

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

DANIEL PORTIOLI SAMPAIO

Identificação das oportunidades à mecanização da colheita de mandioca

São Carlos

2017

DANIEL PORTIOLI SAMPAIO

Identificação das oportunidades à mecanização da colheita de mandioca

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Manufatura

Orientador: Prof. Dr. Arthur José Vieira Porto

ESTE EXEMPLAR TRATA-SE DA
VERSÃO CORRIGIDA.

A VERSÃO ORIGINAL ENCONTRA-SE
DISPONÍVEL JUNTO AO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
MECÂNICA DA EESC-USP.

São Carlos

2017

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.

S192i Sampaio, Daniel Portioli
Identificação das oportunidades à mecanização da colheita de mandioca / Daniel Portioli Sampaio; orientador Arthur José Vieira Porto. São Carlos, 2017.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Manufatura -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.

1. Colheita de mandioca. 2. Mecanização Agrícola.
3. Projeto Sistemático. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **DANIEL PORTIOLI SAMPAIO**.

Título da dissertação: "Identificação das oportunidades à mecanização da colheita de mandioca".

Data da defesa: 20/12/2017.

Comissão Julgadora:

Prof. Titular **Arthur José Vieira Porto**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **Edilson Reis Rodrigues Kato**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Prof. Dr. **Rubens André Tablete**
(Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos/FZEA-USP)

Resultado:

APROVADO

Aprovado

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica:
Prof. Associado **Gherhardt Ribatski**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Luís Fernando Costa Alberto**

DEDICATÓRIA

“Aos meus pais Paulo e Maria Enoy, a Ana Paula e a Deus”

AGRADECIMENTOS

Em primeiro, a USP e a Embrapa pela oportunidade de realizar essa capacitação para a minha vida profissional.

Aos meus pais e a Ana Paula, pela paciência, compreensão e apoio no período do curso, que me incentivaram e estiveram sempre ao meu lado.

Aos Senhores Dr. Arthur Porto e Dr. Ricardo Inamasu, pelos ensinamentos, direcionamento, orientação e oportunidade de realização desse trabalho.

Aos Senhores Dr. Marco Rangel e Dr. Rudiney Ringenberg da Embrapa Mandioca Fruticultura que ajudaram e auxiliaram nos testes de ensaio no campo e visitas as áreas de produção.

Aos Senhores Oscar dos Santos e José Luís Guerra do Laboratório da Geotécnica da USP, pela paciência e ajuda nos ensaios laboratoriais.

Aos colegas Valentim Monzane, Milene Mitsuyuki, Luís Godoy e Jorge Novi da Embrapa Instrumentação que deram contribuições importantes para a pesquisa.

A Tereza Losada, Sergio Doná, Jose Lorenzi, Emerson Fey, Fábio Felipe e Sigmar Herpich pela ajuda, disponibilidade e compartilhamento de informações sobre a cultura da mandioca.

Aos amigos, Beatriz Silva, Gustavo Perruci, Yu Kawahara e Joel Lima pelo apoio e assistência durante esse período.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

SAMPAIO, Daniel Portioli. **Identificação das oportunidades à mecanização da colheita de mandioca**. 2017. 157p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

A mandioca (*Manihot Sculenta Crantz*) é amplamente cultivada no Brasil e nos países tropicais do mundo por ser uma cultura de grande valor nutritivo e resistência às condições edafoclimáticas, servindo de segurança alimentar para vários países. A preponderância do cultivo no país é para abastecer mercados de consumo *in natura* de raízes e amido para várias agroindústrias. Apesar de sua grande aplicação, toda a cadeia agroindustrial nacional encontra obstáculos para sua expansão devido ao baixo rendimento de produção, alta demanda de mão de obra, cada vez mais escasso devido principalmente à atividade de grande esforço físico, falta de disponibilidade de máquinas especialmente para a colheita. O objetivo do trabalho foi descrever as etapas de colheita para identificar pontos de mecanização e propor alternativas de solução que se adequem melhor às necessidades da produção agrícola. Para isso, a pesquisa focou nas regiões produtoras de mandioca industrial dos estados do Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo onde apresentam maior emprego de tecnologia na colheita, onde uma área de 10 a 20 hectares foi selecionada como público alvo. Aplicou-se a metodologia de projeto sistemático para a obtenção de informações através da realização de visitas técnicas e experimentos em campo, para estabelecer uma lista de requisitos a serem atendidos pela colheita mecanizada. Constatou-se da revisão da bibliográfica e visitas às áreas de produção que a operação de extração, destaque, e coleta das raízes seriam as principais oportunidades de estudo para a mecanização, onde a principal restrição ao desenvolvimento estaria nas operações de posicionamento e destaque das mesmas, em razão das raízes apresentarem certa aleatoriedade de geometria e dependência do ajuste das demais operações do cultivo e variedades. Nessa perspectiva, foram coletadas informações sobre a geometria das raízes para três diferentes variedades de mandioca em dois períodos de colheita. Para a proposição de uma solução para a colheita, foram estudados sistemas mecânicos alternativos para cada etapa do processo, gerando uma matriz morfologia que orientou a proposição de desenhos esquemáticos de cinco variantes de colhedoras. Por fim, selecionou-se a variante de um implemento de colheita composto por braços mecânicos com posicionamento assistido por operadores, onde o destaque das raízes deveria ser realizado por garras mecânicas para a separação da parte aérea das plantas ainda no solo. Com o objetivo de favorecer sua posterior extração através da análise

de requisitos técnicos, econômicos, ambientais e sociais. A pesquisa visou contribuir com a cadeia da cultura da mandioca, com a formalização de informações e restrições para o projeto de colhedora ajustada para as condições nacionais, indicar alternativas de colhedoras a serem desenvolvidas e validadas em campo através de pesquisas posteriores.

Palavras-chave: Colheita de mandioca, Mecanização agrícola, Projeto sistemático

ABSTRACT

SAMPAIO, Daniel Portioli. **The opportunities for mechanization of the cassava harvest process.** 2017. 157p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Manihot (Manihot Sculenta Crantz) is widely cultivated in Brazil and in the tropical countries as a crop of great nutritional value and resistance to edaphoclimatic conditions, providing food security for several countries. The prevalence of the cultivation in the country is to supply markets of *in natura* consumption of roots and starch for several agroindustries. Despite its great application, the entire agroindustrial chain has obstacles to its expansion due to the low yield of production, high demand of labor, increasingly scarce due mainly to the arduous work, lack of availability of harvest machines. The objective of this work was to describe the harvesting stages to identify mechanization gaps and to propose alternative that best fit the farming production. The research focused on the industrial cassava production of the states of Paraná, Mato Grosso do Sul and São Paulo that holds the highest technology harvesting, and an area of 10 to 20 hectares was selected as the market target. A systematic design methodology was applied to obtain information through technical visits and field experiments, to establish a requirements list to appropriate answer the mechanized harvest. It was verified the bibliographical revision and visits that the operation of extraction, detach, and collection of the roots would be the main opportunities of the mechanization, and the main restriction to the development would be in the operations of positioning and detach, because the roots present a geometry randomness and dependence of the other operations adjustment of the crop and varieties. From this perspective, geometry information was collected for three different varieties of cassava in two harvest periods. The proposition a solution for the harvest, alternatives of mechanical systems was studied for each step of the process, creating a morphology matrix that guided to bring up the five harvesters schematic drawings. Finally, we selected the variant of a harvesting implement composed of mechanical arms with operator-assisted positioning, where the detach of the roots should be performed by mechanical claws to separate the plants aerial parts still in the soil, with the objective to facilitate after root extraction through the analysis of technical, economic, environmental and social parameters. Finally, this study aimed to contribute to the cassava culture chain, with the formalization of information and restrictions for the design of harvester machines adjusted for the national conditions, to indicate alternative to be developed and validated in the field through further works.

Keywords: Cassava Harvest, Agricultural Mechanization, Engineering design

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma da cadeia agroindustrial da mandioca	33
Figura 2 – Tipos de solos encontrados para a mandioca	35
Figura 3 - Mandioca processada pela indústria de féculas e valor pago as raízes.....	36
Figura 4 - Diagrama de Pareto para o número estabelecimentos por tamanho de área.....	37
Figura 5 - Diagrama de Pareto para a área total de colheita de mandioca por tamanho de propriedade.	38
Figura 6 - Etapas do crescimento das plantas de mandioca	42
Figura 7 - Diagrama da planta de mandioca para o primeiro e segundo ciclo	42
Figura 8 – Esquema de como deve ser feita a colheita de mandioca	45
Figura 9 - Operações agrícolas para o preparo do cultivo de mandioca industrial.	46
Figura 10 – Modelo de Lamina Afofadora.....	48
Figura 11 – Modelo de arrancadora com lamina de extração.....	49
Figura 12 – Modelo de arrancadora com o uso de correias de extração	50
Figura 13 - Patentes de colhedoras selecionadas.....	53
Figura 14 – Protótipo de Colhedora com lamina de extração.	54
Figura 15 - Protótipo de colhedora visto na Agrishow 2016.....	55
Figura 16 - Protótipo visto em áreas de produção em Marechal Candido Rondon - PR.....	56
Figura 17 – Fluxograma do capítulo sobre informações da colheita.....	59
Figura 18 – Ciclo de vida para a colhedora de mandioca.....	60
Figura 19 – Recebimento das raízes no processamento	61
Figura 20 – Manutenção de material de cobertura no solo em áreas de pesquisa em Paranavaí - PR.....	62
Figura 21 – Demanda dos principais utilizadores da Colhedora de mandioca.....	63
Figura 22 – Esquema das partes da planilha do método de QFD.....	63
Figura 23 – Áreas de plantio de mandioca onde foram realizados os experimentos de campo.	66
Figura 24 – Fases da retirada de amostras indeformadas dos solos experimentais.....	67
Figura 25 – Fases do ensaio da análise granulométrica	68
Figura 26 – Detalhe do corpo de prova para o ensaio de cisalhamento direto	69
Figura 27 – Esquema do ensaio de cisalhamento direto.....	69
Figura 28 – Realização do ensaio de cisalhamento direto.....	70
Figura 29 – Detalhes do projeto da alavanca experimental de arranquio.....	71

Figura 30 – Modelos de alavanca construída para medição dos esforços de arranquio.	71
Figura 31 – Árvore da colheita de mandioca	72
Figura 32 – Principais gargalos da cultura identificados	73
Figura 33 – Diagrama de boxplot para a distribuição da força máxima de arranquio	81
Figura 34 - Diagrama de boxplot para a distribuição do peso das raízes.....	82
Figura 35 - Diagrama de boxplot para o número de raízes	83
Figura 36 – Esquema para a identificação da posição das raízes da planta	83
Figura 37 – Alinhamento das raízes em campo	84
Figura 38 – Projeção da área ocupada pelas raízes no solo para os dois ciclos da cultura e três variedades estudadas.....	85
Figura 39 – Principais influencias das demais operações do cultivo para a colheita de mandioca	89
Figura 40 - Fluxograma para o estudo de alternativas de colheita.....	91
Figura 41 – Esquema inicial do diagrama de massa -energia e sinal.....	92
Figura 42 - Função global da colhedora.....	93
Figura 43 – Diagrama de massa, energia e sinal para a colhedora	94
Figura 44 - Maior detalhamento do ramo principal do diagrama de funções para a colhedora	94
Figura 45 – Detalhes do sistema de extração de raízes por correias paralelas com coleta de mato.....	95
Figura 46 – Diagrama alternativo para as funções de colheita com a alteração da ordem do processo de corte das ramas.	95
Figura 47 – Diagrama alternativo para as funções de colheita com a alteração da ordem do processo de desrama das raízes.	96
Figura 48 – Diagrama alternativo para as funções de colheita com o destaque no processamento	96
Figura 49 – Matriz morfológica utilizada para a geração de variantes de solução.....	97
Figura 50 – Detalhe da matriz morfológica para os gargalos da colheita identificados	98
Figura 51 – Desenho esquemático da variante 1 de solução.....	102
Figura 52 – Desenho esquemático da variante 2 de solução.....	103
Figura 53 – Desenho esquemático da variante 3 de solução.....	104
Figura 54 – Desenho esquemático da variante 4 de solução.....	105
Figura 55 – Desenho esquemático da variante 5 de solução.....	106
Figura 56 – Desenho esquemático da variante 6 de solução.....	107

Figura 57 – Detalhe do sistema de desrama das raízes para as variantes selecionadas.....	109
Figura 58- Operações agrícolas para as variantes de solução	112
Figura 59 – Gráfico de classificação das soluções geradas	116
Figura 60 - Forças em um segmento de solo reagindo a uma lamina inclinada.....	149
Figura 61 – Relações de geometrias e velocidades para um segmento do solo reagindo a movimentação de uma lamina inclinada	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção e quantidade de raízes de mandioca processada	34
Tabela 2 – Produção de Fécula de mandioca por estados da federação	34
Tabela 3 – Destino da produção de mandioca para os estados do Paraná e São Paulo	35
Tabela 4 – Número de propriedades por faixa de área de colheita de mandioca.	37
Tabela 5 – Dados agrônômicos influentes na produção industrial.	43
Tabela 6 – Dados geométricos importante para a colheita	44
Tabela 7 – Referencias de desempenho de sistemas de colhedoras	52
Tabela 8- Principais patentes sobre colheita de mandioca	53
Tabela 9- Principais mecânismos das patentes selecionas de colhedoras de mandioca	57
Tabela 10 – As principais necessidades para a mecanização da colheita de mandioca	74
Tabela 11 – Necessidades e requisitos mensuráveis de avaliação.....	75
Tabela 12 – Diagrama de Mugde para as necessidades da colheita mecanizada	76
Tabela 13 – Matriz de correlação das necessidade e requisitos de avaliação para a colheita mecanizada	77
Tabela 14 – Avaliação de atendimento da solução semi-mecanizada padrao da cultura para as necessidades levantadas.....	79
Tabela 15 – Requisitos de avaliação em engenharia para as colhedoras de mandioca	80
Tabela 16 – Posição das raízes na planta de mandioca	84
Tabela 17 – Custos das operações de colheita semi-mecaniza para o ano de 2016.	86
Tabela 18 – Custos operacional de colheita em função do preço de aquisição do equipamento e capacidade de campo	87
Tabela 19 – Lista de especificações para a colheita mecanizada de mandioca.....	90
Tabela 20 – Triagem de variantes a serem avaliadas	108
Tabela 21 – Resumos das avaliações para os requisitos sociais definidos	110
Tabela 22 - Resumos das avaliações para os requisitos ambientais definidos	111
Tabela 23 - Resumos das avaliações para os requisitos técnicos definidos	112
Tabela 24 – Geometria da lamina e espaçamentos ajustados para as variantes de solução ...	113
Tabela 25 – Dados de rendimento teorico para as variantes de solução	114
Tabela 26 - Resumos das avaliações para os requisitos econômicos definidos	114
Tabela 27 - Resumos das avaliações para os requisitos de projeto definidos	115

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APTA	Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios
ASTM	American Society for Testing and Materials
C.V	Cavalo Vapor
CAD	Computer Aided Design
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
DERAL	Departamento de Economia Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IAC	Instituto Agrônômico de Campinas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Instituto de Economia Agrícola
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
QFD	Quality Function Deployment
SEAB	Secretaria da Agricultura e Abastecimento

LISTA DE SIMBOLOS

A_f	Área de falha do solo
C_{comb}	Custo por hora trabalhadas com combustível
$E_{sociais}$	Encargos sociais
F_{as}	Força de aceleração do solo
F_t	Força de tração na lâmina
F_v	Força vertical na lâmina
N_f	Força normal a superfície de falha
N_f	Normal a superfície de falha do solo
N_i	Normal ao plano inclinado
$P_{comb.}$	Preço do combustível
Pot_{BT}	Potencia necessária para o trabalho de campo
$S_{mínimo}$	Salário mínimo
μ	Coefficiente de atrito interno do solo
μ_{sm}	Coefficiente de atrito entre o solo e o metal
AS	Custo de alojamento e seguro
b	largura da Lâmina
C	Coesão do solo
D	Depreciação
i	Taxa de juros anual
J	Custo referente ao Juros
K	Fator de resistência ao corte puro.
ϕ	Ângulo de atrito interno do solo
P	Preço de aquisição da máquina ou implemento agrícola
P_s	Peso do solo sobre a lâmina

<i>SM</i>	Salário mensal
<i>ST</i>	Custo por hora trabalhada com Salário
<i>t</i>	tempo
<i>ta</i>	Percentagem do preço de aquisição gasto com seguro
<i>V</i>	Vida útil da maquina
β	Ângulo da superfície de falha
γ	Densidade aparente do solo com umidade.
δ	Ângulo de ataque da lâmina
<i>CF</i>	Custo fixo
<i>CL</i>	Custo por hora trabalhada de Lubrificantes
<i>CT</i>	Custo total da operação agrícola
<i>CV</i>	Custo variável por hora trabalhada
<i>RM</i>	Custo por hora trabalhada com Manutenção
<i>S</i>	Valor de sucata para a máquina
<i>d</i>	Profundidade da lâmina no solo

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	29
1.1.	Objetivo	30
1.2.	Estrutura do Trabalho	31
2.	CONTEXTUALIZAÇÃO DO SISTEMA AGROINDUSTRIAL.....	33
2.1.	Considerações finais do capítulo	38
3.	ESTADO DA ARTE SOBRE A MECANIZAÇÃO DA COLHEITA.....	41
3.1.	Características da cultura da mandioca	41
3.1.1.	Morfologia da Planta	41
3.1.2.	Colheita de mandioca	45
3.1.3.	Operações agrícolas da cultura.....	45
3.2.	Mecanização na colheita de mandioca.....	48
3.2.1.	Os afofadores ou lâminas afofadoras.	48
3.2.2.	As arrancadoras de mandioca.....	49
3.2.3.	Desempenho operacional de afofadores e arrancadoras.....	50
3.2.4.	Protótipos e patentes de Colhedoras de mandioca.	52
4.	LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES SOBRE A COLHEITA.....	59
4.1.	Metodologia para a identificação dos gargalos da cultura e parâmetros de avaliação da colheita	59
4.1.1.	Demandas para a colhedora de mandioca.	60
4.1.2.	Definição de parâmetros de avaliação para a colhedora.	63
4.2.	Metodologia para o levantamento de característica da colheita.....	65
4.2.1.	Determinação das propriedades do solo experimental.	66
4.2.2.	Análise granulométrica.....	67
4.2.3.	Ensaio de Cisalhamento direto	68
4.2.4.	Medição dos esforços de extração das raízes.....	70

4.3.	Resultados para a identificação dos gargalos da cultura e parâmetros de avaliação da colheita.....	72
4.3.1.	Identificação dos gargalos da cultura.....	72
4.3.2.	Parâmetros de avaliação para a colhedora.	74
4.4.	Resultados para o levantamento de característica da colheita	80
4.4.1.	Medição das forças de extração e peso das raízes.	80
4.4.2.	Geometria das raízes na planta de mandioca	82
4.5.	Relação entre o desempenho e o custo da colhedora.....	85
4.6.	Considerações finais e especificações para a colhedora.	87
5.	ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA A COLHEITA DE MANDIOCA.....	91
5.1.	Abstração do processo e identificação do problema principal	91
5.2.	Metodologia da síntese funcional para a geração de alternativas para a colheita.....	92
5.3.	Resultados da síntese funcional para o processo de colheita.....	93
5.4.	Resultados para a geração de variantes de solução para colheita mecanizada.	97
5.4.1.	Triagem de variantes de solução.....	108
5.5.	Resultados da avaliação de variantes de solução	108
5.5.1.	Requisitos Sociais	108
5.5.2.	Requisitos Ambientais	110
5.5.3.	Requisitos técnicos.	111
5.5.4.	Requisitos Econômicos.....	112
5.6.	Síntese da avaliação de variantes	115
6.	CONCLUSÃO	117
6.1.	Sugestões para trabalhos futuros.....	118
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
	GLOSSÁRIO	127
	APÊNDICE A –Dados estatísticos experimentais de extração de raízes.	129
	APÊNDICE B – Matriz de contradições dos requisitos de avaliações de soluções.	131

APÊNDICE C – Resultados do Ensaio de cisalhamento direto para os solos experimentais.	133
APÊNDICE D – Resultados das Análises Granulométricas para os solos experimentais.	147
APÊNDICE E– Cálculo da força de tração de uma lâmina inclinada no solo.	149
APÊNDICE F – Cálculo do custo horário de operação de máquinas agrícolas.	153
ANEXO A - Produção de mandioca por regiões nos Estados de Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo.....	155
ANEXO B - Custo de Produção de mandioca industrial para a o Estados do Paraná	156

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o quarto maior produtor de mandioca no mundo (21,48 milhões de toneladas), ficando atrás da Nigéria (47,41 milhões), Tailândia (30,23 milhões) e Indonésia (23,94 milhões) (FAO, 2013). No Brasil, a cultura é a quinta maior cultura em produção (22,76 milhões de toneladas), com referência a safra de 2015, perdendo para a cana de açúcar (750,11 milhões de toneladas), cereais, leguminosas e oleaginosas (209,40 milhões de toneladas), soja (97,18 milhões de toneladas) e o milho (85,51 milhões de toneladas) (IBGE, 2016).

