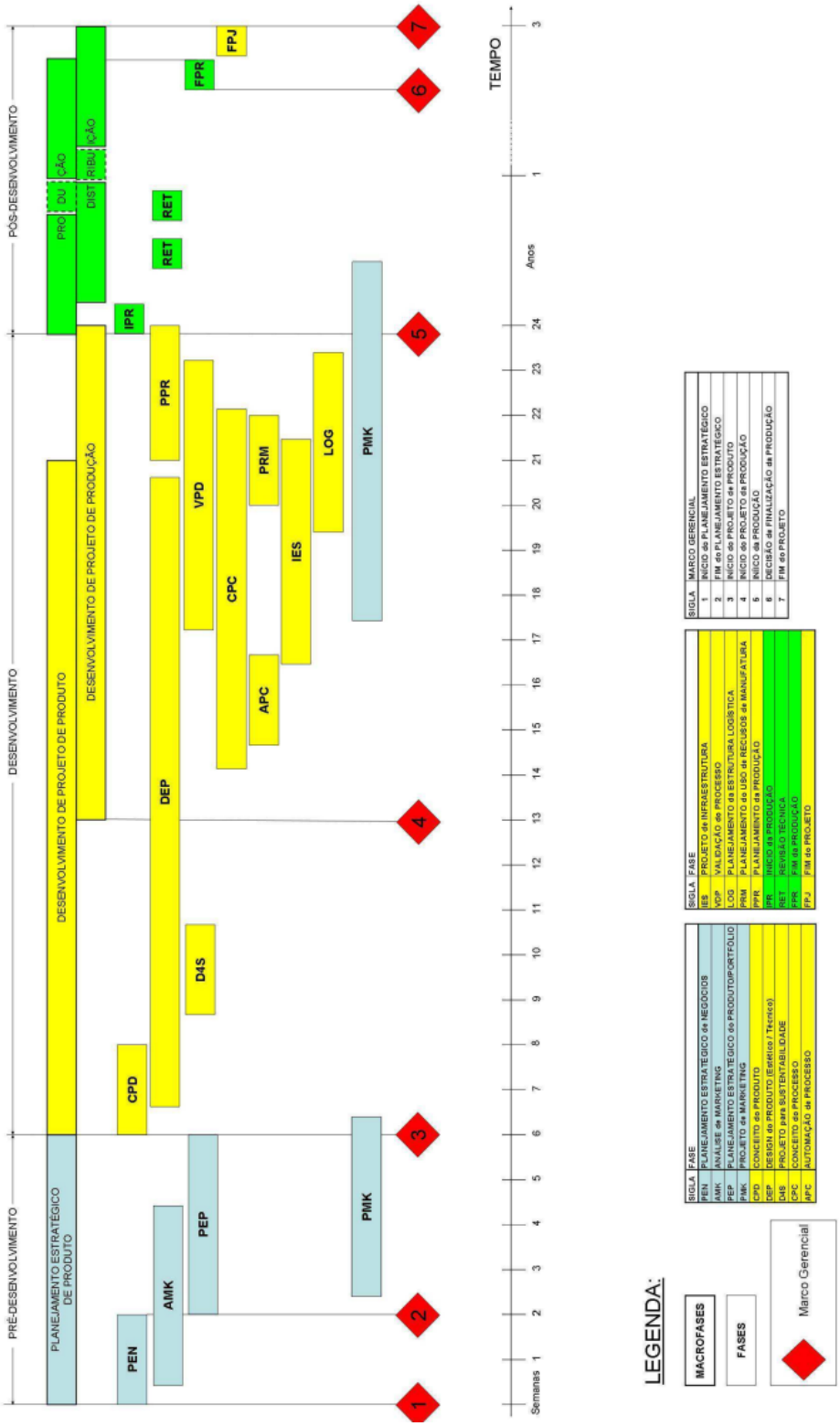
Dentro da revisão bibliográfica Bordignon (2013) apresenta os principais conceitos que aparecem no PDP:

- ✓ divisão em macrofases, fases e atividades;
- ✓ geração contínua de informações;
- ✓ necessidade da presença de “gates”, gerenciais e operacionais;
- ✓ desenvolvimento em espiral, com iterações, ciclos e retroalimentação das informações;
- ✓ necessidade de consideração do ciclo de vida do produto;
- ✓ inclusão de conceitos de sustentabilidade.

Ele desenvolve o seu modelo baseado nesses critérios, bem como na proposta de Rozenfeld et al. (2006), além dos conceitos fundamentais dos outros autores citados ao longo da sua revisão bibliográfica. As Figuras 72 e 73 sintetizam o modelo desenvolvido.

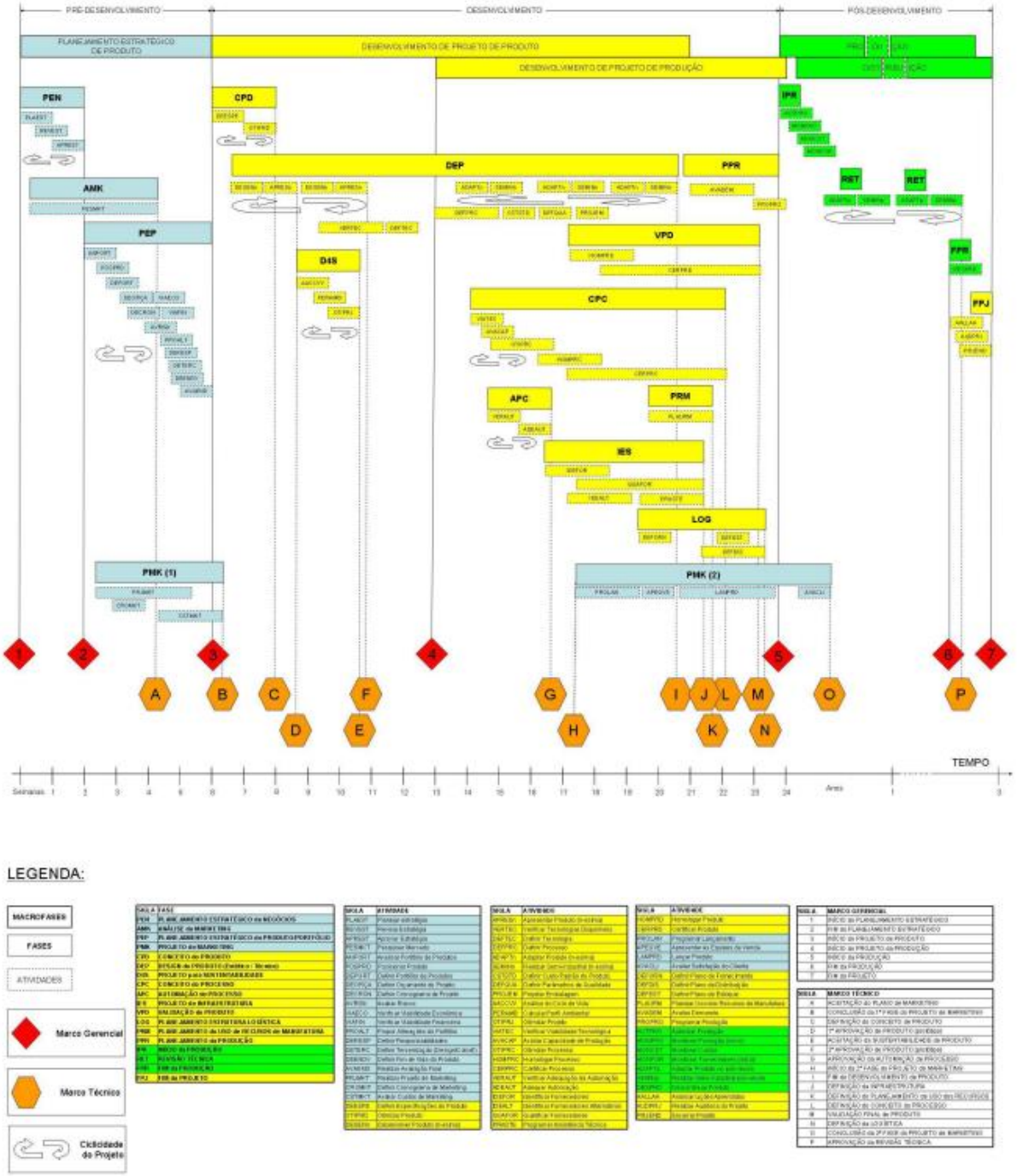
Figura 72 – Modelo de PDP para cerâmica (Fases)

1.



Fonte: Bordignon (2013).

Figura 73 – Modelo detalhado do PDP para cerâmica (Fases e Atividades)



Fonte: Bordignon (2013).

É perceptível que o modelo de referência proposto é direcionado a empresas de médio e grande porte, não contempla a realidade de pequenas empresas.

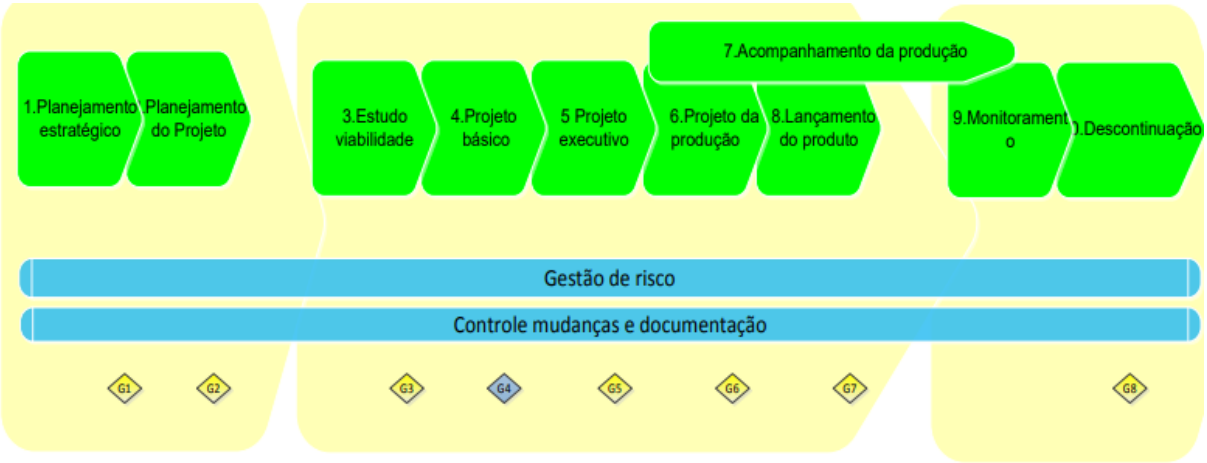
5. **Ocampo (2015)**

Neste trabalho é proposto um modelo de referência do PDP aplicado a PMEs industrias do setor metal mecânico que desenvolvem móveis hospitalares atuantes no Brasil e na

Colômbia. O mesmo segue a tendência de propostas de modelos de referência mais amplos, entretanto, busca atender a uma situação específica.

A proposta de PDP é elaborada com dez fases, as quais são agrupadas, em três macrofases de pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento, segundo a proposta de (ROZENFELD et al. 2006), como mostrado na Figura 74. Um aspecto que ele reforça é que tem como fator determinante a simplicidade, já que foca em PMEs.

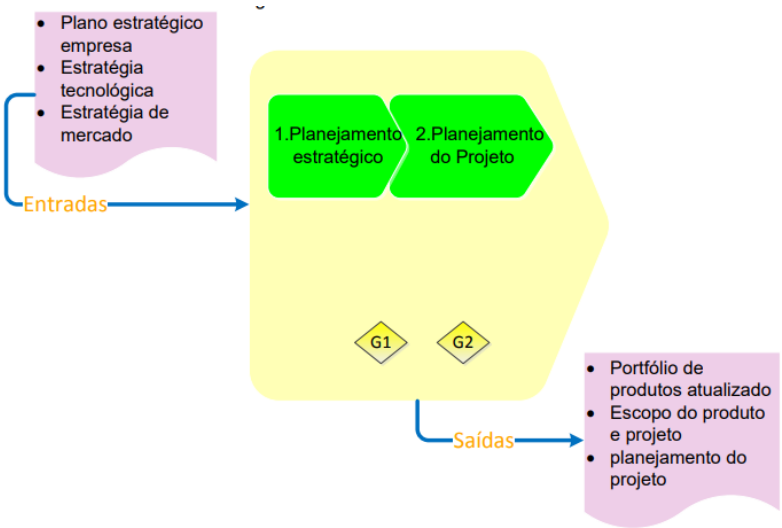
Figura 74 – Visão macro proposta final



Fonte: Ocampo (2015).

Da visão geral da proposta ele passa a apresentar as macrofases de forma mais detalhada, como no exemplo a seguir na Figura 75 para a macrofase de pré-desenvolvimento. Através de tabelas ele conclui a descrição da proposta, no qual descreve a fase, atividades da fase, entradas e saídas em uma tabela, ver Tabela 28 para essa mesma macrofase. Da mesma forma é realizado para as demais macrofases.

Figura 75 – Proposta final de pré-desenvolvimento



Fonte: adaptado de Ocampo (2015).

Tabela 28 – Proposta final de pré-desenvolvimento

FASE	ATIVIDADES DA FASE	ENTRADAS	SAÍDAS
1.Planejamento estratégico	1.1.Consolidar Informações sobre tecnologia e mercado	Plano estratégico da empresa	Dados de tecnologia e mercado
	1.2.Analisar o portfólio de produtos da empresa	Plano estratégico da empresa Dados de tecnologia e mercado	Revisão do portfólio de produtos
	1.3.Propor mudanças no portfólio de produtos	Revisão do portfólio de produtos	Portfólio de produtos atualizado
	1.4.Decidir o início do planejamento de um produto do portfólio	Portfólio final de produtos atualizado	Minuta do projeto
2.Planejamento do Projeto	2.1.Definir escopo do produto	Minuta de projeto	Escopo do produto
	2.2.Definir escopo do projeto	Escopo do produto	Declaração de escopo do projeto
	2.3.Preparar plano de projeto	Declaração de escopo do projeto	Síntese do planejamento do projeto

Fonte: adaptado de Ocampo (2015).

Um elemento importante do PDP proposto é definição das responsabilidades e integração das áreas, apresentado na Tabela 29.

Tabela 29 – Fases marcos e atividades

	Áreas de conhecimento								
FASE	Comitê de Produto	Desenvolvimento produto	Produção	Comercial	Engenharia processo	Qualidade	Compras	Finanças	Gerência
Planejamento estratégico	R/A								R
Planejamento do projeto	A	R							P
Estudo de viabilidade	A	R	P	R	I		P	P	P
Projeto básico	A	R	P	P	P		P	P	
Projeto executivo	A	R	p	I	R	I	P		I
Projeto da produção	A	P	P		R	P	P	I	
Acompanhamento da produção		R	P		P	P	I		
Lançamento do produto	A	P	P	R	P	P	P	P	P
Monitoramento	P	P	P	R	P	P	I		
Descontinuação	R	P	P	R	P	P	P	P	P

Fonte: adaptado de Ocampo (2015).

Como o objetivo deste relatório síntese é apresentar os conceitos e suas contribuições para esta Tese, não se apresenta o restante das macrofases.

6. Tatsch (2015)

A tese desenvolvida por Tatshc (2015) criou um modelo de referência para o processo de gestão da produção agrícola: ênfase na mecanização agrícola. Desta forma trabalhou delineamento de sistemas, processos, planejamento, planejamento da mecanização agrícola e modelagem de processo.

Toda a importância da produção agrícola e da mecanização para sua obtenção é reforçada na sua revisão bibliográfica, bem como, os aspectos de administração e planejamento envolvidos. Desta forma o autor trata da organização e ambiente na qual é inserida a mecanização e suas implicações para a criação do modelo de referência para o processo de gestão.

Aborda aspectos da importância do planejamento, atribuindo à função de planejar como uma das mais importantes para o gestor de fazendas, que deverá escolher um curso de ação, definir políticas e estabelecer e controlar procedimentos.

O modelo proposto utilizou-se da base de modelo de referência de Romano (2013), criando uma proposta semelhante, como pode ser vista na visão geral do modelo na Figura 76, mas direcionado a gestão da produção agrícola com ênfase na mecanização (PGPA/Mec).

Figura 76 – Representação gráfica do Modelo de Referência para o PGPA/Mec

Fonte: Tatsch (2015).

Ele faz a divisão do PGPA/Mec e procura "ordenar as fases e atividades, particulares desse processo, numa sequência lógica". Além das representações gráficas, existe a representação descritiva do processo, com todo o detalhamento a sua execução e compreensão.

Como exemplo da representação descritiva segue Figura 77 que mostra a fase 1 – físico ambiental da macrofase do planejamento. As demais são feitas de forma similar.

Figura 77 – Representação descritiva do Modelo de Referência do PGPA/Mec – Fase físico ambiental

MACROFASE - PLANEJAMENTO

FASE 1 - FÍSICO AMBIENTAL

Entrada	Atividade	Tarefa	Domínio	Mecanismo	Controle	Saída
Informações base atualizadas, registros históricos e relatório de Análise Produtiva do período anterior (Apêndice 30)	Elaborar o Plano Preliminar de Produção (Apêndice 1)	Determinar o que produzir	GE/AG	Análise do mercado	Informações do mercado agrícola	Decisão da cultura
		Determinar a área para cultivo	GE/AG	Análise das áreas disponíveis	Mapa da propriedade	Plano de Cultivo (Apêndice 2)
		Verificar aspectos ambientais legais para a produção agrícola	GE/AJ	Análise da legislação vigente	Código ambiental/florestal brasileiro	Relatório de análise Ambiental Legal (Apêndice 3)
		Verificar os recursos naturais disponíveis	GE/AG	Análise dos recursos naturais disponíveis	Informações das reservas naturais de energia	Relatório de análise dos Recursos Naturais (Apêndice 4)
		Verificar fatores climáticos	GE/AD	Análise dos mapas de previsão do tempo	Informações meteorológicas	Relatório de análise dos Fatores Climáticos (Apêndice 5)
		Verificar as condições de acesso à area selecionada	GE/AD	Análise das estradas	Informações das condições de trafegabilidade das vias de acesso	Relatório de análise das Vias de Acesso (Apêndice 6)
		Verificar as condições físicas e químicas do solo	AG	Análise relatório agronômico	Informações sobre análise do solo	Relatório de análise das Condições do Solo (Apêndice 7)
		Escolher as técnicas de manejo para a produção	GE/AG	Análise das opções de manejo	Informações sobre técnicas de manejo do solo	
		Elaborar o inventário de máquinas e implementos agrícolas	GE/AD	Análise do inventário de máquinas	Relação de máquinas e implementos agrícolas da empresa rural	Inventário de Máquinas (Apêndices 8 e 31)
		Estimar os recursos financeiros necessários para a produção	GE/AF	Análise das opções de financiamento da lavoura	Origem dos recursos financeiros	Relatório de análise dos Recursos Financeiros (Apêndice 9)
Plano Preliminar de Produção						

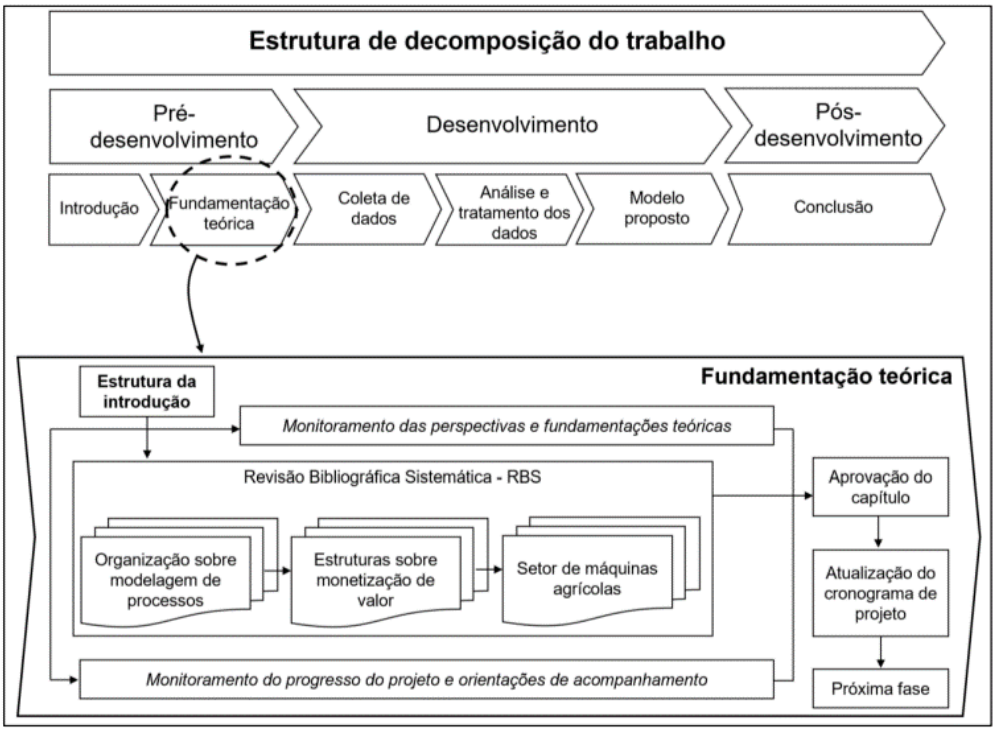
Fonte: Tatsch (2015).

7. Machado (2018)

O trabalho de Machado (2018) é a “construção de um modelo de referência para a Monetização de Valor Aplicado ao Setor de Máquina Agrícola (MOVA-MA)”. Ela é muito semelhante em sua construção à tese Tatsh (2015), mas “tendo na ausência de sistematização nos procedimentos e de métodos e ferramentas específicas aplicados ao setor de máquinas agrícolas para monetizar valor ao longo do desenvolvimento integrado de produtos e serviços”.

É interessante o uso do modelo de referência na própria estruturação e condução da tese, que mostra uma confiança e maturidade por parte do grupo de pesquisa que participa, ver Figura 78.