A cadeia agroindustrial da cultura fornece produtos para a alimentação humana e animal, servindo para o produtor, como produto de segurança alimentar, por sua rusticidade e tolerância às intemperes. A cultura também fornece matéria prima para várias indústrias, como a de cosméticos, celulose e até mesmo de produtos substitutos do petróleo, como plásticos biodegradáveis e combustíveis renováveis. No ano de 2015 foram processados 2,05 milhões de toneladas de raízes pelas fecularias, entretanto, esse valor somente correspondeu a 10% da produção nacional de raízes de mandioca (CEPEA, 2016). Segundo Felipe (2015) e CEPEA (2016), a maior parte da produção de fécula se localiza em três estados: Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul, respondendo com mais de 90% da produção de fécula.

O processamento das raízes para a indústria exigiu a adoção de novos sistemas de manejo mais adequados aos tratos culturais do solo, plantio mecanizado, espaçamentos dimensionados de forma a facilitar as operações de colheita, variedades adaptadas e mais produtivas para a redução dos custos de produção, entretanto, este ainda encontra entraves para sua expansão.

Nas pesquisas com produtores realizadas por Riedner (2014) e Goebel (2005) a maioria das regiões produtoras do Paraná são compostas de unidades familiares e a maior contratação de mão de obra são para as atividades de capina e colheita, o que se torna um problema de custo e disponibilidade. A forma de colheita manual é bastante onerosa em todo o seu processo chegando a por exemplo em 2013 acima de 30% do custo total da produção (AGBETOYE, 1999; YULAN et al., 2012; AGRIANUAL, 2014) e só a contratação de mão de obra pode chegar a índices de 15%, que se torna cada vez mais escasso no meio rural (SCALON FILHO; ALVES SOBRINHO; DE SOUZA, 2005). As operações no campo de colheita fazem com que os trabalhadores rurais devam puxar as raízes do solo em posições desconfortáveis e o incômodo neste processo é tão grande, que há relatos de trabalhadores recusarem o trabalho em áreas produtoras, onde não há a operação mecânica para facilitar o processo de retirada das raízes (SCALON FILHO; ALVES SOBRINHO; DE SOUZA, 2005).

Em 2013 Araújo, da Silva e Dionizio (2013) comprovou a carência da disponibilidade de máquinas no mercado para a colheita da cultura e constatou que as maiores quantidades disponíveis no mercado são de plantadoras, afadoras e roçadoras. Nos estudos realizados por Scalon filho, Alves Sobrinho e de Souza (2005), Carvalho (2009) e Amponsah et al. (2014), para os sistemas mecânicos alternativos ao manual de extração de raízes, comprovaram avanços para a redução de esforços. Entretanto, os presentes sistemas não resolvem a mecanização da colheita como um todo, ficando muitas etapas ainda dependentes da mão de obra de agricultores, comprovando a necessidade de continuidade de pesquisas.

Por essas razões, infere-se que o processo de colheita não está totalmente compreendido e ainda existem etapas, ou até mesmo modificações no processo a serem estudadas para a promoção de ganhos em mecanização. Outro ponto, apesar da avaliação de mecanismos que comprovam a redução de esforços do trabalhador, estes podem não estarem amplamente empregados por desconhecimento ou falta de ajustes as condições dos produtores. Com isso, os possíveis benefícios da pesquisa são contribuir para mostrar alternativas de redução de atividades manuais de grande esforço, aumentar o rendimento de colheita e assim reduzir os custos de produção. Adiciona-se a possibilidade de estimular a indústria de máquinas e implementos a produzir conhecimento que modifique o estado da arte e reduza as restrições na interação da indústria de processamento e o setor produtivo.

1.1. Objetivo

O objetivo do presente trabalho foi estudar o processo de colheita de mandioca empregado na produção industrial de farinha e fécula, para a identificação de pontos de melhorias em mecanização e a proposição de alternativas de soluções mecânicas para as atividades de grande esforço manual, repetitivo e de grande custo.

Objetivos específicos:

Descrever sob a perspectiva de engenharia como é feita a colheita de mandioca e definir quais as condições a serem atendidas pelo cultivo.

Identificar quais são os fatores críticos que levam as oportunidades para a mecanização necessária a colheita, sobre a atual semi-mecanizada e levantar as razões para a não existência de um processo de colheita plenamente mecanizado.

Propor meios de avaliação de alternativas para a solução da colheita mecanizada, com base nas metodologias como o QFD (Quality Function Deployment), para o atendimento do setor produtivo.

Pesquisar formas alternativas para o processo de colheita que promovam incrementos em mecanização.

1.2. Estrutura do Trabalho

A pesquisa se baseou na metodologia de projeto sistemático em engenharia, que englobará as fases de projeto informacional e conceitual na busca para alternativas e oportunidades para a colheita. Assim, uma breve descrição dos assuntos abordados nos capítulos será dada a seguir.

Capítulo 2 – CONTEXTUALIZAÇÃO DO SISTEMA AGROINDUSTRIAL, neste capítulo se caracterizou a cadeia agroindustrial da cultura e identificou-se qual o público alvo a ser atendido pela pesquisa.

Capítulo 3 - ESTADO DA ARTE SOBRE A MECANIZAÇÃO DA COLHEITA, o capítulo fez o levantamento no que diz respeito a planta, morfologia, principais variedades e informações técnicas das raízes. Além disso, descreve as etapas para a realização da colheita, as operações agrícolas normalmente empregadas, o emprego de mecanização encontrados na bibliografia e patentes.

Capítulo 4 – LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES SOBRE A COLHEITA, em complementação ao capítulo anterior, este capítulo faz parte do projeto informacional, que contou com a realização de visitas em áreas produtoras e de processamento, para o levantamento de demandas e gargalos da colheita. Também foram realizados ensaios de campo para estabelecer as condições de contorno da colheita. O capítulo resultou na proposição de requisitos de avaliação de colhedoras e uma lista de especificações para a mecanização.

Capítulos 5 – ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA A COLHEITA DE MANDIOCA, faz parte do projeto conceitual e resultará na prospecção e classificação de variantes para a solução da colheita mecanizada de mandioca.

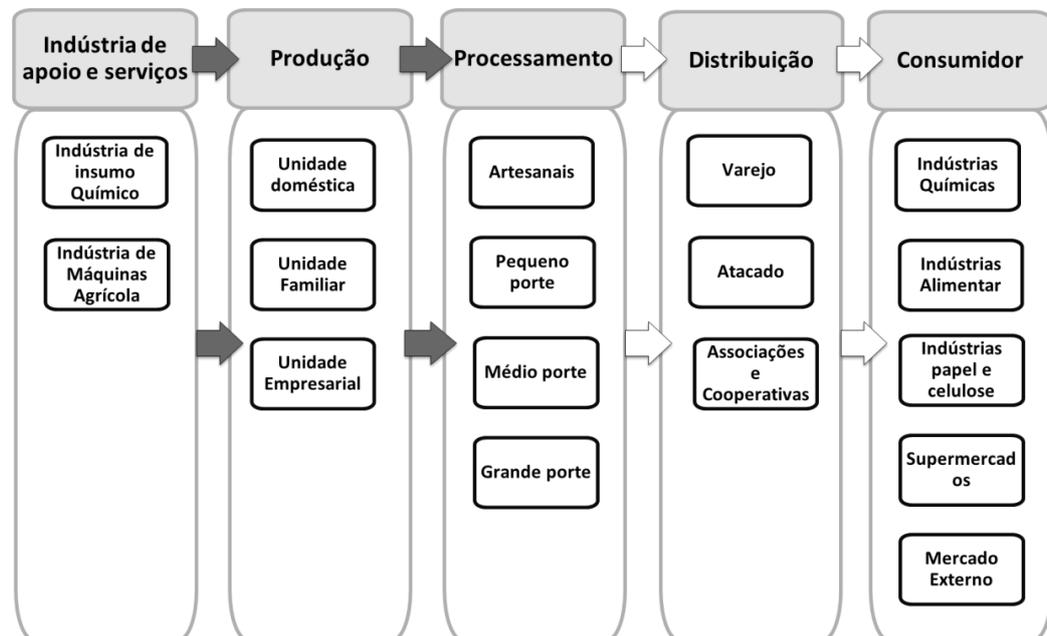
Capítulo 6 – CONCLUSÃO – Exprime as principais contribuições da pesquisa, além de sugerir temas para trabalhos futuros.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO SISTEMA AGROINDUSTRIAL.

A cadeia agroindustrial da mandioca é dividida em cinco agentes principais, são estes: as indústrias de apoio e serviços como insumos, embalagens, maquinas e implementos agrícolas; o setor de produção, caracterizado pelas áreas de produção de raízes; o de processamento, caracterizado pela indústria de fécula e farinhas; o setor de distribuição, caracterizado pelo comercio no varejo, atacado e Cooperativas e por último o setor consumidor, caracterizado pelas indústrias químicas, alimentar, papel e celulose e para supermercados (ALVES, 2012).

A Figura 1 mostra um fluxograma da cadeia, a presente pesquisa do estudo da colheita se relaciona com os setores de indústrias de maquinas e implementos, o setor produtivo e o de processamento, demarcados na Figura 1 com as setas em cinza escuras.

Figura 1 – Fluxograma da cadeia agroindustrial da mandioca



Fonte: Adaptado de Alves (2012)

Comparando-se a produção nacional da quantidade de mandioca destinada ao processamento das raízes (Tabela 1), nota-se que, para os três anos selecionados, somente uma pequena porcentagem, de 10% da produção nacional, foi destinada ao processamento para a obtenção de produtos como farinha e fécula.

Tabela 1 – Produção e quantidade de raízes de mandioca processada

Safra	2013	2014	2015
Área colhida (milhões de ha)	1,53	1,57	1,49
Quantidade produzida (milhões de ton.)	21,48	23,24	22,76
Rendimento (t/ha)	14,08	14,83	15,23
Mandioca processada (milhões de ton.)	1,94	2,33	2,05
Porcentagem da mandioca processada	9%	10%	9%

Fonte: Adaptado de CEPEA (2016).

Entretanto, separam-se os agricultores que produzem a mandioca industrial, dos produtores que a utilizam para a subsistência e o mercado de mesa, pois seu nível de mecanização e capacidade de aquisição de novos implementos e o rendimento da colheita são distintos. Nesse sentido, a produção de amido para fécula, nos anos de 2011 a 2013 ficaram concentradas em poucos estados, principalmente nos estados do Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo, que correspondem a mais de 90% do total de fécula produzida (FELIPE, 2015).

Tabela 2 – Produção de Fécula de mandioca por estados da federação

Estados	2011		2012		2013	
	Produção (mil ton.)	%	Produção (mil ton.)	%	Produção (mil ton.)	%
Paraná	365,99	70,5%	365,12	71,5%	333,36	70,1%
Mato Grosso do Sul	88,36	17,0%	88,25	17,3%	94,74	19,9%
São Paulo	55,38	10,7%	48,03	9,4%	40,44	8,5%
Bahia	0,80	0,2%	1,30	0,3%	1,60	0,3%
Pará	1,65	0,3%	3,00	0,6%	1,50	0,3%
Santa Catarina	6,80	1,3%	4,76	0,9%	3,60	0,8%
Total	518,98	100,0%	510,45	100,0%	475,24	100,0%

Fonte: Adaptado de Felipe (2015).

Em relação ao destino da produção para os estados do Paraná e São Paulo para os anos de 2013 e 2014, comprova-se que a maior parte da produção se destina a indústria, resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Destino da produção de mandioca para os estados do Paraná e São Paulo

Safra	Estado	Destino	Indústria	%	mesa	%
2013	São Paulo	Área (mil ha)	35,21	75%	11,94	25%
		Produção (mil ton.)	967,37	83%	203,37	17%
	Paraná	Área (mil ha)	166,74	93%	12,07	7%
		Produção (mil ton.)	3719,50	94%	229,10	6%
2014	São Paulo	Área (mil ha)	36,53	74%	12,65	26%
		Produção (mil ton.)	969,39	82%	211,20	18%
	Paraná	Área (mil ha)	189,59	94%	13,04	6%
		Produção (mil ton.)	3758,68	94%	257,80	6%

Fonte : Adaptado de IEA - SP e SEAB – DERAL- PR

Dentro dos estados, ainda existe uma diferenciação quanto à localização das áreas de produção, como está ilustrado no Anexo A (IBGE 2016). Diante do apresentado, as principais regiões são Oeste e Noroeste do Paraná, Oeste de São Paulo e Sul de Mato Grosso do Sul. Também com a localização identifica-se características do solo, como Latossolo de texturas mais arenosas na grande parte dos estados do Paraná e Mato Grosso do Sul, apesar da presença de Argisolos e Nitossolo para os estados de São Paulo e Paraná respectivamente (Figura 2).

Figura 2 – Tipos de solos encontrados para a mandioca

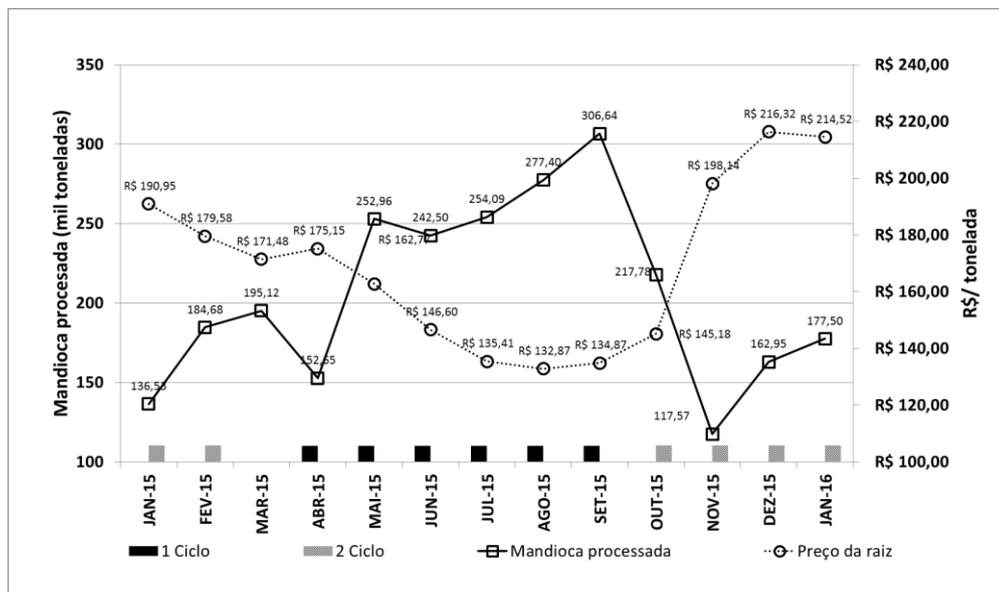


Fonte: Adaptado de IBGE (2017)

Com base nos dados de processamento de raízes de mandioca pela indústria e o preço das raízes para o ano de 2016 (CEPEA, 2016) a Figura 3, mostra os períodos normalmente

empregados para a colheita de mandioca no primeiro ciclo (12 meses) e no segundo ciclo (18 meses) (FARIAS et al., 2006). Esta exibe uma maior disponibilidade de raízes para o primeiro ciclo, o que acreditasse influenciar os preços pagos pelas raízes. Dessa forma, a colheita no segundo ciclo pode favorecer a regulação dos preços pagos às raízes e a diminuição da incerteza de produção pelas indústrias.

Figura 3 - Mandioca processada pela indústria de féculas e valor pago as raízes.



Fonte: Adaptado de CEPEA (2016)

Com a caracterização da cadeia e a delimitação das principais regiões de interesse, buscou-se determinar o público alvo para o equipamento. Assim, uma das variáveis de grande influência será o tamanho da área de colheita, principalmente influenciando o porte do implemento. Assim, com base nos dados do Censo agropecuário (IBGE, 2006) a Tabela 4 mostra a ocorrência de áreas de colheita de mandioca para os três estados, principais produtores de mandioca para a indústria (São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul). Também foram calculadas as áreas representativas de cada tamanho de propriedade, sendo proporcional a produção total de raízes para cada tamanho de propriedade. As últimas duas colunas da tabela representam a soma das ocorrências de cada tamanho de propriedade e também a área total.