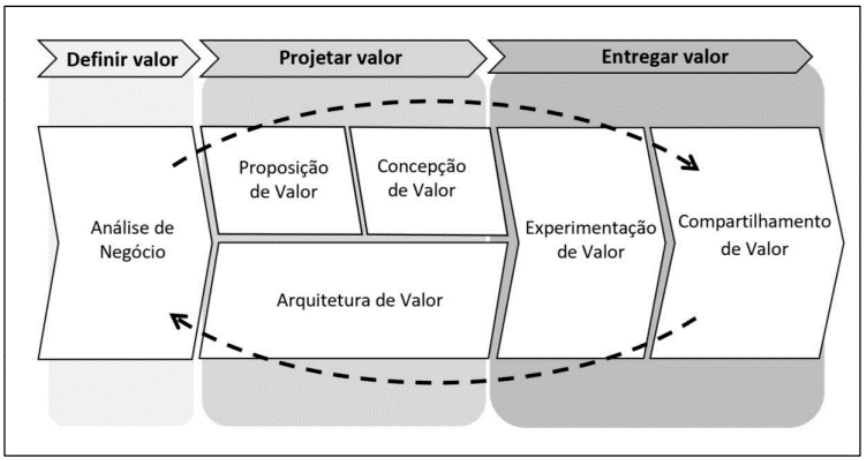
Figura 78 – Fluxograma para o desenvolvimento da fundamentação teórica



Fonte: Machado (2018).

Após finalização dentro da Macrofase de Desenvolvimento da análise e tratamentos dos dados, seguindo a mesma forma de representação gráfica, o modelo MOVA-MA ficou como é apresentado na Figura 79. A representação descritiva de cada fase foi constituída em planilha, conforme o Quadro 15.

Figura 79 – Representação gráfica do modelo de monetização de valor



Fonte: Machado (2018).

Quadro 15 – Representação do modelo de referência para o MOVA-MA

| PROCESSO DE MONETIZAÇÃO DE VALOR NO SETOR DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS (MOVA-MA) | | |

APÊNDICE D – Cronograma da fase 1 do Estudo de Caso item 3.2.1

- Etapas da Análise de Viabilidade

1. Coleta de dados referentes à cultura de palma forrageira junto a agricultores e levantamento das necessidades de alimentação junto a criadores de gado da região do semi-árido nordestino;
2. Levantamento de requisitos técnicos e mercadológicos;
3. Levantamento de patentes em temas afins ao projeto;
4. Análise dos esforços necessários para o corte e manuseio da palma;
5. Determinação dos requisitos de projeto e análise de viabilidade do projeto;
6. Elaboração de relatórios para a empresa.

Tarefa	1	2	3
1	XXXX		
2	XXXX		
3	XXXX		
4	XXXX		
5		XX	XXXX
6			XX

APÊNDICE E – Questionário aplicado para fase informacional

Questionário Mercado

1° Qual é a espécie trabalhada?

2° Quais os mecanismos de corte da Palma? (lâmina, torção, serra rotativa, etc.)

3° Qual a altura de corte na folha de Palma? (no caule, próximo ao caule, no meio, aleatório, etc.)

4° Quais os efeitos de corte em locais diferentes;

5° Por tipo de variedades, como a altura de corte influencia na produtividade?

6° Pedir dados de custo da colheita manual (salário, insumo, etc.)

7° Como a Palma é recolhida após o corte (manualmente, esteira, etc.)

APÊNDICE F – Questionário aplicado para fase conceitual

Neste APÊNDICE segue a íntegra do questionário aplicado à seleção de princípios para as funções do implemento de colheita de palma forrageira. O questionário esteve aberto no período de 04/Abril/2020 à 11/Maio/2020 com acesso pelo link: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd9LOKDAgt38Yp3pVHK9UdEPpDDpNxp-_2a0d5w1OT1oDtw-w/viewform?usp=sf_link.

Seleção de princípios para as funções do implemento de colheita de palma forrageira.

As funções que o implemento de colheita de palma deve realizar foram analisadas e segmentadas conforme o grau de complexidade do implemento. Foram propostos diversos princípios e formas construtivas que possam realizar tais funções. Para a gerar a composição da arquitetura do implemento seguiremos com a seleção dos princípios de solução mais promissores por meio de votação.

Para cada célula de votação, há uma única função que é apresentada no cabeçalho.

Podem ser escolhidos mais de um princípio de solução por pessoa. Sugere-se que cada pessoa escolha de 2 a 3 opções para funções com poucas opções e de 3 a 5 para funções com várias opções. Ao final escolheremos as que receberem mais votos no geral.

Observação: conforme indicativo de mercado observados nos dados do Censo Agropecuário mais recente, o grau de complexidade será restrito a no máximo um implemento de pequeno porte.

1. Qual seu grau de envolvimento com a colheita da palma?
   - ❑ Dono(a) de propriedade
   - ❑ Colhedor(a)
   - ❑ Responsável por manutenção de equipamentos
   - ❑ Agrônomo(a)
   - ❑ Engenheiro(a)
   - ❑ Other:

2. Função de grau 0: separação de matéria/moléculas
(Em outras palavras, dividir uma raquete de palma em duas partes.)
   - ❑ Separação por flexão: raquete como viga em balanço
   - ❑ Separação por enforcamento/cunha: Laço/corda
   - ❑ Separação por enforcamento/cunha: Alicate/Tesourão
   - ❑ Separação por lâmina: faca reta
   - ❑ Separação por lâmina: faca giratória (helicóptero)
   - ❑ Separação por lâmina: serra reta
   - ❑ Separação por lâmina: serra circular/disco de corte
   - ❑ Separação por lâmina: serra oscilatória
   - ❑ Separação por lâmina: corrente de motoserra

- ❑ Separação por torção: garfo
- ❑ Separação por penetração: arame/fio extendido
- ❑ Separação por penetração: arame/fio em rotação (cortador de grama)
- ❑ Separação por furação: mandíbula

3. Função de grau 1: direcionar/guiar/transportar a porção de palma separada

- ❑ Direcionamento por esforço normal: anteparo fixo
- ❑ Direcionamento por esforço normal: anteparo móvel (lateral ou superior)/molinete/esporas
- ❑ Direcionamento por esforço normal: rede/tela
- ❑ Direcionamento por atrito/cisalhamento: corte oposto
- ❑ Direcionamento por atrito/cisalhamento: esteira
- ❑ Direcionamento por atrito/cisalhamento: fuso
- ❑ Direcionamento por gravidade: anteparo inclinado
- ❑ Direcionamento por gravidade: roda d'agua/transportador de caneca (possível incorporar instrumento de separação na extremidade)
- ❑ Direcionamento por gravidade: anteparo basculante

4. Função de grau 1: mover-se pelo campo
(Princípios/soluções que viabilizarão o movimento do implemento)

- ❑ Princípio de rotação: Roda
- ❑ Princípio de rotação: Esteira
- ❑ Princípio de rotação: Fuso
- ❑ Princípio de oscilação: mecanismo de pernas
- ❑ Fixo à trator/flutuante

5. Função de grau 1: captar energia para transmitir ao separador
(Para que a separação e outras funções ocorram, o instrumento de separação deverá receber um input de energia. Essa função refere-se à origem e captação desse input de energia. Note que a energia pode atuar no separador de forma ativa (ex: serra circular, faca giratória) ou passiva (ex: lâmina fixa))

- ❑ Fonte elétrica: bateria
- ❑ Fonte elétrica: dínamo
- ❑ Fonte humana: caminhar
- ❑ Fonte animal: caminhar
- ❑ Fonte humana: manivela
- ❑ Fonte humana: pedivela
- ❑ Fonte química: motor estacionário (cortador de grama, motossera, moto)
- ❑ Fonte parasita: roda ou espora (captura parte da energia cinética do movimento pelo campo)
- ❑ Fonte hidráulica (se empregado trator): motor hidráulico
- ❑ Se usado trator, motor do trator
- ❑ Se usado uma moto, motor da moto

6. Função de grau 1: transmitir energia ao separador

- ❑ Princípio de rotação: engrenagem
- ❑ Princípio de rotação: corrente
- ❑ Princípio de rotação: correia
- ❑ Princípio elétrico: acoplamento direto de motor elétrico
- ❑ Princípio oscilatório: virabrequim

- ❑ Princípio oscilatório: mecanismo de parabrisa
- ❑ Other:

7. Função de grau 1: suportar os componentes
   - ❑ Chassi/pórtico tubular
   - ❑ Chassi/pórtico de chapa
   - ❑ Bloco fundido
   - ❑ Exoesqueleto
   - ❑ Other:
8. Função de grau 2: ajustar altura de separação
   - ❑ Princípio de batente: pinos e furos
   - ❑ Princípio de batente: catraca
   - ❑ Princípio de batente: mecanismo 4 barras (cadeira de praia)
   - ❑ Princípio de gravidade: basculante
   - ❑ Princípio de rotação: cabo e roldana
   - ❑ Princípio de rotação: fuso
   - ❑ Princípio de rotação: pinhão e cremalheira
   - ❑ Princípio de atrito: guia prensada por parafusos
   - ❑ Princípio elétrico: solenóide
   - ❑ Princípio fluídico: pistão hidráulico
   - ❑ Princípio fluídico: pistão pneumático
   - ❑ Princípio elástico: mola e parafuso
9. Função de grau 2: travar altura
   - ❑ Princípio de atrito: fuso autotravante
   - ❑ Princípio de atrito: freio de mão
   - ❑ Princípio de anteparo: pino e furo
   - ❑ Princípio de anteparo: pinhão e cremalheira
   - ❑ Princípio de anteparo: catraca
   - ❑ Other:
10. Função de grau 2: acomodar o operador
    - ❑ Princípio de combustão: Moto
    - ❑ Princípio de combustão: Trator
    - ❑ Princípio humano/animal: bicicleta
    - ❑ Princípio humano/animal: charrete
    - ❑ Princípio humano/animal: barra lateral (carrinho de mão)
    - ❑ Princípio humano/animal: barra transversal (carrinho de supermercado)
    - ❑ O implemento move-se independente de um veículo, portanto um banco para acomodar o operador

APÊNDICE G – Variáveis e equações utilizadas nos cálculos de corte

Variáveis e equações:

$$v_{bg} = velocidade\ da\ ponta\ da\ lâmina\ em\ relação\ ao\ chão\ [m/s]$$

$$v_f = velocidade\ de\ avanço\ da\ cortadora\ [m/s]$$

$$v_p = r_b\omega_b = \ velocidade\ periférica\ da\ ponta\ da\ lâmina\ [m/s]$$

$$r_b = raio\ da\ ponta\ da\ lâmina\ [m]$$

$$\omega_b = velocidade\ angular\ da\ lâmina\ [rad/s]$$

$$v_u = componente\ da\ velocidade\ da\ ponta\ da\ lâmina\ na\ direção\ u\ [m/s]$$

$$v_v = componente\ da\ velocidade\ da\ ponta\ da\ lâmina\ na\ direção\ v\ [m/s]$$

$$t = tempo\ [s], a\ partir\ de\ \theta = 0$$

$$\theta = ângulo\ entre\ a\ lâmina\ e\ a\ direção\ de\ deslocamento = \ \omega_b t$$

$$\phi_{ob} = ângulo\ oblíquo$$

$$v_u = v_f - r_b\omega_b sin\ (\omega_b t)$$

$$v_v = r_b\omega_b cos\ (\omega_b t)$$

$$\theta = \ \omega_b t$$

$$tan\ \phi_{ob} = \frac{1}{C_v sec\ \theta - tan\ \theta}$$

$$C_v = \frac{v_p}{v_f}$$

$$L_a = \frac{2\pi v_f}{\lambda_b \omega_b}$$

$L_a = avanço\ por\ passagem\ da\ lâmina\ [m]$

$$\lambda_b = número\ de\ lâminas\ em\ cada\ disco\ ou\ tambor$$

$$L_s = largura\ da\ ponta\ afiada\ [m]$$

Para evitar arrasto de corte contra as pontas das lâminas (que não são afiadas), elas devem ser afuniladas por um ângulo β:

$$\beta = arctan\left(\frac{v_f}{r_b\omega_b}\right)$$

O máximo comprimento de corte por disco/tambor é de $2r_b$.

A potência requerida para uma cortadora rotativa é observada na equação abaixo:

$$P_{mt} = (P_{Ls} + E_{sc}v_f)w_c$$

$$P_{mt} = potência\ total\ (PTO) da\ cortadora\ [kW]$$

$$P_{Ls} = perdas\ para\ o\ ar, restolho, fricção\ [kW/m\ de\ largura\ de\ corte]$$

$$E_{sc} = energia\ específica\ de\ corte\ [kJ/m^2]$$

$$w_c = largura\ de\ corte\ [m]$$

Importante mencionar que é preciso adicionar a potência de propulsão do trator e da cortadora para obter a potência total necessária. Os valores de referência apresentados pela literatura são de:

$$P_{Ls}: entre\ 1{,}5\ a\ 4\ kW/m$$

$$E_{sc}: de\ 1{,}5\ kJ/m^2 (lâminas\ afiadas)\ a\ 2{,}1\ kJ/m^2\ (lâminas\ gastas)$$

$$P_{mt}: de\ 11\ a\ 16\ kW/m\ de\ largura\ de\ corte, a\ 15\ km/h$$

$$\omega_b: geralmente\ 3000\ rpm, com\ faixa\ de\ corte\ de\ 0{,}4\ m\ por\ disco$$

$$v_p: geralmente\ entre\ 60\ e\ 70\ m/s$$

$$v_f: até\ 15\ km/h$$

$$nº\ discos: entre\ 3\ e\ 7$$

Considerando uma velocidade de avanço (v_f) da máquina de até 10 km/h, ou 2,78 m/s, uma rotação (ω_b) de 3000 rpm, ou 314,16 rad/s, e a presença de duas lâminas em cada disco, o tamanho mínimo de cada lâmina será de:

$$L_s > L_a = \frac{2\pi v_f}{\lambda_b \omega_b} = \frac{2\pi \times 2{,}78}{2 \times 314{,}16} = 0{,}0277\ m\ ou\ 27{,}7\ mm$$

Considerando uma faixa de corte de 0,5 m para cada disco e o comprimento de corte das lâminas (para fora do disco) de 30 mm, o diâmetro de cada disco e o ângulo de afunilamento das lâminas será de:

$$d = 0{,}5 - 2 \times 0{,}03 = 0{,}34\ m\ ou\ 340\ mm$$

$$\beta = arctan\left(\frac{v_f}{r_b \omega_b}\right) = arctan\left(\frac{2{,}78}{0{,}25 \times 314{,}16}\right) = 0{,}035\ rad\ ou\ 2{,}00°$$

A partir dos dados dos ensaios Charpy realizados (relatório Fase 1), pôde-se fazer uma estimativa da energia específica de corte (E_{sc}) para a palma. A energia máxima de corte registrada nos ensaios foi de 1,175 J para um corpo de prova de palma Gigante com espessura de 18,80 mm. A largura utilizada para os corpos de prova foi de 17 mm. Com isso, calculou-se E_{sc} da seguinte maneira:

$$E_{sc} = \frac{1{,}175}{0{,}0188 \times 0{,}017} = 3{,}68\ kJ/m^2$$

Considerando uma largura de corte (w_c) de 1,5 m (três discos) e o valor das perdas (P_{Ls}) máximo, conforme as referências, de 4 kW (como coeficiente de segurança), a potência de corte necessária pode ser estimada em:

$$P_{mt} = \left(P_{Ls} + E_{sc} v_f\right) w_c = (4 + 3{,}68 \times 2{,}78) \times 1{,}5 = 21{,}34\ kW\ ou\ 28{,}62\ HP$$

APÊNDICE H – Resumo de cálculos das correias

1) Potência de projeto

Determinação da potência de projeto a partir da potência nominal (motor) e do fator de serviço:

$$\boldsymbol{P_{projeto} = P_{nominal} . FS}$$
$$P_{projeto} = potência\ de\ projeto$$
$$P_{nominal} = potência\ nominal\ (do\ motor)$$
$$FS = fator\ de\ serviço$$

Tabela 30 – Fator de serviço conforme a condição de trabalho

Fator de Serviço – FS.

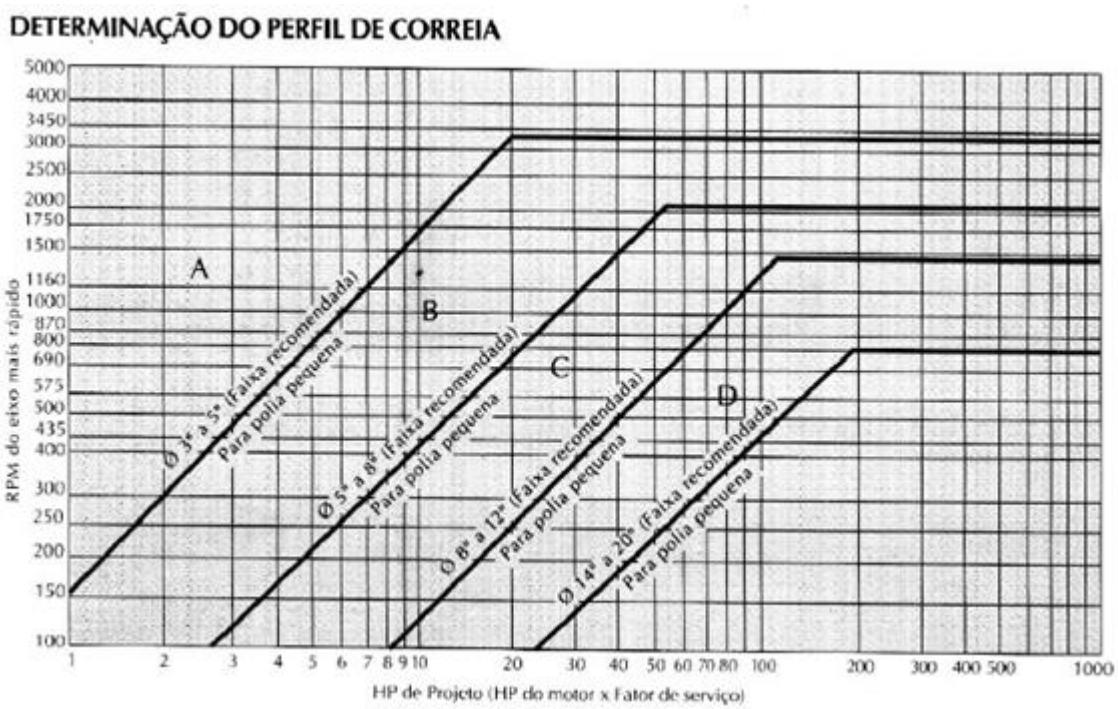
TIPO DE TRABALHO	*FATOR DE SERVIÇO*	*CONDIÇÃO DE TRABALHO*
LEVE	1.0	Utilização: uso intermitente, menos de 6 h/dia Sem sobrecarga.
NORMAL	1.2	Utilização: 6 a 16 h/dia Sobrecarga momentânea, < 150 % da carga nominal.
MÉDIO	1.4	Utilização: 16 a 24 h por dia. Sobrecarga momentânea, < 200 % da carga nominal.
PESADO	1.6	Utilização: 16 a 24 h/dia Sobrecarga momentânea, < 250 % da carga nominal.
EXTRA-PESADO	1.8 – 2.0	Utilização: 24 h/dia, 7dias/semana. Sobrecarga freqüente, < 250 % da carga nominal.

Fonte: Silveira, 2020.

2) Perfil da correia

Determinar o perfil da correia a partir da potência de projeto e da rotação do eixo mais rápido com o auxílio do gráfico abaixo. Determinar também a faixa de diâmetros (d_{min}, d_{max}) da polia menor.

Figura 80 – Gráfico para determinação do perfil da correia



Fonte: Silveira (2020).

3) Relação de transmissão

$$i = \frac{n_d}{n_D}$$
$$n_d = rotação\ da\ polia\ menor\ [rpm]$$
$$n_D = rotação\ da\ polia\ maior\ [rpm]$$

4) Diâmetros nominais das polias

$$D = d.i$$
$$d = diâmetro\ da\ polia\ menor$$
$$D = diâmetro\ da\ polia\ maior$$

5) Velocidade tangencial da correia

$$V = \frac{\pi.d.n}{60000}$$
$$V = velocidade\ tangencial\ [m/s]$$
$$d = diâmetro\ da\ polia\ [mm]$$
$$n = rotação\ da\ polia\ [rpm]$$

6) Distância entre centros e comprimento

$$a_{calc\,min} = \frac{3.d_{min} + i.d_{min}}{2}$$

$$a_{calc\,max} = \frac{3.d_{max} + i.d_{max}}{2}$$

$$a_{calc} = \frac{a_{calc\,min} + a_{calc\,max}}{2}$$

$$L_{calc} = 2.a_{calc} + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4.a_{calc}}$$

$$a_{calc} = distância\ (calculada)\ entre\ centros$$
$$L_{calc} = comprimento\ calculado\ ou\ nominal\ da\ correia$$
$$D = diâmetro\ da\ polia\ maior$$
$$d = diâmetro\ da\ polia\ menor$$

Após encontrar L_{calc}, procurar nas tabelas específicas de correias para definir um valor tabelado, L_{tab}. A distância (a) entre centros será então:

$$a = a_{calc} - \frac{(L_{calc} - L_{tab})}{2}$$
$$a = distância\ (final)\ entre\ centros$$

7) Número de correias necessárias

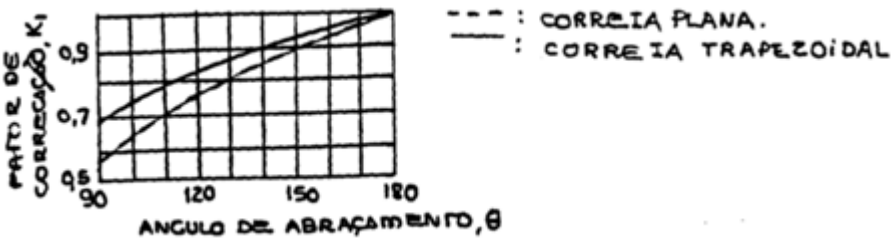
$$b = \frac{P_{projeto}}{P_{tab}.K_1.K_2}$$

$$P_{tab} = P_{correia} + P_{adicional}$$

$$\theta = 180 - \frac{(D - d)}{a}.60$$

$$b = número\ de\ correias\ necessárias$$
$$P_{projeto} = potência\ de\ projeto$$
$$P_{correia} = potência\ por\ correia\ (catálogo)$$
$$P_{adicional} = potência\ adicional\ por\ correia\ (catálogo)$$
$$P_{tab} = potência\ tabelada\ da\ correia$$
$$K_1 = fator\ de\ correção\ segundo\ o\ ângulo\ de\ abraçamento$$
$$K_2 = fator\ de\ correção\ segundo\ o\ comprimento\ da\ correia$$
$$\theta = ângulo\ de\ abraçamento\ da\ polia\ menor\ [graus]$$
$$D = diâmetro\ da\ polia\ maior$$
$$d = diâmetro\ da\ polia\ menor$$

Figura 81 – Fator de correção K1



Fonte: Silveira (2020).