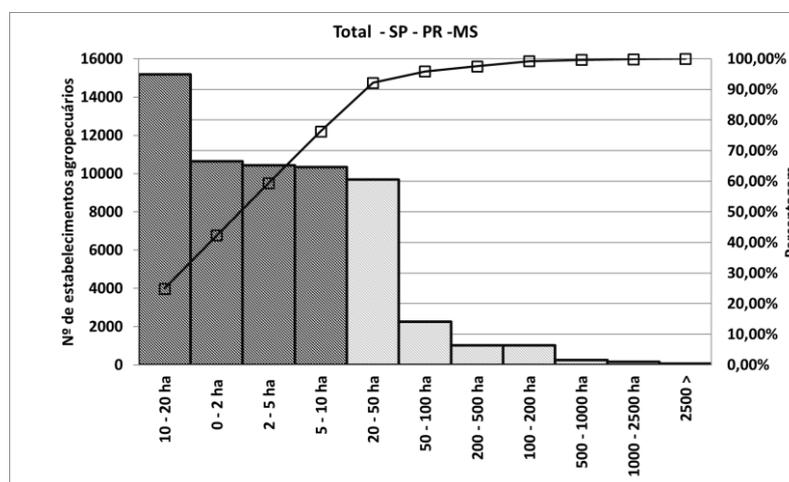
Tabela 4 – Número de propriedades por faixa de área de colheita de mandioca.

Áreas (ha)	São Paulo		Paraná		Mato Grosso do Sul		Total para SP - PR - MS	
	Propriedades	Área (ha)	Propriedades	Área (ha)	Propriedades	Área (ha)	Propriedades	Área (ha)
0 - 2	1.829	1.421,8	8.280	6.707,9	533,0	638	10.642	8.767,4
2 - 5	1.555	5.404,5	7.965	28.037,5	914,0	3.271	10.434	36.713,0
5 - 10	1.506	11.295,0	8.039	60.292,5	789,0	5.918	10.334	77.505,0
10 - 20	2.176	32.640,0	11.248	168.720,0	1.770,0	26.550	15.194	227.910,0
20 - 50	1.340	46.900,0	6.503	227.605,0	1.833,0	64.155	9.676	338.660,0
50 - 100	415	31.125,0	1.506	112.950,0	346,0	25.950	2.267	170.025,0
100 - 200	193	28.950,0	562	84.300,0	264,0	39.600	1.019	152.850,0
200 - 500	126	44.100,0	630	220.500,0	265,0	92.750	1.021	357.350,0
500 - 1000	32	24.000,0	79	59.250,0	152,0	114.000	263	197.250,0
1000 - 2500	12	21.000,0	25	43.750,0	118,0	206.500	155	271.250,0
2500 >	5	12.500,0	6	15.000,0	61,0	152.500	72	180.000,0

Fonte: adaptado de IBGE (2006).

Com a tabela foi elaborado um diagrama de Pareto para a ocorrência do número de estabelecimentos conforme o tamanho da área de colheita de mandioca (Figura 4). Dessa forma, 74,72% das propriedades estão entre a faixa de 20 até 50, de 10 até 20, de 2 até 5 e de 5 até 10 hectares. A região está demarcada em cinza mais escuro no diagrama. Portanto, esses tamanhos deveram ser priorizados para a escolha do público alvo do equipamento. Existe uma diferenciação da ocorrência dos tamanhos de áreas entres os estados, deixando o Mato Grosso do Sul com maiores ocorrências de áreas maiores que São Paulo e Paraná.

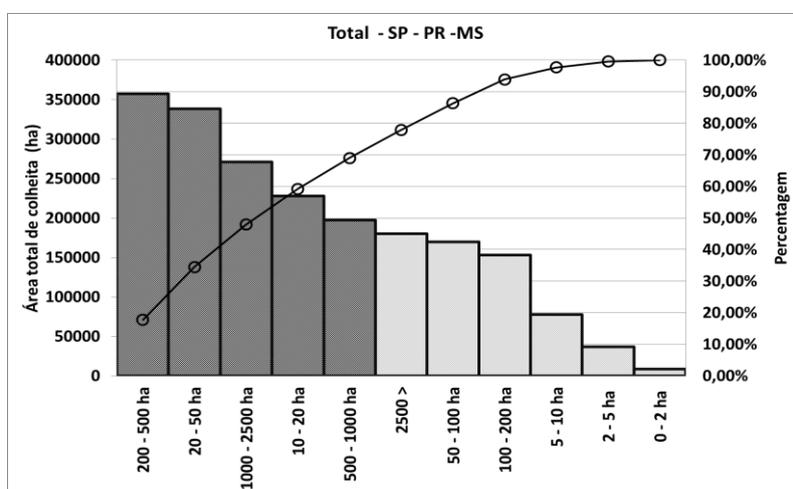
Figura 4 - Diagrama de Pareto para o número estabelecimentos por tamanho de área.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em relação a representatividade da área total da colheita por tamanho de propriedade pode ser visualizado no diagrama de Pareto da Figura 5. Neste foi possível verificar que 66,98% da área total utilizada para a colheita de mandioca esta dispostas em propriedades de 200 a 500, de 20 a 50, de 1000 a 2500, 10 a 20 e de 500 a 1000 hectares. Os tamanhos de propriedades mencionadas estão demarcados em cinza mais escuro na Figura 5.

Figura 5 - Diagrama de Pareto para a área total de colheita de mandioca por tamanho de propriedade.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Com base nos diagramas e na hipótese de que o equipamento projetado para um produtor com menor capacidade de investimento, pode atender produtores maiores, sem lhe acarretar prejuízos financeiros. Selecionou-se o público alvo, os produtores de área de 10 a 20 hectares, como premissa de projeto, visando atender 66,98% da área total utilizada para a colheita de mandioca nos estados selecionados (área demarcada em cinza na Figura 5).

2.1. Considerações finais do capítulo

Neste capítulo foram definidas as características do público alvo, que deverá ser os produtores dos estados do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul. Além disso, o tipo de solo mais frequente para a região delimitada são os Latossolos de características arenosas. Por

último, foi possível definir um tamanho de área, de 10 a 20 hectares, como condições de contorno para o equipamento.

3. ESTADO DA ARTE SOBRE A MECANIZAÇÃO DA COLHEITA.

O presente capítulo se divide em duas partes. A primeira pretende esclarecer as características do cultivo como: morfologia da planta, como é colhida a mandioca e as operações agrícolas normalmente empregadas. A segunda parte verifica no estado da arte, como estão sendo estudados a mecanização da colheita na revisão da bibliografia e patentes.

3.1. Características da cultura da mandioca

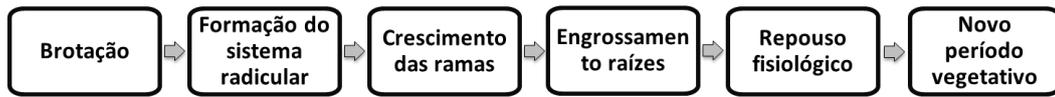
3.1.1. Morfologia da Planta

A formação da planta no campo inicia-se com o plantio das manivas, parte das ramas aéreas de plantas de cultivos anteriores, dispostas horizontalmente no solo. Com isso, as plantas iniciam seu desenvolvimento com o crescimento de raízes adventícias a partir de uma das extremidades denominada calo cicatricial, e também de algumas gemas do corpo da maniva. O número de raízes é determinado nos dois primeiros meses do início do seu crescimento (FIGUEIREDO, 2012).

As ramas da parte área das plantas iniciam seu crescimento a partir das gemas da maniva de plantio. Após a formação das raízes e da parte aérea da planta, parte das raízes se diferencia pelo acúmulo de amido. O crescimento em comprimento das raízes cessa com o início do crescimento em diâmetro das mesmas. O diâmetro das raízes não para de crescer até o período de repouso fisiológico e é retomado após o fim deste. As manivas, com o crescimento da planta, são compostas de material lenhoso de maior diâmetro e passam a ser denominas cepas e são descartadas na colheita (VEIGA, 2012).

Nos meses mais frios e secos do ano, a planta perde as folhas e diminui o crescimento vegetativo, caracterizando assim, o fim do primeiro ciclo vegetativo. (AGUIAR, 2011). A poda das ramas ocorre normalmente nesse período (VALLE; LORENZI, 2014). O novo período vegetativo coincide com o aumento das temperaturas e umidade, e o retorno do crescimento quando a mandioca é cultivada em dois ciclos (AGUIAR, 2011). A Figura 6 resume as etapas de crescimento da planta de mandica

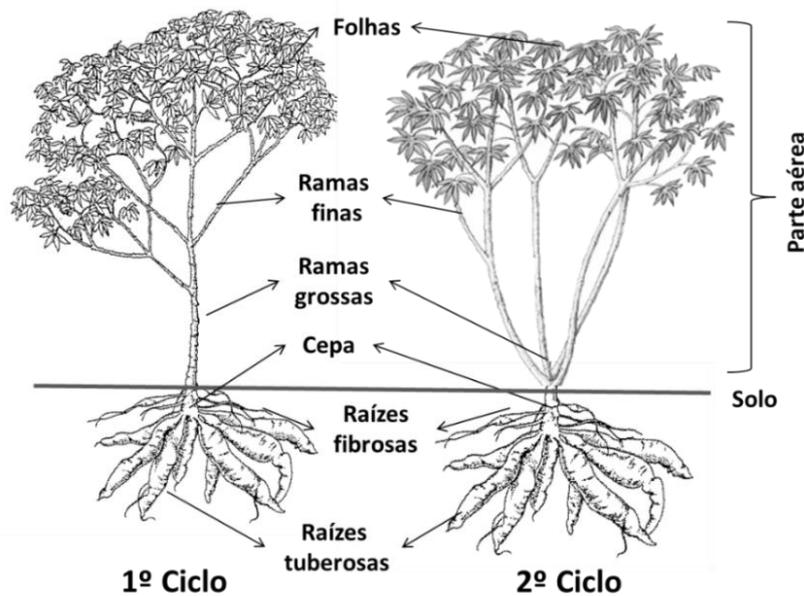
Figura 6 - Etapas do crescimento das plantas de mandioca



Fonte: Adaptado de Figueiredo (2012).

Entretanto para cada variedade de mandioca irão existir diferenciações das características botânicas e agrônômicas que as diferenciaram quanto às raízes, ramas, cepa, flores e folhas. Fatores como a poda e insolação podem também afetar as características da arquitetura da planta (LORENZI, 2012), como mostra a Figura 7. Assim, Fukuda e Guevara (1998) tentaram padronizar os descritores morfológicos e agrônômicos para a cultura da mandioca através da classificação de 75 descritores.

Figura 7 - Diagrama da planta de mandioca para o primeiro e segundo ciclo



Fonte: Adaptado de Figueiredo (2014).

Alguns descritores podem favorecer as operações de processamento industrial como as raízes que possuam a polpa (núcleo interno) e a película de entre casca (camada cortical) e a casca externa (película suberosa) com a coloração clara. A menor rugosidade da casca pode favorecer a extração destas com menores arrasto de solo. (LORENZI, 2012; CARDOSO, 2003).

Em continuidade aos descritores de variedades a Tabela 5, resume as variáveis mais importantes para o desempenho da colheita aos agricultores, como por exemplo, a quantidade de raízes produzidas e a quantidade de material aéreo produzidos por hectare (esta influência na previsão da produção de manivas e na alimentação animal). A matéria seca refere-se à porcentagem de material vegetal sem a presença da massa de água das raízes, importante para o alto rendimento industrial (VALLE; LORENZI, 2014). A determinação da matéria seca por tonelada de raízes é utilizada para a mensuração do teor de amido e mensuração do valor pago pelas fecularias aos produtores, pelas raízes através de medições em balanças hidrostáticas (CARDOSO, 2003).

Tabela 5 – Dados agrônômicos influentes na produção industrial.

Autor	Local	Variedades	Altura de plantas (m)	Parte aérea (t/ha)	Cepa (t/ha)	Raízes (t/ha)	Matéria seca (%)	Amido (%)
Vidigal Filho (2000)	Araruna PR	IAC 12	1,81	17,48	-	19,73	35,67	-
		IAC 13	2,03	18,44	-	17,83	35,80	-
		IAC 14	2,58	26,29	-	21,67	36,57	-
		Fécula Branca	1,69	12,05	-	29,23	36,40	-
		Espeto	1,48	9,03	-	22,07	33,13	-
		Branca de SC.	2,08	18,08	-	14,83	33,90	-
		Fibra	1,40	12,24	-	22,33	34,73	-
		Verdinha	1,45	8,64	-	21,27	32,97	-
		Mico	1,94	19,74	-	24,07	34,60	-
Kvistschal (2003)	Araruna PR	Branca de SC.	2,13	23,39	-	24,02	36,81	-
		IAC 12	1,87	18,71	-	28,96	35,35	-
		Fibra	1,26	10,44	-	27,20	35,35	-
		IAC 9-90	1,87	19,90	-	29,16	35,77	-
		IAC 39-90	1,82	16,10	-	27,50	36,52	-
		IAC 46-90	1,66	13,70	-	32,25	35,30	-
Ramos Junior (2009)	Capão Bonito SP	IAC 12	2,07	19,00	-	54,88	-	-
		IAC 13	2,32	14,88	-	48,25	-	-
		IAC 14	2,72	19,75	-	50,75	-	-
		IAC 15	1,45	7,88	-	30,63	-	-
		IAC 90	1,66	7,75	-	34,25	-	-
		CI IAC 118	2,16	16,38	-	43,75	-	-
		IAC 576-70	1,89	14,13	-	45,25	-	-
		Cascuda	1,71	6,75	-	27,00	-	-
		Fécula Branca	1,53	8,50	-	42,13	-	-
		Caapora	2,41	18,00	-	41,63	-	-
Otsubo (2007)	Dourados MS	Olho Junto	1,55	8,30	3,55	23,75	30,2	25,5
		Fitinha Brava	1,86	10,66	7,75	40,98	23,1	18,45
		IAC 13	2,65	23,61	9,84	36,67	28,5	23,88
		Fécula Branca	2,07	15,31	9,62	63,71	27,8	23,18
		IAC 14	2,60	28,19	8,57	55,36	31,0	26,34
		IAC 15	1,93	20,79	10,33	58,19	27,7	23,05
		Branca de SC	2,38	23,31	11,27	47,34	26,6	21,97
Otsubo (2009)	São Gabriel do Oeste MS	IAC 12	1,94	28,65	10,30	54,52	-	25,79
		IAC 13	2,02	29,80	10,48	48,02	-	26,61
		IAC 14	2,96	39,07	9,52	48,80	-	25,33
		IAC 15	2,24	40,06	12,64	46,97	-	22,85
		IAC 576	2,18	28,13	9,78	36,18	-	20,68
		Espeto	1,68	20,73	6,048	37,54	-	20,73
		Fécula Branca	1,65	12,68	6,57	47,37	-	21,58
Fibra	1,74	12,53	8,79	46,94	-	23,18		

Fonte: Adaptado de Otsubo et al. (2007, 2009), Ramos Junior et al. (2009), Kvistschal et al. (2003) e Vidigal Filho et al. (2000).

Foi interessante notar que as avaliações e seleção das variedades de mandioca estão ligadas a produtividade das raízes, resistência a doenças como a podridão, mas ainda falta informações de sua adaptabilidade a operações mecânicas, como a sua geometria se altera para as diferentes variedades, como as colhedoras devem se ajustar para as diferentes variedades e quais seriam descritores geométricos que podem favorecer a mecanização.

Para a mecanização os descritores como: formato das raízes, diâmetro do caule, diâmetro das raízes, posição das raízes, comprimento das raízes, número de raízes por plantas, ângulos de ramificações, entre outros, devem ser priorizados para o correto ajuste dos implementos na sua interação no campo, bem como indicar quais variedades são mais adequadas aos sistemas mecânicos de colheita. A Tabela 6 resume alguns descritores encontrados na pesquisa.

Tabela 6 – Dados geométricos importante para a colheita

Autor	Variedade	Diâmetro do caule (mm)	Diâmetro das raízes (mm)	Comprimento das raízes (mm)
	Branca de SC,	21,7	38,8	299,4
	IAC 12	27,0	44,4	352,5
	Fibra	24,3	45,2	316,7
Kvistschal (2003)	IAC 9-90	23,4	43,2	313,2
	IAC 39-90	23,8	43,6	315,8
	IAC 46-90	22,8	46,5	310,7
	IAC 62-90	24,3	43,1	305,9
	IAC 12	-	64,6	348,5
	IAC 13	-	61,7	330
	IAC 14	-	61,4	353,3
	IAC 15	-	52,5	290
Ramos Junior (2009)	IAC 90	-	57,5	318,8
	CIIAC 118	-	66,6	315,3
	IAC 576-70	-	49,8	364
	Cascuda	-	60,3	331,8
	Fécula Branca	-	60,5	342,3
	Caapora	-	64,4	347,5

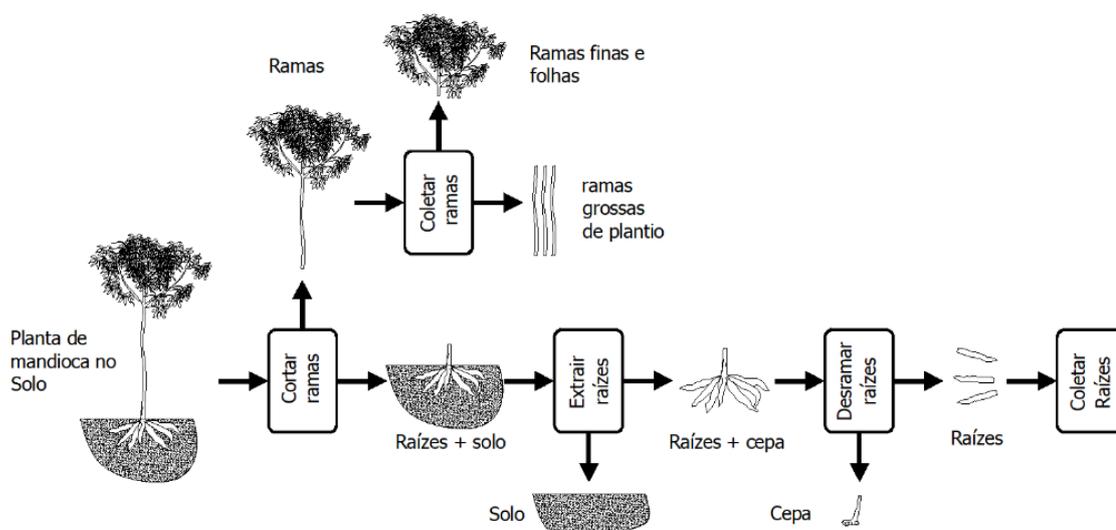
Fonte: Ramos Junior et al. (2009), Kvistschal et al. (2003)

Em relação a utilização de variedades pela indústria, Gamiero et al., (2003) obteve que a variedade Fécula branca foi a mais utilizada, respondendo a 31% do total. Na sequência apareceram as variedades: Fibra (21%), Esperto (17%), Olho junto (11%) e Mico (7%).