Figura 82- Fator de correção K2

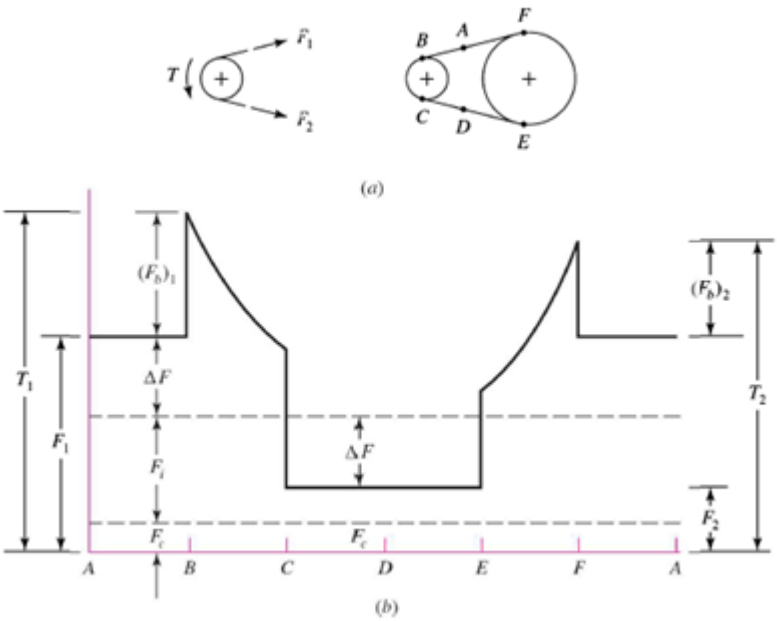
TABELA VIII FATORES DE CORREÇÃO K2.

FATOR K2	COMPRIMENTO NOMINAL [in]			
	SECÇÃO A	SECÇÃO B	SECÇÃO C	SECÇÃO D
0,85	ATÉ 35	ATÉ 46	ATÉ 75	ATÉ 128
0,90	35 - 46	47 - 60	76 - 96	129 - 162
0,95	47 - 55	61 - 75	97 - 120	163 - 210
1,00	56 - 75	76 - 97	121 - 158	210 - 270
1,05	76 - 90	98 - 120	159 - 195	270 - 330
1,10	91 - 112	121 - 144	196 - 240	331 - 420
1,15	ACIMA 112	ACIMA 144	ACIMA 240	ACIMA 420

Fonte: Silveira (2020).

8) Forças nas correias

Figura 83 – Forças atuantes na correia



Fonte: Budynas e Nisbett (2011).

A força de tração centrífuga nas correias é dada por:

$$F_c = K_c \left(\frac{V}{2{,}4}\right)^2$$

$$F_c = força\ de\ tração\ centrífuga\ nas\ correias\ [N]$$
$$K_c = coeficiente\ que\ depende\ da\ seção\ da\ correia\ (Tab\ 3.2)$$
$$V = velocidade\ periférica\ na\ correia\ [m/s]$$

Tabela 31 – Fatores de correção Kb e Kc

Seção da correia	K_b	K_c
A	25	0,561
B	65,0	0,965
C	180	1,716
D	642	3,498
E	1226	5,041
3V	26	0,425
5V	124	1,217
8V	546	3,288

*Dados por cortesia de Gates Rubber Co., Denver, Colo.

Fonte: Budynas e Nisbett (2011).

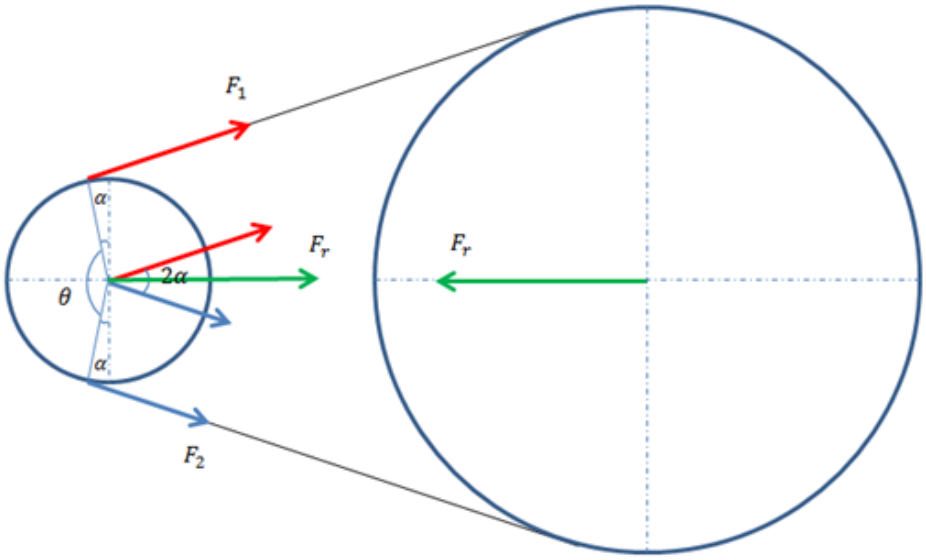
A tração máxima, no lado tensionado da correia, é dada por:

$$\boldsymbol{F_1 = F_c + \frac{\Delta F . e^{f\theta}}{e^{f\theta} - 1}}$$

$$\boldsymbol{\Delta F = F_1 - F_2 = \frac{\left(\frac{P_{projeto}}{b}\right)}{\pi . d . n}}$$

$$F_1 = tração\ do\ lado\ tenso\ da\ correia$$
$$F_2 = tração\ do\ lado\ bambo\ da\ correia$$
$$f = coeficiente\ de\ atrito\ efetivo\ (0{,}5123\ para\ correias\ V, conforme\ Gates)$$
$$\theta = ângulo\ de\ abraçamento$$
$$P_{projeto} = potência\ de\ projeto$$
$$b = número\ de\ correias$$
$$d = diâmetro\ da\ polia$$
$$n = rotação\ da\ polia\ (rev/s)$$

Figura 84 – Esquema das forças (radiais e tangenciais) atuantes nas polias



Fonte: Santos et al. (2021).

A força radial atuando nos eixos das polias, pela lei dos cossenos, será então:

$$F_r = \sqrt{{F_1}^2 + F_2^2 + 2.F_1.F_2.cos(2\alpha)}$$

$$2\alpha = 180 - \theta$$

Já a força tangencial atuando nos eixos das polias é dada por:

$$F_t = \frac{2M_{td}}{d} = \frac{2M_{tD}}{D}$$

$$M_t = \frac{P_{projeto}745{,}7}{n.\frac{2\pi}{60}} = 7120{,}9.\frac{P_{projeto}}{n}$$

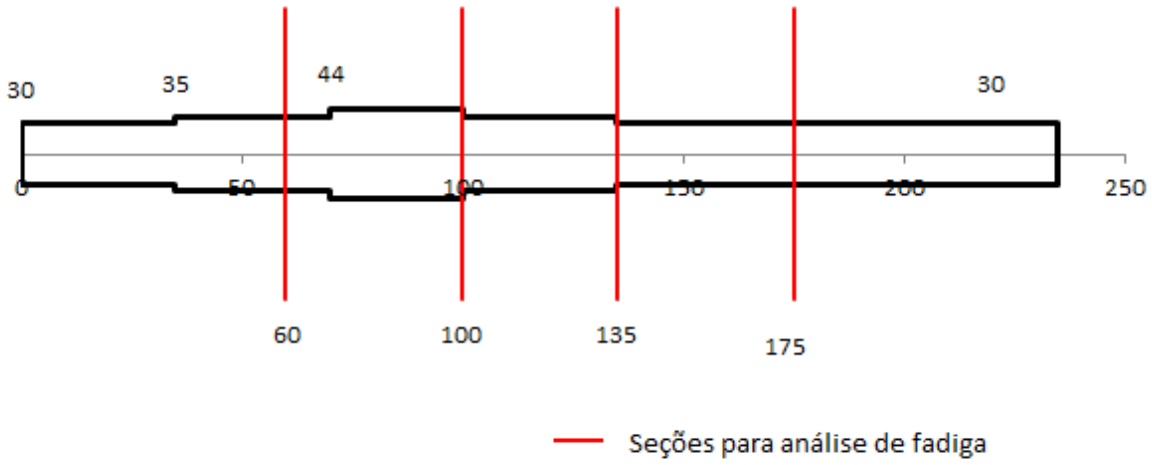
$$M_{td} = momento\ torsor\ [N.m]$$
$$P_{projeto} = potência\ de\ projeto\ [HP]$$
$$n = rotação\ da\ polia\ [rpm]$$

APÊNDICE I – Dimensionamento dos eixos

A utilização da planilha segue na primeira aba, Material, inserindo os dados do material utilizado para a fabricação do eixo.

Na segunda, Desenho, são colocadas as dimensões de cada seção do eixo (diâmetro e comprimento) e a própria planilha gera então um desenho esquemático. São também destacadas as seções de verificação, isto é, aquelas que serão checadas quanto aos esforços e às tensões admissíveis. Geralmente se tratam de seções críticas, em termos de esforços, e também devido a elementos concentradores de tensões, tais como escalonamentos, rasgos de chaveta, entre outros. A Figura 85 a seguir apresenta um exemplo deste desenho esquemático para um dos eixos analisados.

Figura 85 – Desenho esquemático do eixo com as seções de verificação



Fonte: Santos et al. (2021).

Na terceira aba, Esforços, são inseridos os resultados dos esforços obtidos pelo software Ftool (normal, cortante e fletor) para cada eixo e o momento torsor atuante no eixo. Os arquivos gerados pelo Ftool com os esforços para cada eixo seguem também no material complementar.

Na próxima aba, Pré-dimensionamento a partir dos esforços e de coeficientes obtidos em tabelas, Figura 86, é feito um pré-dimensionamento dos diâmetros das seções, que serão então verificados nas abas seguintes de verificação. São essencialmente dois tipos de Abas de Verificação, conforme os esforços a que a seção esteja submetida. No caso da ausência de momento fletor na seção, utiliza-se a aba “Fadiga torção pura”. Na presença de momento fletor e torsor, utiliza-se a aba “Fadiga padrão” (que considera esforços alternados simétricos no eixo,

isto é, na ausência de força normal). Recortes de cada uma dessas abas podem ser vistos nas Figuras 87 e 88, respectivamente.

Caso a verificação em alguma das seções críticas mostre um resultado insatisfatório é preciso redimensionar o diâmetro da seção e refazer o processo. Quando a checagem de todas as seções críticas estiver dentro do admissível e o eixo não estiver demasiadamente superdimensionado, considera-se que o dimensionamento está concluído.

Figura 86 – Recorte da aba Pré-dimensionamento na planilha de cálculos

PRÉ-DIMENSIONAMENTO

b1) Determinar os diagramas dos esforços solicitantes

b2) Localização das seções críticas para pré-dimensionamento

x (mm)	60	100	135
Mxy (kN.mm)	0,000	36,680	25,920
Mxz (kN.mm)	0,000	36,680	25,920
Mfr (kN.mm)	0,000	51,873	36,656
MfR (kN.mm)	51,873		
xR (mm)	100,00		

DADOS DO MATERIAL

Material	ABNT 8620	descrição do material
σe (MPa)	600	tensão de escoamento
τe (MPa)	346,2	
σrt (Mpa)	950	tensão de ruptura estática

Fonte: Santos et al. (2021).

Figura 87 – Recorte da aba “Fadiga torção pura” na planilha de cálculos

d3) Tensão admissível

b1	0,87	aula 5 - slide 5
b2	0,88	aula 5 - slide 6
b3	1	aula 5 - slide 7 (1, para seção circular)
η1	1,1	aula 5 - slide 22
η2	1,2	aula 5 - slide 22
η3	1,25	aula 5 - slide 22
η4	1,1	aula 5 - slide 22
η5	1,1	aula 5 - slide 22
τadm0 (MPa)	115,04	tensão admissível sem entalhe
βk	2,00	
τadm (MPa)	57,52	tensão admissível

RESULTADO:	τ* (MPa)	9,68
	τadm (MPa)	57,52

Fonte: Santos et al. (2021).

Figura 88 – Recorte da aba “Fadiga padrão” na planilha de cálculos

d3) Tensão admissível

b1	0,87	aula 5 - slide 5
b2	0,88	aula 5 - slide 6
b3	1	aula 5 - slide 7
η1	1,1	aula 5 - slide 22
η2	1,2	aula 5 - slide 22
η3	1,25	aula 5 - slide 22
η4	1,1	aula 5 - slide 22
η5	1,1	aula 5 - slide 22
σadm0	191,74	tensão admissível sem entalhe
βk	1,49	
σadm	128,90	tensão admissível

RESULTADO:	σ*	24,30
	σadm	128,90

Fonte: Santos et al. (2021).

Memorial de Cálculo das Uniões Eixo-Cubo

De maneira similar, para o dimensionamento das uniões eixo-cubo (do tipo chavetas) entre as polias e os eixos, foi elaborada uma planilha de cálculo no Excel que acompanha o material complementar, com base na seguinte referência (também inclusa no material extra): Massaropi et al. (2007).

No dimensionamento, são checados, a partir dos esforços aplicados e de coeficientes tabelados, o comprimento mínimo do cubo, o esmagamento do cubo e do eixo e o cisalhamento da chaveta, que permite obter o resultado final das dimensões indicadas para o cubo e a chaveta. O processo foi repetido para cada união e a Figura 89 a seguir apresenta o recorte do resultado obtido em uma das planilhas.

Figura 89 – Recorte da planilha de dimensionamento das uniões eixo-cubo (chavetas)

Resultados

Dimensões cubo			Dimensões da chaveta		
L	80	mm	b	10	mm
S	20	mm	h	8	mm
S'	16	mm	t1	4,7	mm
D	70	mm	t2	3,4	mm

Fonte: Santos et al. (2021).

Memorial de Cálculo dos Rolamentos

Por fim, foi também elaborada uma planilha no Excel (adicionada ao material complementar) para o dimensionamento e seleção dos mancais de rolamentos a serem utilizados em cada eixo, com base nas seguintes referências (também inclusas no material extra): Massaropi et al. (2007); SKF (2015).

O processo consiste basicamente dos seguintes passos: inserção dos dados iniciais, tais como os esforços a que cada mancal estará submetido (forças radiais e axiais), o diâmetro do eixo na seção dos mancais, a rotação e a temperatura de operação; checagem quanto ao dimensionamento estático e escolha inicial dos rolamentos (neste caso, com base no catálogo da fabricante SKF); posteriormente, verificação quanto ao dimensionamento dinâmico, a lubrificação, a vida útil e a rotação máxima dos rolamentos. O resultado final, conforme o recorte da planilha apresentado na Figura 90 a seguir, é o par de rolamentos selecionado para cada eixo.

Figura 90 – Recorte da planilha de dimensionamento e seleção dos rolamentos

Resultado

Mancal Esquerdo		
Modelo	6206-2RS1	
d	30	mm
D	62	mm
B	16	mm
C	20,3	kN
C0	11,2	kN
Lh	42742,02	horas

Mancal Direito		
Modelo	6206-2RS1	
d	30	mm
D	62	mm
B	16	mm
C	20,3	kN
C0	11,2	kN
Lh	87247,56	horas

Fonte: Santos et al. (2021).

APÊNDICE J – FMEA dos demais sistemas

Os componentes análogos das Opções 1 e 2 estão identificados nas Figuras 91 a 93 e representam os sistemas de Elevação, Armazenamento (e Distribuição), Descarregamento e Deslocamento. Os componentes de pistões hidráulicos aparecem nos sistemas de Elevação e de Descarregamento, no qual o principal efeito da falha está relacionado à falta de abertura máxima dos mesmos. Com relação ao pistão do descarregamento da caçamba foram pensadas ainda situações críticas em que a caçamba poderia estar elevada durante o movimento, sem que o operador tivesse ciência. Para evitar o impacto com barreiras elevadas (como lajes ou copas de árvores) e possíveis acidentes, foi pensada a utilização de um sistema de aviso sonoro e visual (retrovisor para ampliar o campo de visão traseiro do operador) no implemento.

Figura 91 – Identificação dos componentes para os Sistemas de Elevação e Descarregamento

Ajuste Altura	Pistão hidráulico	Elevação	Regular altura do Sistema de Corte	1. Nenhuma função	Perda parcial ou total do ajuste de altura, desnivelar o sistema.
Ajuste Altura	Apoio de fixação de altura	Elevação	Trava de altura do corte e alivio do sistema hidráulico.	6. Função não intencional	Impacto de componentes, acidente com o usuário.
Basculante	Pistão hidráulico	Descarregamento	Regular ângulo de descarregamento da caçamba	1. Nenhuma função	Sem movimento basculante ou travamento em posição indesejada.
Basculante	Pistão hidráulico	Descarregamento	Regular ângulo de descarregamento da caçamba	6. Função não intencional	Acidene envolvendo caçamba levantada.
Basculante	Eixo e Mancais	Descarregamento	Eixo e suporte de rotação do sistema basculante.	2. Função parcial	Emperramento do sistema, ruído.

Fonte: Santos et al. (2021).

O vazamento das mangueiras hidráulicas ou até o rompimento destas poderia comprometer a segurança do usuário com o rápido movimento das partes suspensas. Por esse motivo, a Severidade destes componentes foi considerada com o valor de 10 (Risco de Acidente sem Aviso) e sua classificação de característica chave recebeu Característica Crítica Potencial, conforme Figura 92.

Figura 92 – Avaliação dos componentes para os Sistemas de Elevação e Descarregamento

Pistão hidráulico	8. Função primária perdida	-	Vazamento de óleo hidráulico, peso excessivo (sobrecarga).	3.Low MIDDLE (>0,01%)	Checar vazamentos no sistema hidráulico, atentar para o peso máximo comportado pela máquina.	Visual e medidor de pressão hidráulica	2. Likelihood Detection UP	8	3	2	24	48
Apoio de fixação de altura	10. Risco de acidente SEM aviso	CC	Vazamento de óleo hidráulico e operação inadequada.	2. Low DOWN (<= 0,01%)	Adesivos com alerta visual, checar o sistema hidráulico e orientação para operação adequada.	Visual e medição	5. BAD detection UP	10	2	5	20	100
Pistão hidráulico	8. Função primária perdida	SC	Vazamento de óleo hidráulico, peso excessivo (sobrecarga).	4. Low UP (>0,05%)	Checar vazamentos no sistema hidráulico, atentar para o peso máximo comportado pela máquina.	Visual e medidor de pressão hidráulica	2. Likelihood Detection UP	8	4	2	32	64
Pistão hidráulico	10. Risco de acidente SEM aviso	CC	Desatenção do operador com o sistema basculante acionado.	3.Low MIDDLE (>0,01%)	Alertar o usuário sobre essa possibilidade, utilizar sistemas de aviso.	Visual (e sonora)	2. Likelihood Detection UP	10	3	2	30	60
Eixo e Mancais	5. Redução de performance BAIXA	-	Carga excessiva, sujeira acumulada.	3.Low MIDDLE (>0,01%)	Respeitar as orientações sobre carga máxima e manutenção.	Visual e sonora	2. Likelihood Detection UP	5	3	2	15	30

Fonte: Santos et al. (2021).

O Sistema de Deslocamento (Figura 93) utiliza o mesmo padrão do equipamento Sega Pasto da empresa Casale, com o transporte em campo por meio de rodas, com falhas baixas associadas a outros componentes amplamente utilizados pela empresa. O Direcionamento do corte envolve estruturas de chapas soldadas que acompanham o Sistema de Armazenamento. As falhas associadas às estruturas de chapa podem ocorrer devido a um desgaste da estrutura ou a um impacto/sobrecarga, em que a deformação dos componentes pode obstruir a entrada de palma cortada. Para mitigar essa possível ocorrência recomenda-se utilizar espessuras de chapa já adotadas em outros projetos da Casale, além da realização de uma verificação periódica dos componentes pelos operadores.

A distribuição da palma na caçamba de armazenamento, assim como o corte, é um fator crítico apontado em reuniões do grupo. O termo popular conhecido como embuchamento pode ocorrer devido à geometria pouco homogênea da planta e pela sua distribuição de peso na posição vertical. Logo após o corte da palma é esperado que a planta, por gravidade e pelo movimento de avanço da máquina, seja direcionada para o veículo. Quando a palma tombar para o implemento pode acabar não sendo recolhida ou ficar presa na região frontal da caçamba, sem ser conduzida para a parte traseira, que pode comprometer a eficiência da máquina. Para evitar essa falha foi pensado um sistema de recolhimento com uma esteira horizontal e também de distribuição, por meio de uma esteira inclinada, que levariam então a palma da região frontal para a região traseira do equipamento e auxiliaram na distribuição daquela na caçamba de armazenamento, de modo a otimizar a utilização do espaço.

A falha na distribuição da palma pelos componentes de esteiras pode enfrentar os problemas de rompimento da esteira devido à presença de um objeto cortante ou o desgaste por atrito da superfície. Para contornar essas possíveis falhas e evitar o embuchamento do

implemento, deve ser adotada uma esteira robusta com interferências (taliscas) e uma correia feita com material bastante resistente à abrasão.