3.1.2. Colheita de mandioca

Para a realização da colheita, primeiramente toda a parte aérea da planta deve ser retirada, então a primeira operação a ser feita é o corte e a coleta das ramas, para serem utilizadas como manivas. Após o corte das ramas é necessário à extração das raízes do solo, onde as raízes devem primeiro se desprender solo para serem extraídas e em seguida serem separadas do solo remanescente. A próxima operação é a desrama ou destaque das raízes da porção inferior da rama, denominada cepa, onde é necessário localizar a região de limite entre a cepa e as raízes para a realização do corte, e por último a operação de coleta das raízes (AGBETOYE, 1999; LORENZI, 2012; FARIAS et al., 2006). A Figura 8 resume as operações necessárias para a colheita.

Figura 8 – Esquema de como deve ser feita a colheita de mandioca

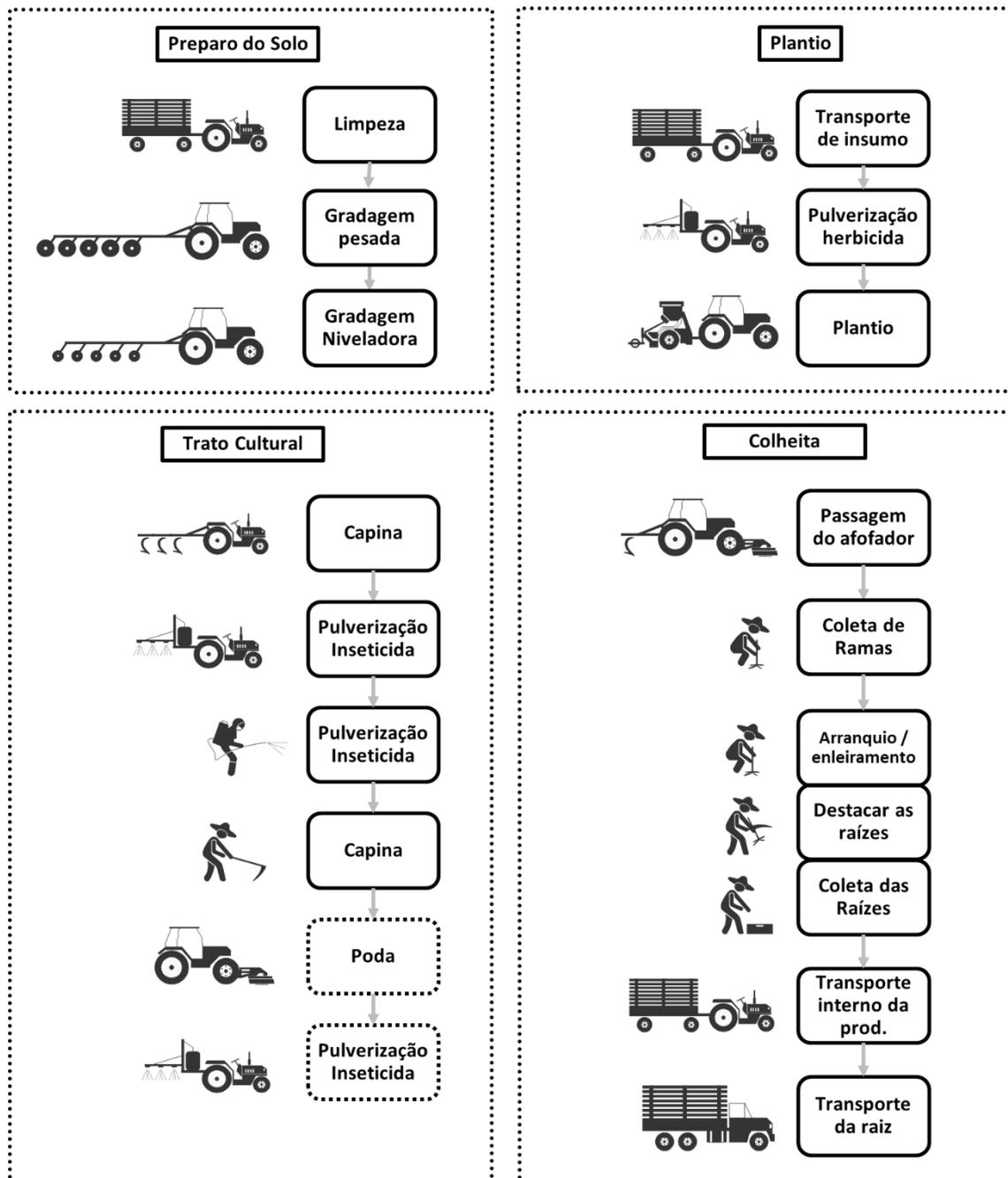


Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1.3. Operações agrícolas da cultura

Para a realização do cultivo da mandioca são necessárias quatro fases; o preparo do solo, o plantio, os tratos culturais e a colheita. A Figura 9, resume todas as operações agrícolas para as quatro fases da colheita.

Figura 9 - Operações agrícolas para o preparo do cultivo de mandioca industrial.



Fonte: Adaptado de Lorenzi (2012) e Farias et al. (2006).

As operações de preparo, normalmente envolve a limpeza inicial do terreno, o revolvimento superficial do solo para a implantação da cultura, onde o solo deve prover condições de desenvolvimento e germinação das plantas. As operações normalmente empregadas no preparo periódico são: a gradagem pesada com o uso de arados de discos onde o solo é cortado em fatias pelos discos e possui sua camada superficial invertida. Em seguida,

para complementar o serviço de preparo, são utilizadas grades de arados, que objetivam nivelar a camadas superficiais e desagregar torrões de terras presentes (BALASTREIRE, 1990).

A próxima fase é o plantio semi-mecanizado normalmente empregado. Este exige as operações de transporte do material de plantio, denominado de manivas, que serão carregadas na plantadeira de duas ou quatro linhas semiautomática. Porém antes da operação de plantio, pode haver a necessidade da aplicação de herbicidas para controle de mato. A primeira ação da plantadora será a abertura do sulco, onde serão depositados os fertilizantes de correção das propriedades químicas do solo e posterior deposição das manivas. As manivas, são alimentadas por agricultores no implemento de plantio, que serão cortadas no tamanho ajustado de 14 a 20 cm e despejadas horizontalmente no sulco a uma profundidade de 10 cm abaixo do nível do solo. (FARIAS et al., 2006). Após o depósito do fertilizante e das manivas, o implemento executa a mobilização da camada superior do solo, através de discos para a cobertura das manivas. Por último, o implemento passa uma roda de compactação para promover maior contato entre as manivas e o solo, favorecendo assim, as trocas de nutrientes e água (BALASTREIRE, 1990).

Durante o período entre o plantio e a colheita é necessário o controle de pragas, como os mandorovás, podridão radiculares (causadas por fungos) e o mato, que caracterizam a fase de tratos culturais (LORENZI, 2012). Para isso, são necessárias aplicações de inseticida e as atividades de capina, seja com o uso de cultivadores quando as ramas ainda estão de pequeno porte, ou enxadas manuais para as fases avançadas do desenvolvimento das ramas. Os implementos denominados cultivadores também possuem a função de promover maior absorção de água entre as linhas de plantio (LORENZI, 2012). Próximo ao décimo segundo mês do plantio, marca-se o fim do primeiro ciclo vegetativo com a realização de uma poda das ramas para facilitar a manutenção, o controle do mato e a coleta das ramas.

A última fase da cultura é a colheita semi-mecanizada, que se inicia com a poda das ramas aéreas e a desagregação do solo perto das raízes, para promover a soltura destas do solo (LORENZI, 2012; FARIAS et al., 2006). Após a poda, agricultores realizam a extração das raízes, também chamado de arranquio. Após a extração, as várias linhas de raízes são colocadas sob o solo juntas numa única linha. O destaque das raízes é feito com o uso de facões e as raízes são coletadas em caixas, balaios e “BAGs” (LORENZI, 2012; FARIAS et al., 2006). As últimas operações da colheita são: o carregamento de carretas para o escoamento da produção e o transporte das raízes até as empresas de processamento.

3.2. Mecanização na colheita de mandioca.

A presente seção visa esclarecer como a indústria de máquinas agrícolas e a pesquisa científica estão buscando soluções para a colheita de mandioca. Buscou-se sintetizar os principais implementos, protótipos e patentes existentes. Foram encontradas três classes diferentes para as máquinas de colheita de mandioca que são: os afofadores, as arrancadoras e os protótipos de colhedoras de mandioca.

3.2.1. Os afofadores ou lâminas afofadoras.

São implementos padrões para a cultura e o objetivo do implemento é promover uma desagregação do solo e soltura das raízes. São estruturas montadas no sistema de três pontos do trator e possuem uma ou duas lâminas dependendo do número de linhas de plantio Figura 10 A lamina passa abaixo das raízes a uma profundidade de 30 a 40 cm sob o solo, promovendo a movimentação da camada superficial e soltando as raízes (CARVALHO, 2009; SCALON FILHO; ALVES SOBRINHO; DE SOUZA, 2005). Dessa forma, o processo de colheita exige a operação de poda e as demais operações são feitas de forma manual.

Figura 10 – Modelo de Lamina Afofadora



Fonte: Arquivo pessoal (2016).

3.2.2. As arrancadoras de mandioca.

São implementos que executam a extração da mandioca do solo, além da soltura das raízes executadas pelas laminas afofadoras, evitando assim a necessidade da extração manual. Podem diferenciar-se pela forma de como é feito a extração das raízes.

O primeiro método utiliza uma lâmina de extração, que penetra no solo abaixo das raízes e por uma inclinação da lamina direciona o leito de solo e raízes para um sistema adicional de peneiramento. No final da operação, as raízes são depositadas sobre o solo Figura 11.

Figura 11 – Modelo de arrancadora com lamina de extração



Fonte : Carvalho (2009).

A diferença para o segundo método está localizada na forma de extração das raízes do solo, realizada por um conjunto de correias ou correntes paralelas que abraçam as ramas e puxam as raízes com o movimento do implemento (Figura 12). O método pode ser combinado com laminas de desagregação para diminuir os esforços de arranquio (PEIPP, MAHNERT e NEUMANN, 1994; YULAN et al., 2012).

Figura 12 – Modelo de arrancadora com o uso de correias de extração



Fonte: Scalon Filho et al. (2005).

3.2.3. Desempenho operacional de afofadores e arrancadoras

Existem poucos trabalhos em que são avaliados os equipamentos de colheita de mandioca, o primeiro trabalho selecionado foi o de Kemp (1978), onde avaliou o rendimento de duas arrancadoras, de uma e duas linhas por passada, utilizando lâminas de extração para o arranquio de mandioca em um workshop de colheita e processamento promovido pela CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), em Cali na Colômbia. Testaram-se diferentes formas de preparo e plantio manual das manivas e diversos espaçamentos. Os testes foram realizados em um solo argiloso para a colheita em 7 meses de plantio da variedade *Chiroza gallinaza*, os resultados não foram afetados pelo preparo do solo anterior. Foi frisado maior necessidade de energia, cerca de 150% de energia para arrancadora de duas linhas da CIAT, mas também um menor gasto de energia por unidade de área de 50%.

Alves Sobrinho (1981) realizou ensaios de quatro arrancadoras que utilizam lâminas de extração para a extração de raízes. Dois dos equipamentos constam na patente de Prado (1983), BR 6201307 U, pela inclusão ou não de um sistema vibracional para auxiliar a separação do solo das raízes e dois modelos comerciais de arrancadoras; um da FTI com somente uma lâmina menor e sem a presença de hastes na parte da lâmina diferente dos demais.

Os testes foram realizados em Curvelo MG, em solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico e a variedade de fim industrial denominado Iracema e foram alteradas as velocidades de avanço para os ensaios. Os resultados demonstraram que a lâmina do equipamento da FTI promoveu somente a desagregação do solo e o revolvimento das demais gerou maiores gastos de energia e perdas de colheita.

Scalon Filho, Alves sobrinho e de Souza (2005), comparou o desempenho de dois sistemas de colheita. Foi utilizada uma lamina de desagregação de solo denominada afofadora, e um equipamento de extração pelo método combinado de escavar e puxar da marca Interplan. Os ensaios foram realizados em Ivinhema-MS, em solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura franco arenosa para a variedade Fécula Branca com a produtividade de 34t/ha. Os resultados foram semelhantes para danos nas raízes e o sistema de laminas de desagregação apresentou a capacidade de campo 25% superior. Entretanto, como o sistema de lâminas de desagregação do solo não executa a extração das raízes, gerou maior tempo de colheita em torno de 32% maior que o sistema de correias paralelas.

Em Carvalho (2009) foram comparados dois sistemas de colheita, uma de lâmina de desagregação de duas linhas da marca Ikeda e uma arrancadora de mandioca da marca Hennipman, modelo WH-15, que utiliza uma lâmina de extração de raízes. Os ensaios de campo foram realizados em Aguaí-SP, em Latossolo vermelho amarelo com maior proporção de areia e a variedade utilizada foi o IAC 13. Foram testados preparo e plantio alternativos, de espaçamento com o plantio em fileiras e o uso de canteiro para o preparo do solo, onde as produtividades obtidas foram de 40,2 t/ha para o uso de canteiros e 29,9 t/ha sem o uso.

Como esperado a lâmina afofadora apresentou maiores velocidades e capacidades de campo, entretanto, para o cultivo em canteiros a arrancadora proporcionou menores perdas de colheita e melhores indicadores econômicos. A Tabela 7 resume os resultados encontrados na literatura para os tipos de colhedoras. Como frisado por Carvalho (2009) existe a necessidade de maiores estudos comparativos para outras variedades.

Da literatura, foi possível comprovar avanços, mas ainda existe a necessidade de ajuste de operações agrícolas principalmente para as operações de preparo, para que esta se ajuste a colhedoras e pesquisas ainda são necessárias.

Tabela 7 – Referencias de desempenho de sistemas de colhedoras

Autor	Local	Objetivo	Conclusões	Plantio	Colhedora	Pot. (CV)	C.C. (ha/h)
Kemp, D. C., 1978	Cali, Colômbia	Determinar a eficiência dos equipamentos em ensaios de diferentes preparos do solo e densidades de plantio.	O equipamento da CIAT (2 linhas) apresentou maiores força de tração e potência para acionamento, mas um menor gasto de energia por unidade de área por colher duas linhas ao mesmo tempo. Fato que pode influenciar a operação, susceptível as condições de solo. O sistema de camalhão apresentou os maiores rendimentos para as colhedoras, entretanto geraram maiores perdas. O equipamento da Richter trabalhou com melhor movimentação do solo e maior separação das raízes, mas não foram investigadas as razões para a diferença entre os rendimentos.	CAM	Richter (LAE)	70	0,123
					CIAT (LAE)	70	0,316
				MAN	Richter (LAE)	70	0,123
					CIAT (LAE)	70	0,316
					Richter (LAE)	70	0,111
	CAN	CIAT (LAE)	70	0,284			
Alves Sobrinho, T., 1981	Curvelo - MG	Obter as características técnicas de colheita para quatro colhedoras	O equipamento da FTI apresentou melhor desempenho porque somente desagregou o solo, as demais por promoverem o revolvimento deste não favoreceram a extração manual posterior. O sistema com vibração promoveu o revolvimento e a pulverização do solo. O revolvimento pode estar ligado a presença lamina maiores e um pente de barras na parte posterior dessas lâminas.		Cemag (LAE c/ vibração)	80	0,222 a 0,435
				CON	Cemag (LAE)	80	0,238 a 0,5
					FTI (LAE)	80	0,263 a 0,555
					SANS (LAE)	80	0,238 a 0,47
Scalon Filho, H., 2001	Ivinhema - MS	Avaliar dois tipos de equipamentos.	O Implemento de laminas de desagregação do solo apresenta uma capacidade de campo maior que o sistema de lamina de extração, entretanto a lamina de desagregação de solo não expõe as raízes, promovendo um aumento no tempo total da colheita de até 34% por maior uso de mão de trabalhadores rurais.	CON	LAE	51	0,67
				CON	ETP	51	0,56
Carvalho, F. M., 2009	Aguaiá - SP	Estudar o efeito do uso de fileira dupla, plantio em canteiros e dois tipos de colhedoras.	O sistema de canteiro favoreceu o crescimento das plantas e estas produziram maiores números de raízes por planta chegando a produtividade aumentar acima de 30%. O cultivo em canteiro e bem como o uso de arrancadora proporcionou menores percentuais de perdas de colheita. A capacidade de campo do sistema de laminas de desagregação do solo foi superior, entretanto o arranquio manual posterior necessário aumenta o tempo total da colheita. Conclui que o uso de fileiras duplas, canteiro e laminas de extração de promoveu melhorias em todos os indicadores econômicos.	CON	AFO	105	0,551
				CAN	AFO	105	0,615
				CON	LAE	105	0,364
				CAN	LAE	105	0,35

Legenda : CAM –significa Camalhões, MAN- Plantio Manual no plano, CAN- Canteiro, CON - Plantio Convencional, LAE - Lamina de extração, ETP – Esteiras paralelas, AFO – Afofador.

Fonte: Kemp, D. C. (1978), Alves Sobrinho (1981), Scalon Filho (2001) e Carvalho (2009).