Figura 93 – Identificação dos componentes da Estrutura (Carenagem) e dos Sistemas de Deslocamento e Armazenamento (Distribuição)

Deslocamento	Pneu	Deslocamento	Apoio e meio de transporte	2. Função parcial	Pneu furado, rasgado
Deslocamento	Eixo e Cubo	Deslocamento	Suporte das rodas à estrutura.	2. Função parcial	Ruído e travamento dos rolamentos
Carenagem	direcionadores do corte	Direcionar	Direcionar as linhas de plantação para o sistema de corte	4. Função Over	Amassar e bloquear o corte das Palmas.
Carenagem	Armazenamento	Armazenar	Armazenar a Palma cortada até o momento de descarregamento	2. Função parcial	Acumular Palma em uma única porção da caçamba (popularmente como embuchar).
Distribuição	Esteira	Distribuir Palma cortada	Levar a Palma cortada para o fim da caçamba.	4. Função Over	Romper a lona
Distribuição	Esteira	Distribuir Palma cortada	Levar a Palma cortada para o fim da caçamba.	5. Função degrada ao longo do tempo	Lonas escorregadias sem movimentar a Palma cortada.

Fonte: Santos et al. (2021).

Figura 94 – Avaliação dos componentes da Estrutura (Carenagem) e dos Sistemas de Deslocamento e Armazenamento (Distribuição)

Pneu	7. Redução de performance ALTA	SC	Elementos perfurantes (pedras, galhos, partes metálicas), pneu com calibragem inadequada.	5. Occasional DOWN (>0,25%)	Limpar o terreno, calibragem adequada e checagem dos pneus.	Visual e sensorial	2. Likelihood Detection UP	7	5	2	35	70
Eixo e Cubo	6. Redução de performance MÉDIA	-	Sujeira, carga excessiva, irregularidade do terreno, falta de manutenção adequada.	3.Low MIDDLE (>0,01%)	Manutenção e operação adequada.	Sonoro e sensorial	5. BAD detection UP	6	3	5	18	90
direcionadores do corte	6. Redução de performance MÉDIA	-	Impacto com objetos rígidos, velocidade alta do equipamento.	3.Low MIDDLE (>0,01%)	Limpar o terreno e checar a integridade da peça	Visual e sensorial	9. REMOTE detection	6	3	9	18	162
Armazenamento	7. Redução de performance ALTA	SC	Configuração superficial e espacial da caçamba. Forma pouco homogênea das Palmas.	5. Occasional DOWN (>0,25%)	Superfície deslizante e possível sistema de distribuição interna.	Visual	5. BAD detection UP	7	5	5	35	175
Esteira	8. Função primária perdida	-	Contato com objeto cortante	3.Low MIDDLE (>0,01%)	Limpar o terreno e troca da peça.	Visual	3. Likelihood Detection MIDDLE	8	3	3	24	72
Esteira	7. Redução de performance ALTA	SC	Desgaste por atrito	4. Low UP (>0,05%)	Utilizar lonas com talisca de equipamentos semelhants da Casale.	Visual	3. Likelihood Detection MIDDLE	7	4	3	28	84

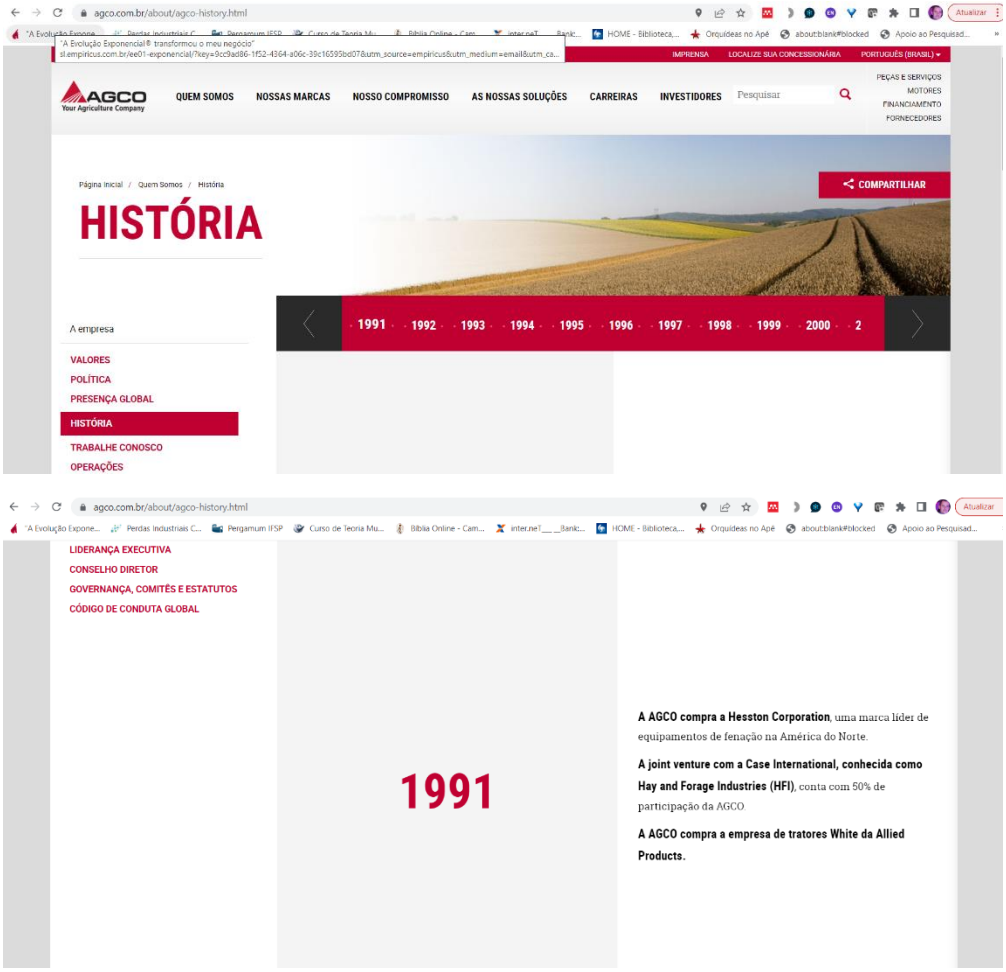
Fonte: Santos et al. (2021).

Como conclusões da análise FMEA, pode-se notar que a presença de mais itens no sistema de corte da Solução 2 leva a mais “potenciais características significativas” avaliadas pelo Fator Kc. Embora as falhas associadas não levem a uma severidade crítica, envolvendo acidentes com o usuário, podem ocasionar uma complicação nas etapas de desenvolvimento de projeto e no ajuste em operação por parte dos usuários. É recomendado, portanto, com base nesse diagnóstico, que uma solução comercial já implementada, como a barra de corte (Solução 1), seja testada em campo para validação do corte. Nesse sentido, será projetado o layout de um

primeiro protótipo mais simples, que acomodará a barra de corte presente na empresa Casale, para possibilitar este ensaio preliminar e a validação do sistema de maneira mais ágil.

ANEXO A – Sites de Empresas

Site da AGCO: histórico e soluções

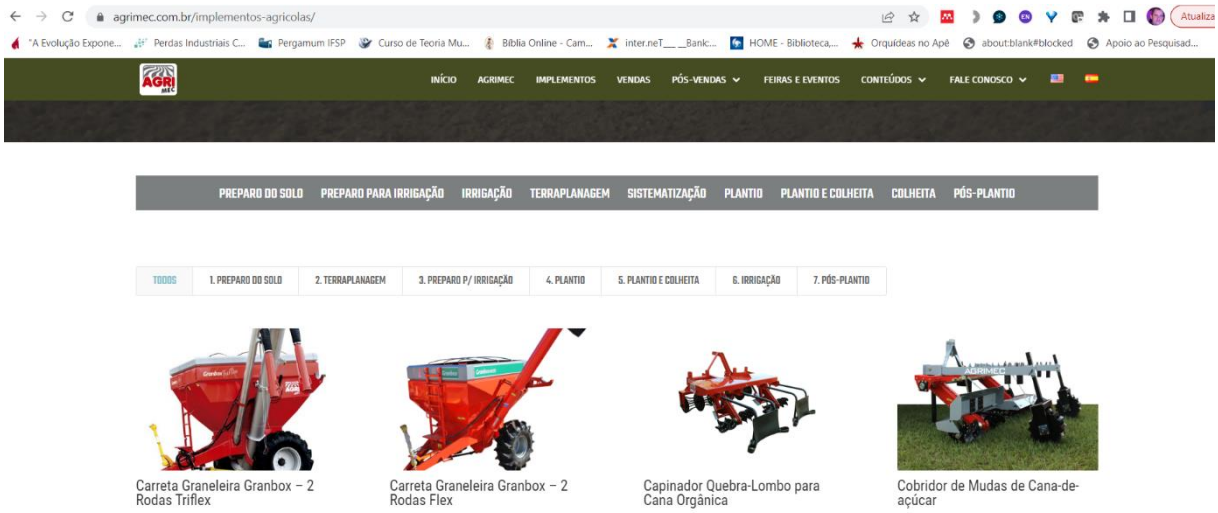


Fonte: AGCO (2022a).

Fonte: AGCO (2022b).

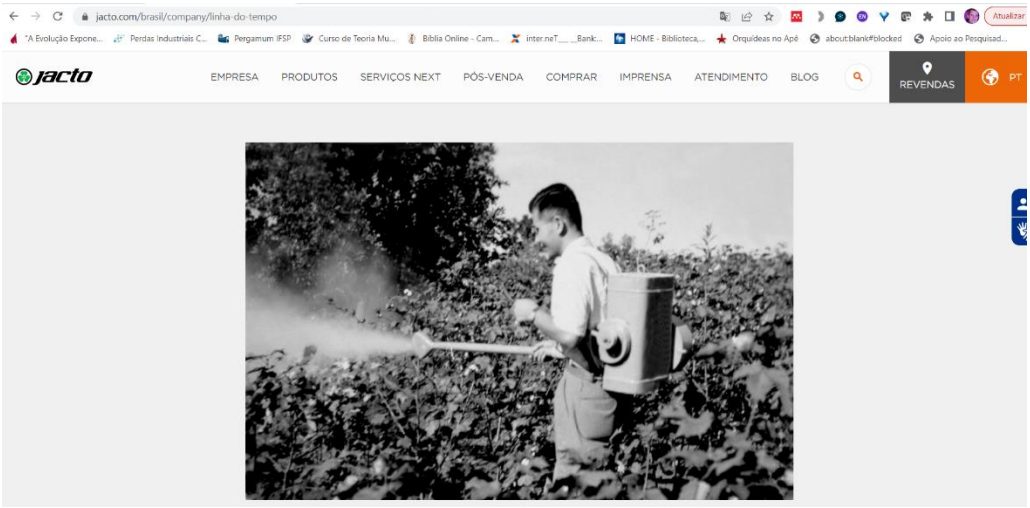
Site da AGRIMEC: histórico e implementos

Fonte: AGRIMEC (2022a).