3.2.4. Protótipos e patentes de Colhedoras de mandioca.

Além das máquinas disponíveis e avaliadas na literatura, a Tabela 8, resume as principais patentes organizadas em ordem cronológica de publicação. Foi possível verificar, a evolução do estado da técnica onde as primeiras patentes se limitam somente a realização da desagregação do solo e a extração das raízes, até sistemas mais complexos com maiores funções de colheita como a desrama e armazenamento das raízes. Na Tabela 8, a região demarcada em

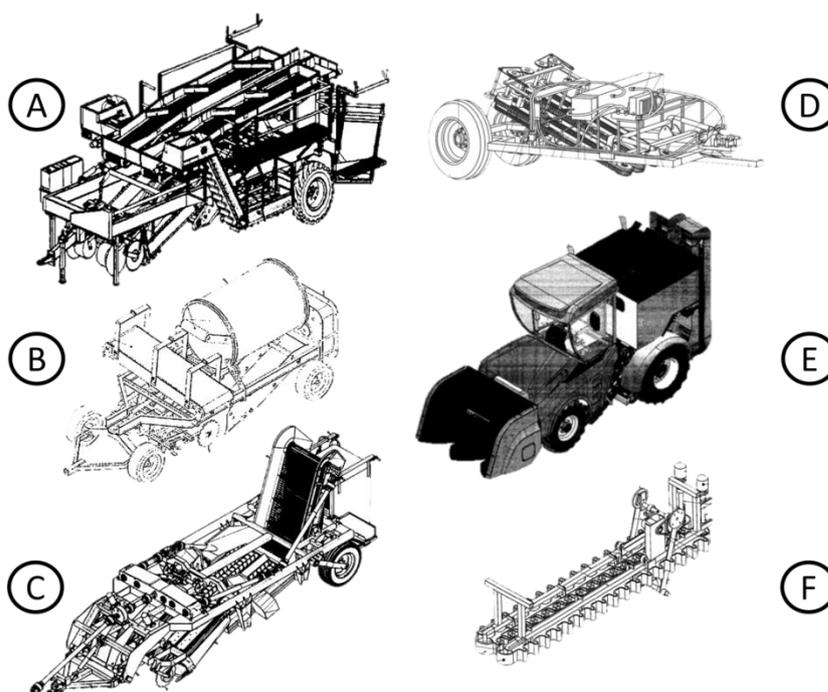
cinza, apresentam equipamentos com maior número de mecanismos e funções que as arrancadoras da seção anterior. A Figura 13 mostra uma visão geral das seis patentes salientadas da Tabela 8.

Tabela 8- Principais patentes sobre colheita de mandioca

Referência	Número da patente	Título
Prado (1983)	BR 6201307 U	Aperfeiçoar um implemento agrícola para arrancar mandioca, batata e outros tubérculos
Peipp, et al. (1987)	DD 250 450 A1	Verfahren und vorrichtung zur ernte von maniok
Testa (1990)	BR 88032246 A	Colheitadeira - Carregadora modular de mandioca
Trevisan (1993)	BR 9104013 A	Arrancadora de mandioca
Cury (2006)	BRMU 8501654-U	Disposição introduzida em equipamento colhedor, limpador e enleirador de mandioca e congêneres.
Silva (2013)	BR 102012028476 6 A2	Colheita contínua de raízes de mandioca com sistema de decepação/ Separação da Cepa
Gonçalves (2013)	BR 20 2012 009552-7 U2	Máquina Colheitadeira de mandioca
Hennipman (2013)	BRMU 9102105-7 U2	Disposição Construtiva aplicada em máquina colhedora de tubérculos
Labre e Klaus (2014)	BR 10 2013 011372-7 A2	Colheitadeira e processadora de raízes de tubérculos e sistema de arranquio e despincamento para colheitadeira de raízes e tubérculo
Pontes (2015)	BR 102014002665-7 A2	Máquina despincadora de mandioca em geral
Robeck (2015)	BR 102013020952-0 A2	Colhedora totalmente mecânica de mandioca

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 13 - Patentes de colhedoras selecionadas.



Legenda: A) BRMU 9102105-7 U2; B) BR 20 2012 009552-7 U2; C) BR 10201202847 6 A2; D) BR 102014002665-7 A2; E) BR 10 2013 011372-7 A2 F) BR 102013020952-0 A2

Fonte: A) Hennipman (2013), B) Gonçalves (2013), C) Silva (2013), D) Pontes (2015), E) Labre e Klaus (2014) e F) Robeck (2015).

A Figura 13 A, mostra a patentes de Hennipman (2013), BRMU 9102105-7 U2, se caracteriza por um implemento para duas linhas do cultivo, rebocado pela barra de tração do trator, combinando as funções de extração, separação do solo, ramas e folhas através de vários estágios de esteiras de barras. Além disso, possui um sistema de pulverização de água para dissolver torrões, mas não possui um sistema específico para a desrama. A patente parece ser uma evolução do sistema avaliado por Carvalho (2009) com a inclusão da coleta a ser realizada por “BAGs”. Também, foi encontrado um protótipo WH-CM-4000 (Figura 14) baseado na patente, incluindo, a desrama e seleção manual de raízes por agricultores que permanecem em cima do implemento e não utilizando pulverizadores de água.

Figura 14 – Protótipo de Colhedora com lamina de extração.



Fonte: Hennipman ¹

A Figura 13 B mostra a patente de Gonçalves (2013), BR 20 2012 009552-7 U2, composto por um implemento de duas linhas do cultivo, a ser rebocado pela barra de tração, que combina as funções de corte das ramas, por dois conjuntos de facas rotativas. A extração das raízes é realizada por laminas e a separação do solo é realizado por uma peneira cilíndrica que também tem a função de reservatório. O transporte até o armazenamento é feito por um elevador de esteira em circuito fechado de formato quadrado e o transbordo é realizado por esteiras. Entretanto não é mencionada a separação das raízes da cepa nem a seleção.

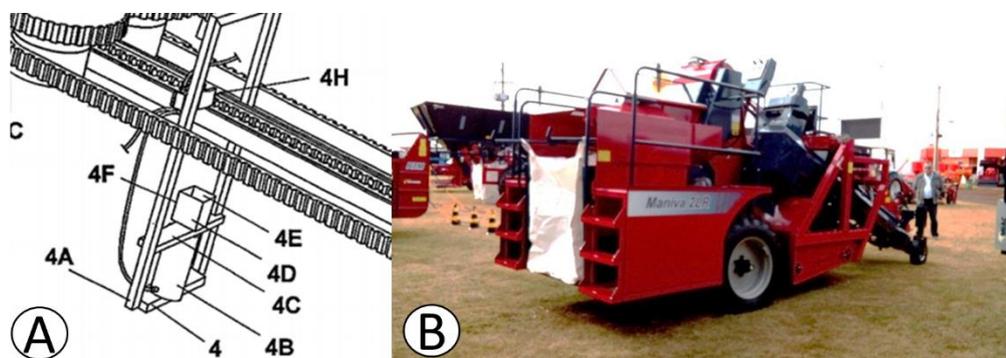
A Figura 13 C, apresenta a patente de Silva (2013), BR 10201202847 6 A2, composto por um implemento para duas linhas de cultivo a ser rebocado pela barra de tração do trator, onde a desagregação do solo é realizada por uma lamina fixa e a extração é realizada por

¹ Disponível em: <https://www.hennipman.com.br/cultivo-de-mandioca>

correntes paralelas inclinadas, o diferencial está na inclusão de um mecanismo de vibração mecânica para o conjunto de correntes paralelas para a promover o destaque das raízes. A separação do solo das raízes e folhas são realizados por um conjunto de rolos helicoidais. A coleta e o armazenamento das raízes são feitos por “BAGs”, e o transporte para fora da área de cultivo seria feito pela elevação hidráulica do implemento.

A Figura 13 D, apresenta a patente de Pontes (2015), BR 102014002665-7 A2, composto por um implemento para duas linhas de cultivo a ser rebocado pela barra de tração do trator. O sistema de extração funciona de forma análoga de Silva (2013), formado por um conjunto de correias paralelas. O destaque das raízes é realizado por um pistão hidráulico como mostra a Figura 15 A. Através de sensores, que identificam a presença de raízes, controlam o movimento do pistão que possuem uma faca fixada em sua haste e uma contra faca próxima as correias de extração. Também, foi encontrado um protótipo, da marca MIAC e modelo Maniva 2LR (Figura 15 B) que apresenta uma evolução da patente com a inclusão da seleção manual por agricultores e o armazenamento das raízes em “BAGs”.

Figura 15 - Protótipo de colhedora visto na Agrishow 2016.



Fonte: A) Pontes (2015). B) Arquivo pessoal (2016).

A Figura 13 E, apresenta a patente de Labre e Klaus (2014), BR 10 2013 011372-7 A2, de uma Colhedora autopropelida, de duas linhas de cultivo, que combina as funções de corte e trituração das partes aéreas das ramas, arranquio realizado de maneira análoga por correntes paralelas de Silva (2013). A desrama é realizada por serras circulares paralelas posicionadas verticalmente e complementada por uma faca, movida por um braço hidráulico. As raízes, após o destaque são direcionadas por esteiras para separação do solo e um elevador

até um reservatório fixo basculante. O equipamento prevê também a inclusão de uma lâmina fixa para a desagregação do solo e um segundo triturador para cepas.

Por último a Figura 13 F, apresenta a patente de Robeck (2015), BR 102013020952-0 A2, composto de um sistema de extração por correias corrugadas, análogo as da patente de Pontes (2015), mas com um mecanismo de desrama acionado por motores hidráulicos, constituído por um conjunto de facas que são acionadas por sensores com a presença de raízes Figura 16 A. A patente apresenta um protótipo autopropelido, visto nas visitas nas regiões produtoras do Paraná Figura 16 B, para quatro linhas de cultivo que inclui sistemas de separação de solo por cilindros com helicoide, seleção por agricultores e coleta num reservatório. O transbordo é realizado por um conjunto de esteiras.

Figura 16 - Protótipo visto em áreas de produção em Marechal Candido Rondon - PR



Fonte: A) Robeck (2015). B) Arquivo pessoal (2016).

A Tabela 9 resume os principais mecanismos utilizados nas patentes onde é possível obter uma visão geral dos equipamentos. Estas podem ser classificadas pelos métodos de extração de raízes, sendo que, duas patentes utilizam o método de lâmina de extração, Hennipman (2013), BRMU 9102105-7 U2, e Gonçalves (2013), BR 20 2012 009552-7 U2. (Figura 13 A e B). As demais utilizam o método de extração por transportadores de correias ou correntes paralelas para a extração das raízes. Somente quatro equipamentos possuem sistemas específicos para desrama e todos estão associados a sistemas de extração por correias ou correntes paralelas. Mesmo com a existência de patentes e protótipos, estes ainda necessitam de avaliação para a comprovação da eficácia na execução da colheita, além de que a avaliação

deve prever a comparação de mecanismo distintos para a execução da tarefa. Contudo, o sistema de desrama ou destaque de raízes ainda parece ser uma limitação para a mecanização da cultura, pois ainda não existe uma solução definitiva empregada pelos produtores.

Tabela 9- Principais mecânismos das patentes selecionadas de colhedoras de mandioca

Funções	A	B	C	D	E	F
Posicionar corte					Barreira física	
Cortar ramos		Lâminas rotativas				
Separar folhas	Esteira de barras		Cilindros com helicoides			
Coletar ramos						
Transferir ramos						
Desagregar solo			Lâmina fixa			
Separar solo	Esteira barras e pulverizadores	Peneira rotativa cilíndrica	Cilindros com helicoides			
Extrair raízes	Lâmina de extração	Lâmina de extração	Correntes paralelas	Correias paralelas	Correntes paralelas	Correias paralelas
Posicionar cepas e raízes				Sensor	Sensor	Sensor
Destacar raízes			Vibração e impacto	Faca hidráulica	Faca hidráulica e serras circulares	Faca hidráulica (motor)
Separar cepa			Gravidade	Gravidade	Gravidade	Gravidade
Selecionar raízes	Manual					
Armazenar Raízes	'Bag'	Reservatório cilíndrico	'Bag'		Reservatório	
Transferir Raízes	Braço de içamento	Esteiras	Braço de içamento		Reservatório basculante	

A) BRMU 9102105-7 U2; B) BR 20 2012 009552-7 U2; C) BR 10201202847 6 A2; D) BR 102014002665-7 A2; E) BR 10 2013 011372-7 A2 F) BR 102013020952-0 A2

Fonte: Elaborada pelo autor.

4. LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES SOBRE A COLHEITA

O capítulo pretende levantar informações técnicas da colheita, como identificar as principais necessidades dos utilizadores da colhedora, bem como, entender a problemática e as restrições a colheita mecanizada da mandioca. Para isso utilizou –se da metodologia de projeto sistemático como referência, em específico, a fase inicial de estudo denominada de projeto informacional (PAHL et al., 2005; BACK et al., 2008; RODRIGUES et al., 2015). Assim, o capítulo seguiu o fluxograma da Figura 17. Inicialmente com base no que foi levantado no capítulo 2 e a definição do público alvo, buscou-se executar visitas em loco nos locais de produção para o correto entendimento do problema, identificação das demandas e os principais gargalos de mecanização. Na sequência, as demandas foram decompostas e traduzidas em requisitos mensuráveis de avaliação de colhedoras e protótipos. Com a identificação de parâmetros, buscou-se definir condições de contorno para a colheita com a realização de ensaios de medições de esforços e geometria das raízes. Com as medições e os dados levantados na revisão da bibliografia foi possível o estabelecimento de especificações para a colhedora. No final do capítulo haverá uma compilação de especificações para as colhedoras de mandioca.

Figura 17 – Fluxograma do capítulo sobre informações da colheita



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1. Metodologia para a identificação dos gargalos da cultura e parâmetros de avaliação da colheita

Para a coleta de informações, foram realizadas visitas de acompanhamento do cultivo e processamento junto com produtores e especialistas nos estados do Paraná e São Paulo. As regiões visitadas e as datas de acompanhamento foram:

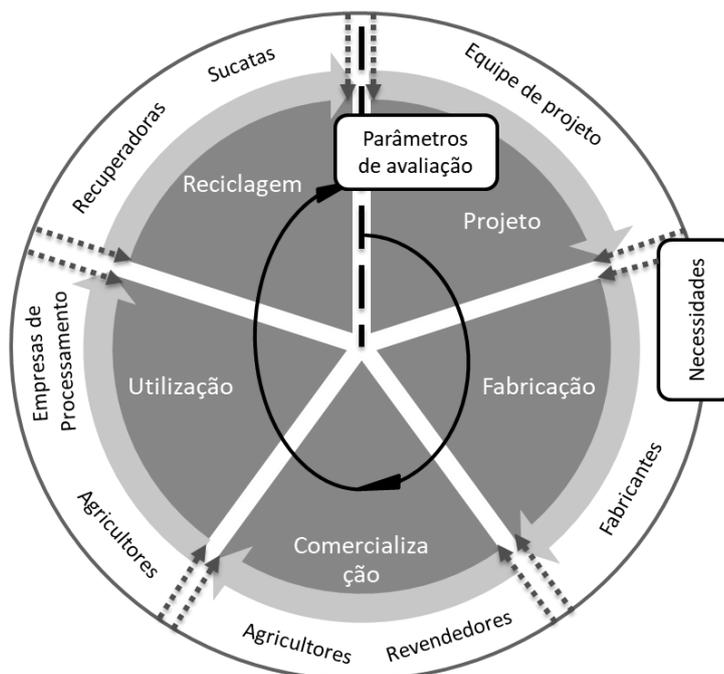
- Visita a quatro áreas produtoras e uma Empresa de processamento de amido em Marechal Candido Rondon – PR (realizada em 03 a 07 março de 2016).

- Visita a duas regiões produtoras em Echaporã - SP e Candido Mota – SP (realizada em 12 a 13 de maio de 2016).
- Visita a uma região produtora, áreas de pesquisa, uma fecularia e uma farinheira, além da Feira Internacional dos Produtores de mandioca em Paranaíba – PR (realizada em 22 a 24 de novembro de 2016).

4.1.1. Demandas para a colhedora de mandioca.

Como foi concluído no capítulo anterior, existe a necessidade de avaliar as soluções em mecanização para a colheita de mandioca, não exclusivamente pensando nos rendimentos da máquina, pois existem fatores anteriores como as operações agrícolas e peculiaridades do cultivo, que também devem ser satisfeitas para que se tenha uma maior confiabilidade na solução escolhida. Assim, para a colhedora buscou-se definir quem são os principais utilizadores no ciclo de vida do equipamento, desde a sua concepção até o seu descarte. A Figura 18 resume as fases identificadas para o ciclo de vida do equipamento e os principais usuários que devem ter suas necessidades satisfeitas.

Figura 18 – Ciclo de vida para a colhedora de mandioca



Em relação às empresas de processamento como fecularias e farinheiras, as maiores preocupações são com a disponibilidade das raízes para a manutenção da produção ao longo do ano e em anos sequentes, seja pelo fato da mandioca não possuir um período específico para colheita, há inexistência de contratos firmando preços mínimos com as indústrias, a falta de controle e planejamento da produção agrícola pelos produtores, as facilidades de entrada de novos produtores no cultivo geram oscilações de produção e preços de raízes, como já mencionado anteriormente e salientados pelas pesquisas de Riedner (2014), Alves (2012) e Goebel (2005). Com isso a colhedora não pode favorecer restrições ao uso para os diferentes ciclos de colheita.

Nas visitas, verificou-se que a forma de remuneração da matéria prima é feita através do uso de balanças hidrostática Figura 19 A, que mensuram a expectativa de obtenção de amido das raízes pela pesagem da carga recebida. Este por sua vez, não leva em consideração a presença de rejeitos como solo, ramas e principalmente as cepas que podem atrapalhar o rendimento das operações de processamento. Com isso, outra demanda identificada foi a melhoria na qualidade do produto entregue ao processamento, onde a colhedora deve favorecer a separação de rejeitos das raízes Figura 19 B.

Figura 19 – Recebimento das raízes no processamento



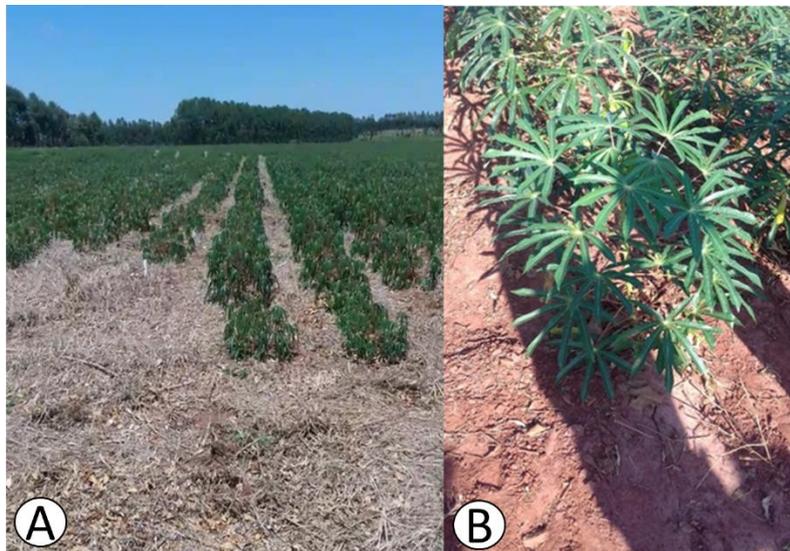
A) Farinheira em Paranaíba – PR; B) Fecularia em Marechal Cândido Rondon -PR

Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Em relação aos agricultores, além das questões sobre a necessidade de aumentar a mecanização da colheita para redução de trabalho árduo e questões de ergonomia e segurança

já mencionada no capítulo 3. Nas visitas as áreas produtoras uma das demandas mencionadas foi a necessidade da redução da exposição do solo por um longo período do cultivo e agravado pela demora para a formação de cobertura vegetal pela planta Figura 20 B. Várias pesquisas da revisão (MALH et al., 2015; FEY et al., 2013; OTSUBO et al.,2008) buscou solucionar o problema da perda de solo por erosão com a manutenção de material de cobertura Figura 20 A e obtiveram resultados similares a do plantio convencional. Contudo, considera-se que a colheita deverá ser avaliada quanto a sua adaptabilidade a processo mais conservacionista com a manutenção de cobertura do solo como o cultivo mínimo ou plantio direto.

Figura 20 – Manutenção de material de cobertura no solo em áreas de pesquisa em Paranavaí - PR



Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Por fim, para os demais utilizadores, como fabricantes, revendedores e sucatas, questões como a garantia da produtividade e a adequação do investimento inicial da colhedora, para facilitar a venda e aquisição pelos agricultores seriam as principais demandas a serem levadas em consideração. As demandas levantadas durante a fase de entrevista e coleta de dados, serão processadas a fim de gerar parâmetros de avaliação de projeto de colhedoras. Estes requisitos serão classificados em grandes grupos sendo eles, social, ambiental, técnico e econômico e posteriormente classificados quanto a sua importância. A Figura 21 resume as principais demandas identificadas nas visitas.

Figura 21 – Demanda dos principais utilizadores da Colhedora de mandioca

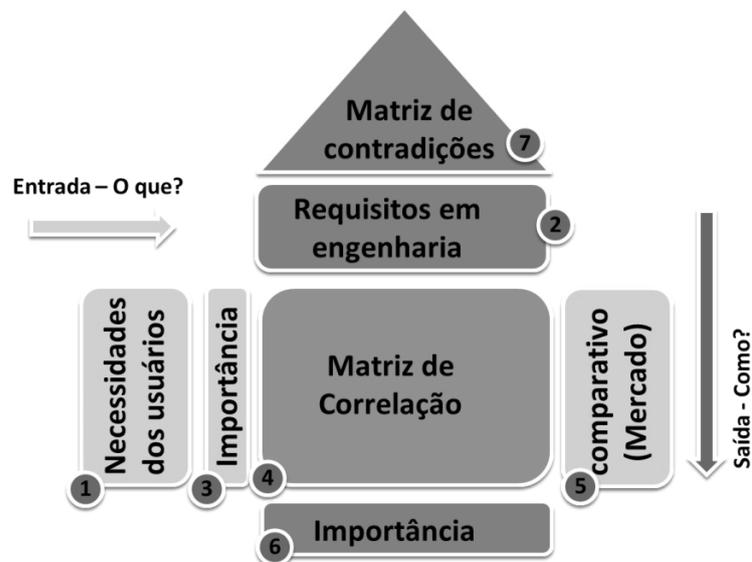


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.2. Definição de parâmetros de avaliação para a colhedora.

A Figura 22 representa de forma ilustrativa as regiões componentes do método QFD. A seguir será descrito cada item componente da figura e a forma de obtenção do campo.

Figura 22 – Esquema das partes da planilha do método de QFD



Adaptado de Fey (2009).

Os itens 1 e 2 da Figura 22 correspondem as necessidades do projeto e os requisitos de engenharia estabelecidos respectivamente. Pela metodologia do QFD para cada necessidade identificada foram propostos um ou mais requisitos mensuráveis para a avaliação da colhedora.

A definição da lista de requisitos de avaliação baseou-se nas necessidades identificadas, pelas visitas realizadas as áreas produtoras, empresas de processamento, feiras do setor e parâmetros medidos no campo. Pelo grande número de necessidades identificadas para a colhedora, estas foram classificadas segundo sua importância através do uso de diagrama de Mudge, conforme metodologia adotada em Fey (2009) e Rodrigues et al. (2015) que aparecerá no item 3. No Diagrama de Mudge, os requisitos são comparados diretamente dois a dois e mensurados através da seguinte escala:

- O requisito é muito mais importante que outro (valor igual 3).
- O requisito é mais importante que outro (valor igual 2).
- O requisito é um pouco mais importante que outro (valor igual 1).
- Os requisitos são de mesma importância (valor 0).

Após a realização das comparações as notas são somadas e normalizadas em uma escala de 0 a 10.

O item 4 refere-se a região do método onde são correlacionados os requisitos do usuário e os requisitos de projetos propostos. Assim, estão marcados nessa tabela o grau de correlação existente entre as necessidades com os requisitos quantitativos de projeto, que serão utilizados no item 6 para classificá-los. A métrica para verificação da correlação segue o seguinte padrão:

- Os requisitos têm forte correlação (valor igual 9).
- Os requisitos têm correlação intermediária (valor igual 3).
- Os requisitos têm fraca correlação (valor igual 1).
- Os requisitos não têm correlação (Sem nenhum valor)

Dessa forma são cruzadas as necessidades dos usuários com todos os requisitos de projeto definidos.

No item 5, são feitas avaliações quanto ao atendimento da técnica atual com o uso de afadores para as necessidades dos usuários e dessa forma identificar pontos de melhorias a serem buscados para as colhedoras. As comparações são feitas com critérios qualitativos das 'necessidades dos usuários' (item 1). Foi utilizada uma escala de avaliação onde 1 descreve um atendimento ruim e 5 descreve um bom atendimento. Com as notas do sistema de colheita

usualmente empregado foi possível definir um objetivo para o equipamento e um índice que leva em conta a porcentagem de quanto deve ser a melhoria em relação a nota da tecnologia usualmente empregada, denominado ‘porcentagem de melhoria’. No item 5 a coluna denominada “Peso absoluto” refere-se a um índice ponderado calculado pela multiplicação do índice de ‘porcentagem de melhoria’ vezes a nota de priorização das ‘necessidades do projeto’ esse item será utilizado para o cálculo de priorização dos parâmetros de avaliação das colhedoras (item 6).

Finalmente, o item 6, foi calculado pelo somatório da multiplicação das células do item 4 pelo item 5, “peso absoluto”, correspondentes em cada linha. Com as notas de cada requisito de projeto será utilizado para ordena-lo em relação ao demais.

O item 7, refere-se a matriz triângulo de contradições entre os requisitos de projeto de avaliação das colhedoras, onde classifica as inter-relações entre os requisitos de avaliação e será inserida no Apêndice B.

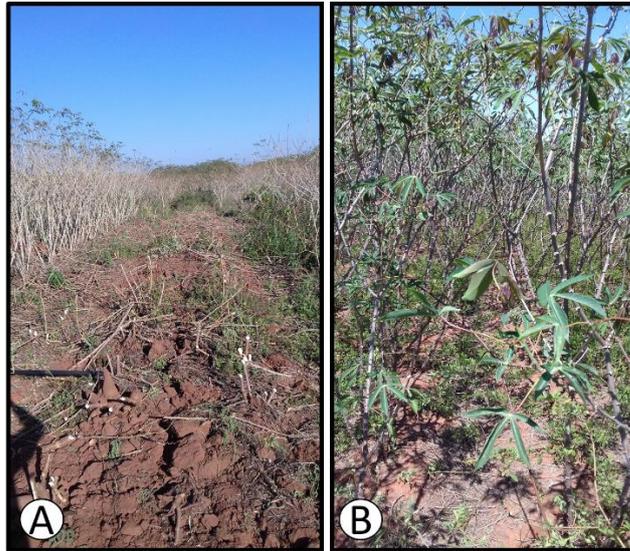
4.2. Metodologia para o levantamento de característica da colheita

Também foram realizados experimentos de colheita para auxiliar na especificação das condições de contorno para as colhedoras. Assim, com base no capítulo anterior, foi possível constatar que a alteração do período da colheita, modifica as condições para a arquitetura da planta e o crescimento dos diâmetros das raízes. Dessa forma, buscou-se caracterizar os esforços de arranquio e as condições de geometria para o destaque das raízes, para os ciclos de colheita da cultura e a influência da passagem do “afofador”. Para isso, foram executados experimentos nas cidades de Ocaçu - SP (de 11 a 14 de julho de 2017) e Platina -SP (de 4 a 5 setembro de 2017) em áreas de pesquisa da Embrapa Mandioca Fruticultura, em parceria com o setor privado, para a seleção e multiplicação de variedades de mandioca. A Figura 23 mostra as áreas de realização de experimentos de colheita.

Nas áreas, as parcelas foram plantadas com uma plantadeira em sistema convencional da cultura com quatro linhas de espaçamento de 0,9 metros entre linhas e 0,85 metros entre plantas. As datas de plantio foram 17 setembro de 2015 (Ocaçu - SP) e 28 a 30 de setembro de 2016 (Platina -SP). Nos experimentos de campo, foram utilizadas três variedades de mandiocas, sendo uma comumente utilizada na região, o IAC-14, e mais dois clones em desenvolvimento pela equipe de melhoramento da Embrapa Mandioca Fruticultura, o 2010-55-

03 que já foi registrada como variedade de uso industrial de nome BRS CS01 e mais um clone o 2010-55-04 para a mesma finalidade.

Figura 23 – Áreas de plantio de mandioca onde foram realizados os experimentos de campo.



A) Ocaçu- SP

B) Platina -SP

Fonte : Arquivo pessoal (2017).

4.2.1. Determinação das propriedades do solo experimental.

Para a futura determinação teórica da força de tração das variantes de solução, capítulo 5, foi necessária a determinação de características granulométricas, índices físicos como as medidas de densidade e umidade através da coleta de amostras indeformadas de solo das regiões experimentais. O material coletado, também será utilizado para a determinação da resistência ao cisalhamento do solo através de um modelo de resistência de Mohr-Coulomb. Para a retirada das amostras levou-se em consideração a orientação normativa da ABNT NBR 9604 de janeiro de 2016. A Figura 24 mostra as fases para a retirada dos corpos de prova do solo.

Figura 24 – Fases da retirada de amostras indeformadas dos solos experimentais



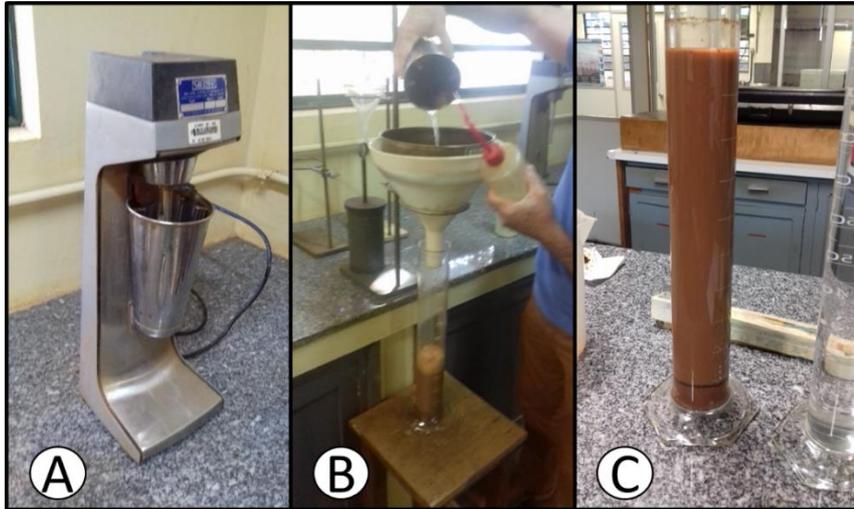
- A) Abertura de trincheira B) Tombamento C) Retiradas dos moldes metálicos
D) Retirada do corpo de prova

Fonte: Arquivo pessoal (2017).

4.2.2. Análise granulométrica.

Os ensaios de caracterização do solo quanto a sua composição granulométrica, foram realizados no Departamento de Geotécnica da USP- São Carlos e seguiram o procedimento de acordo com a norma técnica ABNT NBR 7181 de setembro de 2016. Este foi composto de duas etapas: a de sedimentação e a do peneiramento, onde as planilhas utilizadas para a determinação estão no apêndice D, e as fases mostradas na Figura 25.

Figura 25 – Fases do ensaio da análise granulométrica



A) Agitação , B) e C) Sedimentação.

Fonte: Arquivo pessoal (2017).

4.2.3. Ensaio de Cisalhamento direto

O ensaio foi executado no Departamento de Geotécnica da USP- São Carlos e foram utilizados para determinar os parâmetros de coesão e ângulo de atrito interno para o solo, pela falta de uma norma NBR específica, utilizou-se como base a norma ASTM D3080/D3080M de novembro de 2012. A execução do ensaio teve três etapas: a primeira de moldagem e preparo do corpo de prova (Figura 26), onde são necessárias 3 amostras de solo para cada local de realização dos experimentos, pois são utilizadas três tensões normais distintas para um ensaio, de 50, 100 e 200 kPa. A segunda, foi a calibração da célula de carga da medição dos esforços de cisalhamento utilizando um anel dinamométrico de constante de mola de 0,0016 kN para cada divisão do relógio comparador, assim com a anotação do número de divisões do relógio do anel pode-se determinar a força de cisalhamento aplicada no corpo de prova.

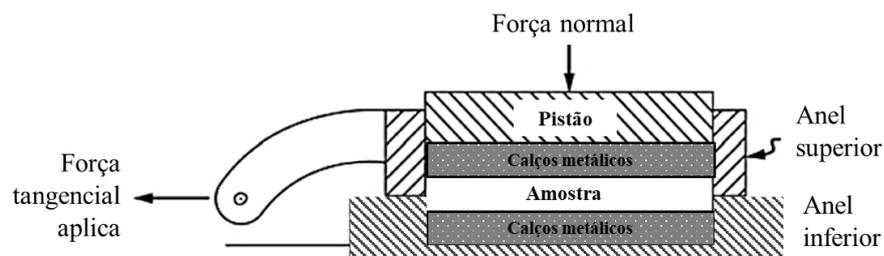
Figura 26 – Detalhe do corpo de prova para o ensaio de cisalhamento direto



Fonte: Arquivo pessoal (2017).

A última etapa foi a montagem do corpo de prova no equipamento e a realização dos ensaios de resistência ao cisalhamento. Para isso, foi necessário que o corpo de prova se localize entre dois anéis de cisalhamento inferior e superior conforme mostra a Figura 27.

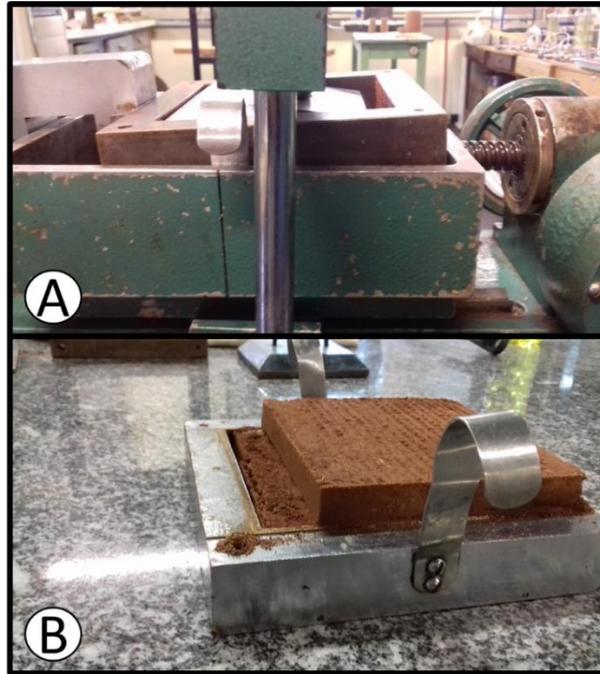
Figura 27 – Esquema do ensaio de cisalhamento direto



Fonte: Adaptado de ASTM D3080/D3080 (2012)

O conjunto é levado para uma caixa de cisalhamento no equipamento onde foram aplicadas as tensões normais estabelecidas para o ensaio. Por último, aplicou-se o deslocamento horizontal a uma taxa de 0,5 mm/min. no anel inferior enquanto foram realizadas as leituras: do deslocamento do anel inferior, força de cisalhamento aplicado no corpo de prova e do deslocamento vertical do pistão, através de relógios comparadores Figura 28 A. Ao final do ensaio e a Figura 28 B mostra a superfície de ruptura do corpo de prova após a realização do ensaio.

Figura 28 – Realização do ensaio de cisalhamento direto



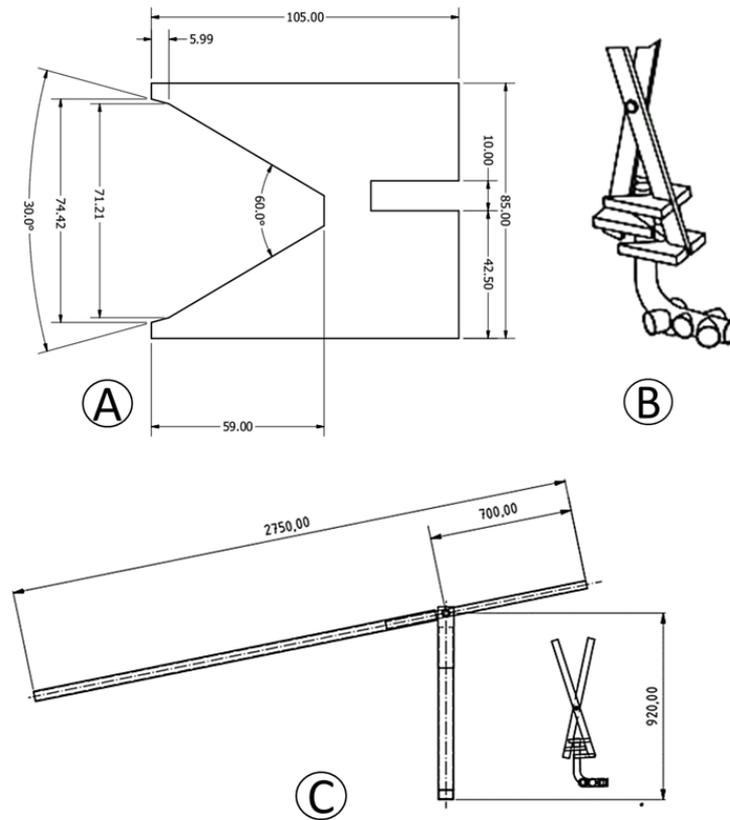
A) execução do ensaio B) Corpo de prova após o ensaio

Fonte: Arquivo pessoal (2017).