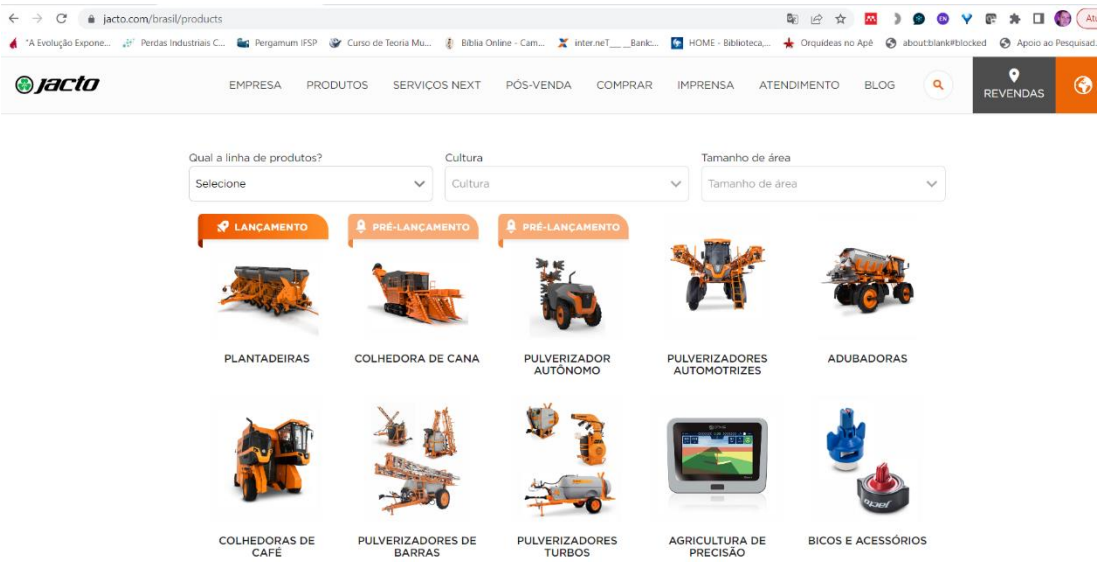


Fonte: AGRIMEC (2022b).

Site da Jacto: linha do tempo e produtos



Fonte: Jacto (2022a).



Fonte: Jacto (2022b).

ANEXO B – Cursos de Pós-Graduação em Gestão de Projetos

FGV – Educação Executiva

PÚBLICO-ALVO

A **Pós-Graduação em Gerenciamento de Projetos** é recomendada para:

- graduados/as e recém-graduados/as de qualquer área que desejam qualificação e aprofundamento na área de gerenciamento de projetos;
- profissionais que atuam ou pretendem atuar com projetos de qualquer segmento de negócio ou área de atuação, ou que tenham responsabilidade por implementação de mudanças nas organizações.

Pré-requisitos do curso:
Formação superior completa em cursos de tecnólogo, bacharelado ou licenciatura.

PROGRAMA

Pós-Graduação em Gerenciamento de Projetos

Análise de Viabilidade de Projetos

Profa. Nora Raquel Zygielszyper, Mestre, PUC.

Matemática financeira. Elaboração do fluxo de caixa de projetos. Modelos determinísticos. Custo do capital próprio. Custo médio ponderado de capital. Análise do risco econômico-financeiro em projetos.

FGV Enterprise Competition

Fundamentos de Gerenciamento de Projetos

Gerenciamento de aquisições em projetos

Gerenciamento de Cronograma e Custos

Gerenciamento do Escopo e Qualidade

Gerenciamento de Mudanças e Stakeholders

Gerenciamento de Portfolio e PMO

Gerenciando Projetos e Produtos com Scrum

Gerenciamento de riscos em projetos

Liderança e Motivação

Fonte: Fundação Getúlio Vargas (2022).

POLI USP PRO
PÓS-GRADUAÇÃO A DISTÂNCIA
Especialização em Gestão de Projetos (CEGP)

Sobre o Curso

Inovação e agilidade são conceitos-chave nos negócios. Para obter vantagem competitiva neste contexto, é preciso saber gerir complexidade e incerteza, e, para tal, o olhar metodológico da engenharia oferecido na Especialização em Gestão de Projetos POLI USP PRO é fundamental. O curso promove um olhar para as abordagens *soft* e *hard* de Gestão de Projetos, permitindo uma visão abrangente e formando profissionais habilitados a conduzir abordagens híbridas com sucesso. É um curso online e com ferramentas exclusivas de interação entre professores e alunos, que priorizam a interação síncrona.

Pré-requisito: para ingresso nos cursos da POLI USP PRO o candidato deve possuir diploma de curso superior. Não é necessário formação ou atuação anterior em alguma área específica.

Programação do curso

Acesse o programa completo, com todas as informações que você precisa.

Download da programação

Programa do curso

Módulo Hard

- Recursos e Custos
- Gestão de Portfólio
- Gestão de Riscos em Projetos
- Cronograma
- Gestão das Aquisições em Projetos
- Gestão por Processos
- *Big Data*
- *Analytics*
- *Project Valuation*
- Tópicos Especiais

Fonte: POLIUSPPRO (2022).

ANEXO C – Primeiras páginas dos relatórios do estudo de caso descrito no item 3.3

Análise de Viabilidade Técnica e Econômica no Desenvolvimento de Sistema Automatizado para Colheita de Palma Forrageira

Relatório Final

Projeto CASALE

Alberto Salvio Vasconcelos de Lyra (IFSP)

Henrique Takashi Idogava (USP -EESC)

Marcelo Becker (USP -EESC)

Zilda de Castro Silveira (USP -EESC)

São Carlos-SP

2020

Análise de Viabilidade Técnica e Econômica no Desenvolvimento de Sistema Automatizado para Colheita de Palma Forrageira

Relatório 2 - Fase 2

Projeto CASALE

Arthur Valadares (USP -EESC)

Alberto Salvio Vasconcelos de Lyra (IFSP)

Henrique Takashi Idogava (USP -EESC)

Marcelo Becker (USP -EESC)

Pedro de Moraes Murari (USP-EESC)

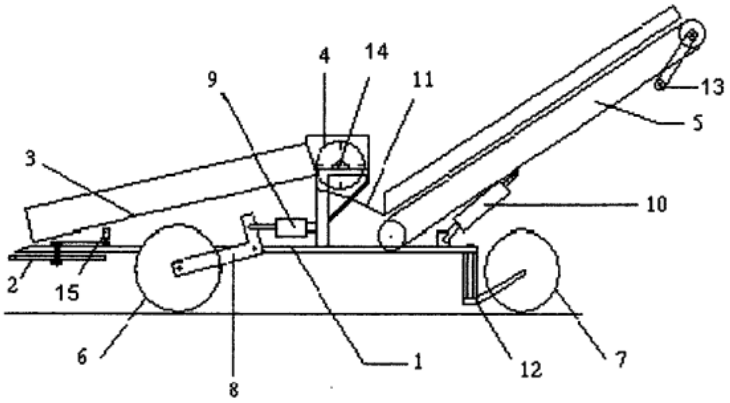
Zilda de Castro Silveira (USP -EESC)

São Carlos-SP

2021

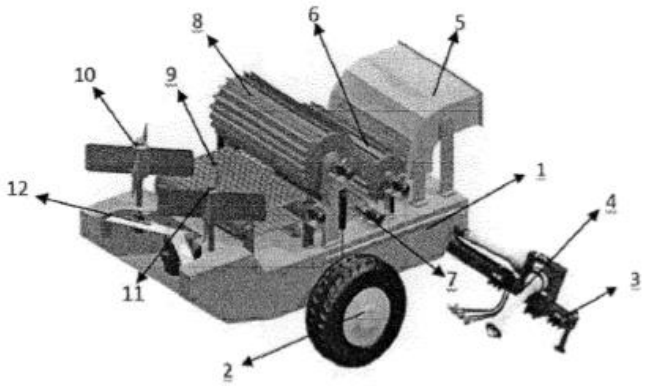
ANEXO D – Resumo de Patentes de colhedora de palma forrageira

PI 1003000-0 A2 – COLHEDORA DE P
ALMA FORRAGEIRA



Patente de Invenção de uma máquina colhedora de palma forrageira que tem por finalidades o corte da palma no campo, pré-processamento através do corte das raquetes em pedaços menores e mais uniformes para facilitar o seu armazenamento e também ser servida diretamente aos animais sem a necessidade de nenhuma outra operação, além de possuir outra vantagem que é o carregamento do veículo de transporte da palma picada para o local onde será oferecida aos animais. Para que estas operações sejam realizadas com sucesso foi idealizado e construído um chassi onde todas as peças e sistemas serão montados. O corte das palmas é feito por discos de corte, em seguida o material cortado é conduzido por meio de uma esteira para o rotor onde será feito o pré-processamento, em seguida o material picado será posto em uma outra esteira para ser então carregado em carroção para ser transportado. Todos os sistemas mecânicos serão movimentados por meio de sistemas hidráulicos operados pelo próprio tratorista.

BR 10 2014 031985 9 A2 – COLHEDORA DE FORRAGEM MULTIFUNCIONAL PARA MULTICULTURAS



Esta patente trata-se de um sistema multifuncional para a colheita de forrageira que será tracionada por um trator e operada por pelo menos um operador. Possui um chassi de longarinas com perfil tubular, um eixo rodante com pelo menos dois rodados sem garra. O acoplamento do equipamento ao trator é realizado por meio de um cabeçalho montado. Com o acionamento dos órgãos ativos realizado, por meio de pelo menos dois eixos cardãn, uma caixa de engrenagem, seis motores hidráulicos, uma bomba hidráulica e dois motores elétricos. O corte das plantas é realizado por pelo menos dois conjuntos de correntes e guia presente na plataforma de corte, o sistema possui como fonte de potência pelo menos dois motores elétricos. A regulagem da altura de corte é realizada por meio de pelo menos dois pistões acoplados no eixo rodante. Para evitar perdas na colheita o equipamento conta com um sistema de posicionamento formado por pelo menos dois molinetes com pás de chapas que posicionam o produto colhido para o sistema de condução das plantas que consiste em pelo menos uma esteira que possui em sua superfície hastes que fixam as plantas e conduzem ao mecanismo de processamento da forragem, esta etapa é realizada por um rotor com lâminas e contra faca. Após a forragem ser triturada a mesma é conduzida por pelo menos uma esteira para a bica de descarga, porém quando a máquina realiza a colheita de poaceae é acionado um batedor que arremessa a forragem picada por meio da bica de descarga, no entanto quando se realiza a colheita de cactácea (palma forrageira) o batedor é erguido e a palma é conduzida a bica de descarga.

16613 – INVENTO REFERENTE A UN IMPLEMENTO PARA CORTAR Y MANEJAR NOPALES Y PLANTAS ANALOGAS

Número de expediente	16613
Fecha de presentación	28/02/1913
Título	Invento referente a un implemento para cortar y manejar nopales y plantas analogas.
Resumen	El invento consiste en la provision en un implemento que comprende un mango y una cabeza alargada transversalmente en una extremidad del mango, teniendo una orilla cortante exterior y un diente o punta de embrague.
Inventor(es)	Royal H. Brown.;(US);El Paso, Texas, E.U.A.