4.2.4. Medição dos esforços de extração das raízes.

Para a medição da máxima força para a extração das raízes, foi necessário a construção de uma alavanca inspirada em um modelo apresentado por Agbetoye (1999), que foi modificado para a inclusão de uma balança suspensa para a medição do esforço de “arranquio” Figura 29 C. Com base nas geometrias das cepas encontradas na literatura, foi possível ajustar um sistema de garra que se adeque aos diâmetros das cepas e ramos do primeiro e segundo ciclo e que a aplicação de força favoreça o aperto do ponto de fixação Figura 29 A e B.

Figura 29 – Detalhes do projeto da alavanca experimental de arranquio



A) Detalhe da guarra, B) Montagem das garras e C) Vista Lateral

Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir dos desenhos a alavanca foi construída no laboratório de mecânica de precisão da Embrapa Instrumentação em São Carlos – SP (Figura 30).

Figura 30 – Modelos de alavanca construída para medição dos esforços de arranquio.



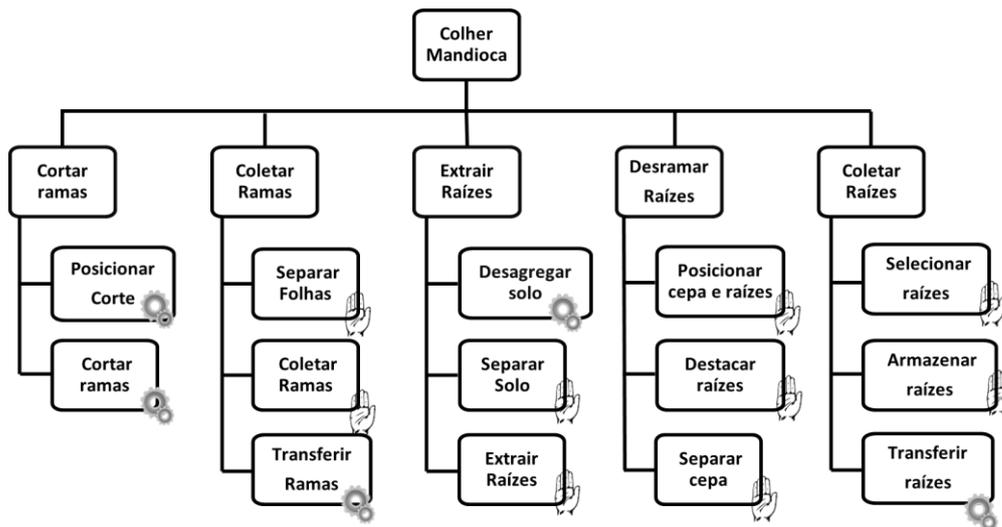
Fonte: Arquivo pessoal (2017).

4.3. Resultados para a identificação dos gargalos da cultura e parâmetros de avaliação da colheita

4.3.1. Identificação dos gargalos da cultura

Com a realização das visitas nas áreas produtoras, foi possível pormenorizar as operações do processo de colheita e ainda classifica-las em mecanizadas ou manuais, mostradas na Figura 31. Também se percebeu que todas as operações de colheita são susceptíveis a melhorias, podendo aumentar assim o rendimento da colheita e trazer maior conforto aos trabalhadores.

Figura 31 – Árvore da colheita de mandioca



Fonte: Elaborada pelo autor.

Dentre as operações manuais, foram identificadas quatro operações que necessitam de maior atenção: a extração das raízes, posicionamento e destaque das raízes, seleção e coleta das raízes em leiras. A Figura 32 resume os principais pontos identificados.

Figura 32 – Principais gargalos da cultura identificados



A) Extração; B) e C) Posicionamento e Destaque das raízes; D) Coleta

Fonte : Arquivo pessoal (2016).

Para a extração das raízes, Figura 32A, verificou-se o mal posicionamento e desconforto do trabalhador se deslocando pelo campo de forma curvada e com grande repetição, para a extração de duas linhas de raízes. Em outra área de produção, houve a necessidade da utilização de uma picareta para o auxílio da tarefa, pois o solo possuía características de particulados menores, como o silte e argila, provocando maior aderência às raízes, mesmo com a passagem do “afofador”. Outro ponto, a operação deveria ser responsável pelo controle de perdas de raízes no solo, o que normalmente não é executado pelo trabalhador.

Seguindo para o desrama das raízes, Figura 32 B e C, novamente aparecem problemas de ergonomia e segurança, pela execução de atividades repetitivas de corte com laminas e a necessidade de agachamentos para a pega de material enfileirados na operação anterior de extração. Na desrama, duas operações são necessárias, uma para o posicionamento e identificação da região limite entre as raízes e a cepa e a outra é o destaque propriamente dito.

O último conjunto de operação seria a seleção e coleta das raízes, onde é feita a verificação visual para a separação, das que possuem regiões com doenças e/ou restos de cepas. A dificuldade é a substituição da tomada de decisão do trabalhador em campo para a execução da operação e o controle de perdas de raízes que ainda permanecem junto a cepa. A operação

de coleta também exige grande esforço para o transporte de raízes em caixas até o “big bag”, como mostra a Figura 32 D.

4.3.2. Parâmetros de avaliação para a colhedora.

As demandas levantadas durante a fase de entrevista e coleta de dados foram tratadas e decompostas a fim de gerar necessidades para as colhedoras. Estas necessidades foram classificadas em grandes grupos sendo eles, social, ambiental, técnico e econômico. A Tabela 10 resume as principais necessidades propostas a partir das demandas iniciais levantadas dos usuários do ciclo de vida do equipamento.

Tabela 10 – As principais necessidades para a mecanização da colheita de mandioca

Envolvidos na fase do Ciclo de vida	Necessidades da colheita mecanizada de mandioca
NECESSIDADES TÉCNICAS	
Empresa de processamento e agricultores	> Aumentar a qualidade dos produtos de colheita
	> Maior controle, mas operações de extração, destaque, separação e seleção das raízes
	• Reduzir perdas e danos nas raízes
	• Ter maior qualidade na separação do solo
	• Maior capacidade de separar folhas
	• Ter maior controle no destaque das raízes
	• Ser capaz de separar cepas
Empresa de processamento e agricultores	> Maior disponibilidade de raízes ao longo do ano
	• Estar apta a colher o 2º Ciclo da cultura
NECESSIDADES ECONÔMICAS	
Agricultores	> Aumentar a produtividade
	> Maior eficiência de campo
	• Ter menor potência
	• Ter maior capacidade de campo
	• Ter maior facilidade de manobra/transporte
	• Ser mais rápida no transbordo
Agricultores, Fabricantes, Equipe de projeto, revendedores e sucatas	> Reduzir o investimento inicial do equipamento
	• Ser de projeto simples, fabricação convencional e manutenção rápida

NECESSIDADES AMBIENTAIS	
Agricultores	• Ter menor impacto na erosão
	• Não intensificar a compactação do solo
NECESSIDADES SOCIAIS	
Agricultores	> Aumentar a mecanização da colheita
	• Prover maior ergonomia e redução de trabalho árduo
	• Prover maior segurança ao trabalho dos agricultores

Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir das necessidades identificadas, essas deverão ser traduzidas em parâmetros mensuráveis em engenharia, com a utilização da metodologia do QFD (Quality function deployment). Com isso, a Tabela 11 apresenta os requisitos de projeto definidos para a colhedora, com a definição das unidades de medidas. Também foi inserido na última coluna Tabela 11 o sentido que a variável deve seguir para que melhore as características da colhedora.

Tabela 11 – Necessidades e requisitos mensuráveis de avaliação

Necessidades dos Usuários	requisito de avaliação	Unidades	Indicação do sentido
Reduzir perdas e danos nas raízes	Danos e perdas nas raízes	%	↓
Ter maior qualidade na separação do solo	Massa de solo no material colhido	%	↓
Maior capacidade de separar folhas	Massa de folhas no material de colheita	%	↓
Ter maior controle no destaque das raízes	Massa residual de amido nas cepas	gr	↓
Ser capaz de separar cepas	Massa de cepas no material colhido	%	↓
Ter seleção das raízes	Massa de raízes podres no material de colheita	%	↓
Estar apta a colher o 2º Ciclo da cultura	Dificuldade na colheita de segundo ciclo	A ou M ou P	P
Ter menor potência	Potencia requerida	CV	↓
Ter maior capacidade de campo	Capacidade de campo	Ha/h	↑
Ter maior facilidade de manobra/transporte	Pequeno comprimento	m	↓
Ser mais rápida no transbordo	Tempo de transbordo	Min	↓
Reduzir o custo de operação	Custo operacional	R\$/ha	↓
	Produtividade	Ton. / ha	↑
Ser de projeto simples, fabricação convencional e manutenção rápida	Custo de fabricação	R\$	↓
Ter menor impacto na erosão	Dificuldade na colheita do plantio direto	A ou M ou P	P
Não intensificar a compactação do solo	Peso	Ton.	↓
	Número de operações com tráfego de máquinas	n	↓
Prover maior ergonomia e redução de trabalho árduo	Número de funções mecanizadas de colheita	n	↑
Prover maior segurança ao trabalho dos agricultores	Presença de elementos moveis ou cortantes com proteção e pouca exigência de atenção do operador	G ou M ou P	G

Onde significam: A – alta, M – Média, B – Baixa, G – Grande, P – Pequena, ↓ - Diminuir e ↑ - Aumentar.

Fonte : Elaborada pelo autor.

O próximo passo foi a utilização do diagrama de Mudge para a classificação das necessidades definidas para as colhedoras. A Tabela 12 resume a avaliação das importâncias das necessidades identificadas para os usuários da colhedora. No diagrama, as necessidades são identificadas por letras e cada célula corresponde à comparação de importância entre duas necessidades. A última coluna do diagrama corresponde à somatória das células em que aparecem a necessidade com a maior importância que as demais.

Tabela 12 – Diagrama de Mudge para as necessidades da colheita mecanizada

Necessidades identificadas	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	TOTALS	
Reduzir perdas e danos nas raízes	A 1	A 2	A 0	A 1	A 1	A 2	A 1	A 1	A 3	A 3	A 0	A 3	A 2	A 2	A 1	A 1		24	
Ter maior qualidade na separação do solo	B	B 0	D 1	E 2	F 2	G 3	H 1	I 2	B 1	B 1	L 1	M 1	N 2	O 1	P 3	Q 1		2	
Maior capacidade de separar folhas	C	C	C 1	D 2	E 1	F 2	G 1	H 1	I 2	C 2	C 2	L 1	C 1	N 1	O 1	P 1	Q 1	5	
Ter maior controle no destaque das raízes	D	D	D	D 2	D 1	D 1	D 2	D 1	D 2	D 2	D 2	L 1	D 2	D 1	D 1	P 2	Q 1	17	
Ser capaz de separar cepas	E	E	E	E	E 1	E 0	E 1	E 2	E 3	E 2	L 1	E 2	E 1	E 1	P 1	Q 1		17	
Ter seleção das raízes	F	F	F	F	F	F 1	H 1	F 1	F 2	F 2	L 1	F 2	N 0	F 0	P 0	Q 1		11	
Estar apta a colher o 2º Ciclo da cultura	G	G	G	G	G	G	G 2	G 1	G 3	G 3	L 1	G 2	G 1	G 1	P 1	Q 1		18	
Ter menor potência	H	H	H	H	H	H	H	H 1	H 2	H 1	H 0	H 1	H 1	O 1	P 3	Q 2		8	
Ter maior capacidade de campo	I	I	I	I	I	I	I	I	I 2	I 1	I 0	I 3	I 2	I 1	I 0	I 1		15	
Ter maior facilidade de manobra/transporte	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J 1	L 1	J 1	N 2	O 2	P 3	Q 3		2	
Ser mais rápida no transbordo	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	L 2	K 1	N 2	K 0	P 2	Q 1	1	
Reduzir o custo de operação	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L 2	L 1	L 2	P 1	Q 0		14	
Ser de projeto simples, fabricação convencional	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M 3	N 2	O 3	P 2	M 2	3	
Ter menor impacto na erosão	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N 2	P 3	Q 0		12	
Não intensificar a compactação do solo	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O 3	P 2	Q 2	7	
Prover maior ergonomia e redução de trabalho árduo	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P 0		26	
Prover maior segurança ao trabalho dos agricultores	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	14	
																		Total	196

Fonte: Elaborada pelo autor.

A matriz de correlação entre as necessidades dos usuários (linhas) e os requisitos de avaliação (colunas), está apresentada na Tabela 13. Nesta matriz, as células mostram quais os requisitos que influenciam para o atendimento de cada necessidade dos usuários. Além disso, com a escala apresentada na metodologia a matriz também informa o grau de influência dos

requisitos. A inter-relação entre eles será importante para priorização dos requisitos de projeto na avaliação das variantes de colhedoras.

Tabela 13 – Matriz de correlação das necessidade e requisitos de avaliação para a colheita mecanizada

Necessidades dos Usuários / Requisitos de avaliação	↓	↓	↓	↓	↓	↓	P	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↓	P	↓	↓	↑	G	
	Danos e perdas nas raízes	Massa de solo no material colhido	Massa de folhas no material de colheita	Massa residual de amido nas cepas	Massa de cepas no material colhido	Massa de raízes podres no material de colheita	Dificuldade na colheita de segundo ciclo	Potencia requerida	Capacidade de campo	Comprimento	Tempo de transbordo	Custo operacional	Produtividade	Custo de fabricação	Dificuldade na colheita do plantio direto	Peso	Número de operações com trafego de máquinas	Número de funções mecanizadas de colheita	Presença de elementos cortantes com proteção		
Reduzir perdas e danos nas raízes	9			3			3	3	1		1	1	3	1	3	1	1	3	1		
Ter maior qualidade na separação do solo	3	9		1	3			1	3	1		1		1							
Maior capacidade de separar folhas	3		9		3	3	1	1	3	1		3	1	1	3	1		3			
Ter maior controle no destaque das raízes	9	3	9	9	9	1	3	3		3		1	3	3	3				3	9	
Ser capaz de separar cepas	1			3	9		3	1	3	1		3	1	1	3			3	3		
Ter seleção das raízes					3	9		3	3	3		3	3	1		3		3	3		
Estar apta a colher o 2º Ciclo da cultura				9	3		9	1	3			1	3	1	3				1		
Ter menor potência				3	1			9	3	1	1	3	1	3		9	1	3	1		
Ter maior capacidade de campo	3	3	3		3	3	1	3	9	1	3	3	3	1			3	3			
Ter maior facilidade de manobra/transporte										9	3	3			1	1		1			
Ser mais rápida no transbordo	3				1			3			9	3		1	1	3		1			
Reduzir o custo de operação	1	1	1		3	3	9	3	3		9	9	9	1	1	1	9	9			
Ser de projeto simples, fabricação convencional								1				1		9	3		1	9	1		
Ter menor impacto na erosão			9						3			3	3	3	9			3			
Não intensificar a compactação do solo	1						1	1				3		3		9	9	3			
Prover maior ergonomia e redução de trabalho árduo	3		3		3	1	3	3	3	1		9	3	9	3	3		9	3		
Prover maior segurança ao trabalho dos agricultores				3			3	1		3		3	1	3	1			9	9		

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para traçar um objetivo para a melhoria da colhedora, item 5 da metodologia, comparou-se o “afofador” ao atendimento das necessidades identificadas e conjuntamente com a importância das necessidades, se propôs algumas metas como objetivo.

Em relação à qualidade da colheita, na avaliação de campo, seção 4.4, foi possível identificar um aumento de danos nas raízes pela sua passagem, porém a perda de raízes diminuiu o que faz concluir que o equipamento promove uma melhoria. Em relação a separação do solo o presente equipamento promove uma soltura do solo das raízes, mas não os separa, cabendo ao operador executar a tarefa. Outro ponto seria a dependência da mão de obra para o destaque, seleção e separação das raízes que são feitas de forma manual, por essa razão as notas aplicadas ao equipamento foram baixas. Assim, como objetivo, para um novo equipamento, estes itens de qualidade da colheita devem ser amplamente melhorados. A colheita do segundo ciclo não é afetada pelo equipamento, ou seja, a sua aplicação pode ser utilizada para os dois ciclos, onde recebeu uma boa avaliação.

Em relação ao custo de produção, a passagem do “afofador” exige potência média de 75 c.v. chegando a alguns casos a 100 c.v. com a utilização em conjunto da poda de raízes. Os valores foram adotados como referência para a potência e capacidade de campo ideais, pois caracterizam os tratores normalmente disponíveis para o equipamento de colheita, e dessa forma receberam boas notas de avaliação. Sua pequena dimensão facilita a manobra de campo e o transporte, o que também lhe garante boa avaliação. Entretanto, o transbordo não é executado pelo equipamento, o que lhe leva a um baixo desempenho na avaliação. Da mesma forma, o seu custo de operação se demonstrou alto em comparação das arrancadoras, por sua maior dependência de atividades de mão de obra de trabalhadores rurais. Por fim, seu baixo custo de aquisição e simplicidade de fabricação lhe garante grande aplicabilidade, obtendo, por conseguinte, boa avaliação para a necessidade. Contudo, os itens de transbordo e custo operacional devem ser amplamente melhorados como objetivos econômicos da colhedora.

Em relação, a erosão e a compactação do solo, têm resultados intermediários, pois se trata do padrão da cultura, melhorias devem ser promovidas para que favoreçam principalmente a perda de solo que afeta grandemente a cultura. Com isso, os objetivos de melhorias devem ser buscados, mas a melhoria do processo será de difícil implementação.

Em relação a redução do trabalho árduo e segurança, este possui ainda melhorias necessárias, como mencionado anteriormente, e apresentou baixa avaliação nesses itens. Desta maneira, se propõe metas maiores para esses itens como incrementos em mecanização. A Tabela 14 resume as notas aplicadas na presente avaliação do sistema atualmente empregado.

Também, foram mostradas na Tabela 14, o item da metodologia, denominado “peso absoluto”, obtido pela multiplicação da priorização das necessidades pelo fator de porcentagem de melhoria.

Tabela 14 – Avaliação de atendimento da solução semi-mecanizada padrão da cultura para as necessidades levantadas

Importância da Necessidade	Necessidades dos Usuários	Afador (Padrão)		Objetivo de melhoria	Porcentagem de melhoria (%)	Peso absoluto
9,23	Reduzir perdas e danos nas raízes	3	4	133	12,3	
0,77	Ter maior qualidade na separação do solo	1	4	400	3,1	
1,92	Maior capacidade de separar folhas	1	4	400	7,7	
6,54	Ter maior controle no destaque das raízes	1	4	400	26,2	
6,54	Ser capaz de separar cepas	1	4	400	26,2	
4,23	Ter seleção das raízes	1	4	400	16,9	
6,92	Estar apta a colher o 2º Ciclo da cultura	4	5	125	8,7	
3,08	Ter menor potência	3	5	167	5,1	
5,77	Ter maior capacidade de campo	4	4	100	5,8	
0,77	Ter maior facilidade de manobra/transporte	4	4	100	0,8	
0,39	Ser mais rápida no transbordo	1	4	400	1,5	
5,39	Reduzir o custo de operação	1	4	400	21,5	
1,15	Ser de projeto simples, fabricação convencional e manutenção rápida	4	4	100	1,2	
4,62	Ter menor impacto na erosão	3	4	133	6,2	
2,69	Não intensificar a compactação do solo	4	4	100	2,7	
10	Prover maior ergonomia e redução de trabalho árduo	1	4	400	40,0	
5,39	Prover maior segurança ao trabalho dos agricultores	1	5	500	26,9	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Através da matriz de correlação, Tabela 13, foi possível estabelecer uma ponderação para os requisitos de avaliação, item 6 da metodologia, a serem utilizados nas avaliações do capítulo 5 e para possíveis soluções mecanizadas para a colheita de mandioca. As relações de contradições entre os requisitos de avaliação, item 7 da metodologia, foram dispostas no apêndice B. A Tabela 15 resume os resultados para os requisitos de projeto definidos e sua classificação de importância para a avaliação dos equipamentos de colheita de mandioca.

Tabela 15 – Requisitos de avaliação em engenharia para as colhedoras de mandioca

Ident.	Requisito de projeto	Importância
RP 1	Número de funções mecanizadas de colheita	11,3%
RP 2	Custo operacional	8,9%
RP 3	Massa de cepas no material colhido	7,8%
RP 4	Presença de elementos cortantes com proteção	7,3%
RP 5	Dificuldade na colheita de segundo ciclo	6,7%
RP 6	Custo de fabricação	6,6%
RP 7	Produtividade	6,0%
RP 8	Danos e perdas nas raízes	5,6%
RP 9	Massa residual de amido nas cepas	5,2%
RP 10	Massa de folhas no material de colheita	5,1%
RP 11	Potencia requerida	4,9%
RP 12	Dificuldade na colheita do plantio direto	4,6%
RP 13	Capacidade de campo	4,6%
RP 14	Massa de raízes podres no material de colheita	3,2%
RP 15	Comprimento	3,0%
RP 16	Peso	2,8%
RP 17	Número de operações com tráfego de máquinas	2,5%
RP 18	Tempo de transbordo	2,4%
RP 19	Massa de solo no material colhido	1,4%
		100,0%

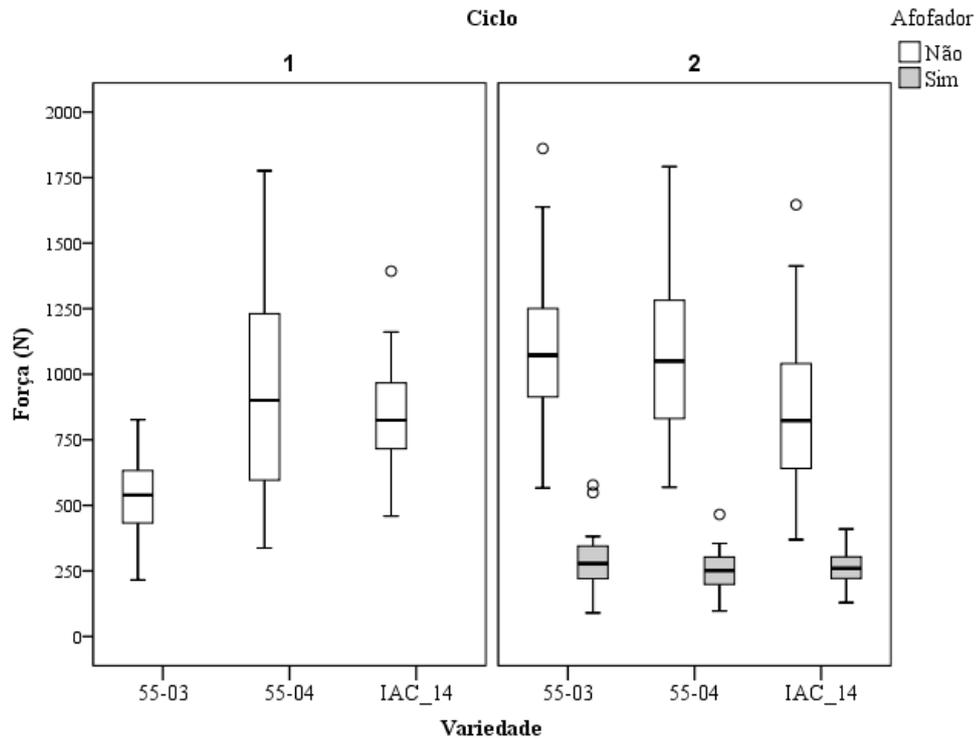
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.4. Resultados para o levantamento de característica da colheita

4.4.1. Medição das forças de extração e peso das raízes.

Os resultados dos ensaios para a determinação da força máxima de arranquio, para as diferentes variedades de mandioca, estão resumidos no gráfico de boxplot na Figura 33. Neste diagrama foi possível constatar um aumento na mediana da força de extração com o passar do tempo, pelo crescimento das raízes, onde a maior variação foi para a variedade 55-03 que passaram de 539,55 N para 1072,48 N. Entretanto, o IAC-14 não apresentou tal variação, mantendo os mesmos valores para os dois ciclos, 824,29 N e 823,06N respectivamente. Em relação ao uso do “afofador”, comprovou-se que a movimentação do solo e das raízes favorece a redução da força de extração, como mostra os dados para o segundo ciclo da cultura. O uso, do “afofador”, reduziu os esforços a valores mais baixos que os encontrados no ensaio do primeiro ciclo para todas as variedades. O Apêndice A apresenta a tabela com os valores e distribuição para a força máxima de arranquio, para as 20 amostras de cada tratamento que perfazem um total de 180 amostras no total.

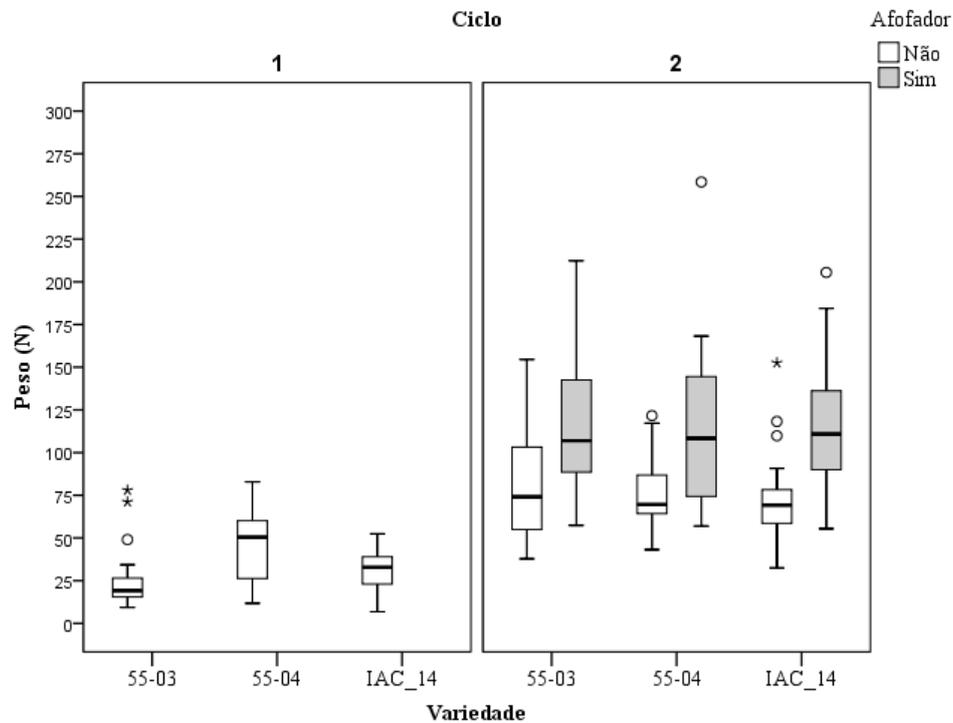
Figura 33 – Diagrama de boxplot para a distribuição da força máxima de arranquio



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em relação ao peso das raízes para os dois ciclos, houve um aumento com o crescimento das raízes para todas as variedades, que resultaria em maior produtividade das raízes (Figura 34). A maior variação de ganho de peso também foi para a variedade 55-03, que passou de uma mediana de 19,13 N para 74,07 N. Em relação ao uso do “afofador”, para o segundo ciclo, todas as variedades apresentaram um aumento de peso. A possível explicação, foi que houve uma redução de 30,5% para 11,7% na ocorrência de perdas vistas em campo com o uso do “afofador”. Essa associação foi significativa com o teste Qui-quadrado ($p=0,002$). O uso do “afofador” também acarretou no aumento da ocorrência de quebras de 32,2% para 63,3% de acordo com o teste Qui-quadrado ($p=0,001$).

Figura 34 - Diagrama de boxplot para a distribuição do peso das raízes.

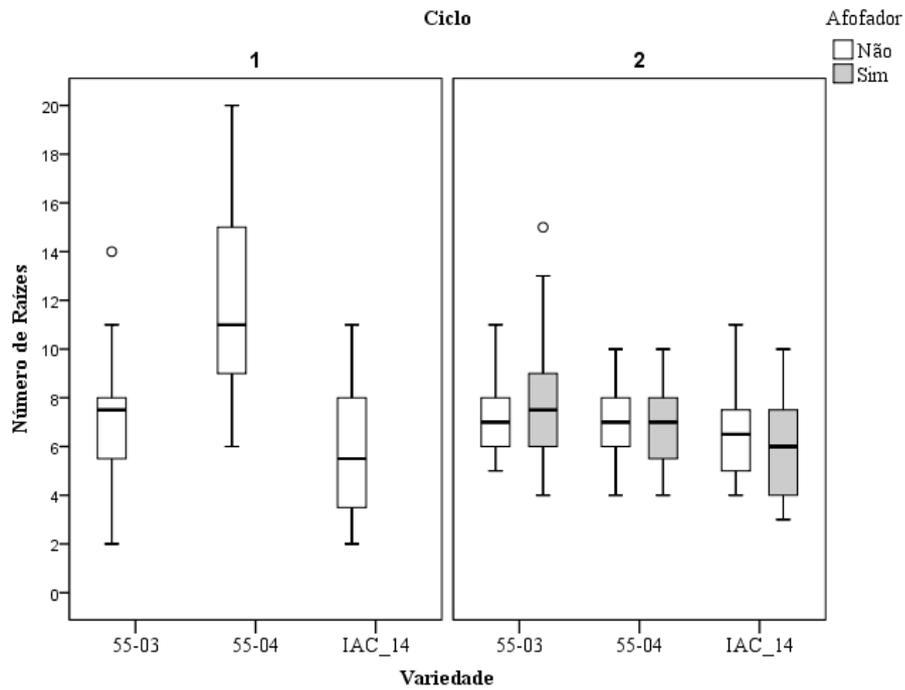


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.4.2. Geometria das raízes na planta de mandioca

Esta seção visa subsidiar informações geométricas para favorecer a localização das raízes e como sua geometria se altera com os ciclos da cultura. Estas informações podem favorecer a identificação da localização da cepa para a realização do destaque das raízes. A primeira etapa foi a contagem do número de raízes para as variedades que resultaram na distribuição apresentada no diagrama de boxplot da Figura 35. As variedades apresentaram uma distribuição assimétrica de ocorrência com medianas entre 6 a 8 raízes por planta. Somente a variedade 55-04 apresentou mediana de 11 raízes para o primeiro ciclo, o que pode ter sido causado por diferença nas condições de crescimento entre os locais de avaliação.

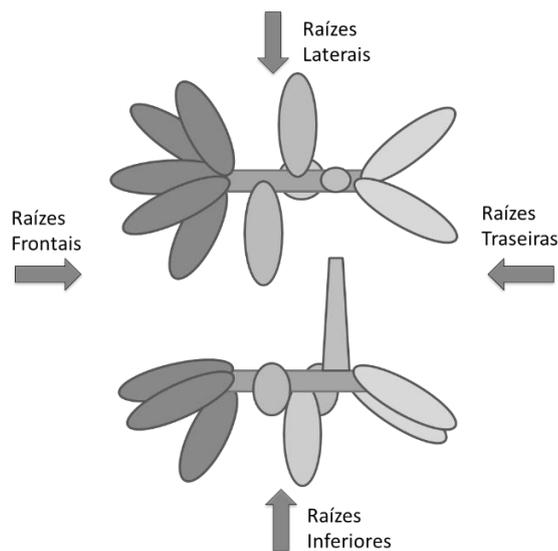
Figura 35 - Diagrama de boxplot para o número de raízes



Fonte: Elaborada pelo autor.

Além do número de raízes, verificou-se se existe uma tendência da localização das raízes na planta. Para essa localização, foi necessário identificar na planta os pontos de brotamento de ramos em relação a cepa e a partir dessa localização foram contadas as raízes conforme mostra a Figura 36.

Figura 36 – Esquema para a identificação da posição das raízes da planta



Fonte: Elaborada pelo autor.

A tendência foi comprovada pela contagem da ocorrência de raízes apresentados na Tabela 16. Assim, apesar do crescimento aleatório das raízes, estas possuem maior probabilidade de crescimento na região frontal da cepa, variando de 3 a 6 raízes para as variedades estudadas. Contudo o acesso a essa região deve ser priorizado para o projeto de ferramentas de cortes na realização da operação de destaque das raízes.

Tabela 16 – Posição das raízes na planta de mandioca

Variedade	Ciclo	Afofador	N	Frontais		Laterais		Traseiras		Inferiores	
				Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
55-03	1	0	20	5,25	2,10	1,70	1,69	0,35	0,75	0,05	0,22
55-03	2	0	20	5,58	1,64	0,95	1,03	0,63	0,96	0,05	0,23
55-03	2	1	20	4,95	1,67	2,10	1,59	0,70	1,26	0,30	0,57
55-04	1	0	20	5,80	2,40	3,55	1,36	1,95	2,11	0,50	0,61
55-04	2	0	20	4,85	1,57	1,75	1,16	0,45	0,60	0,05	0,22
55-04	2	1	20	4,35	1,46	1,25	1,21	1,63	1,41	0,35	0,49
IAC_14	1	0	20	2,65	1,76	2,25	1,21	0,80	0,95	0,05	0,22
IAC_14	2	0	20	4,05	1,39	1,05	1,28	1,50	1,15	0,05	0,22
IAC_14	2	1	20	3,40	1,27	1,20	1,06	1,70	1,34	0,00	0,00

Fonte : Elaborada pelo autor.

A tendência da localização das raízes na planta de mandioca pode ser vista na Figura 37, com a identificação de uma maior tendência de crescimento alinhado na direção da linha de plantio.

Figura 37 – Alinhamento das raízes em campo



Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Para uma primeira aproximação da geometria do formato das raízes, foi obtida por meio de fotografias da projeção da vista inferior das raízes sobre um papel milimetrado, que foi redesenhado em software de CAD. Para se ajustar as dimensões da escala das imagens utilizou-se papel milimetrado e as medidas máximas do diâmetro das raízes anotadas em planilha.

A Figura 38 mostra a área projetada de cinco diferentes amostras das variedades. Nesta foi possível visualizar um maior inchamento pelo aumento nos diâmetros das raízes, pelo acúmulo de água e amido com o passar dos meses do ciclo vegetativo. Esse engrossamento das raízes provoca uma diminuição no espaço de acesso a cepa, o que pode dificultar a operação de destaque das raízes

Figura 38 – Projeção da área ocupada pelas raízes no solo para os dois ciclos da cultura e três variedades estudadas.

55-03		55-04		IAC 14	
12 meses	20 meses	12 meses	20 meses	12 meses	20 meses

Fonte : Elaborada pelo autor.

4.5. Relação entre o desempenho e o custo da colhedora.

Para as avaliações econômicas utilizaram-se os custos operacionais da região do Paraná, para a colheita de mandioca industrial, contidos no Agriannual (2017). A Tabela 17

separa somente os custos da colheita semi-mecanizada compostos pelas operações de afofamento, transporte interno das raízes e colheita manual.

Tabela 17 – Custos das operações de colheita semi-mecaniza para o ano de 2016.

Operação	V.U.	Colheita de 10 a 12 meses		Colheita de 18 a 20 meses	
		Qtde	Valor	Qtde	Valor
Passagem do afofador	R\$ 19,57	2,5	R\$ 298,93	2,7	R\$ 322,84
Transporte interno de produção	R\$ 85,50	2	R\$ 171,00	3	R\$ 256,50
Colheita manual	R\$ 3,50	25	R\$ 837,50	40	R\$ 1.340,00
Custo Total da operação (R\$/ ha)			R\$ 1.307,43		R\$ 1.919,34

Fonte: Agriannual (2017)

Nota: Valor médio do dólar cotado em R\$ 3,28.

Com isso estabeleceu-se a hipótese que as colhedoras, para ser vantajosa, devem substituir os processos empregados com custos operacionais menores que o atualmente empregado para a mesma produtividade. Sem considerar nesse momento questões como a qualidade e confiabilidade da operação, que podem justificar um acréscimo nos custos de colheita. Assim, alterando o custo do equipamento, a capacidade de campo e a potência do trator para a mesma área de 20 hectares, foram calculados os custos operacionais, com a metodologia descrita por Pacheco (2000) e Hunt (2001), detalhada no apêndice F, e resultados apresentados na Tabela 18.

Na Tabela 18 foram demarcadas, em cinza, os custos operacionais menores que o processo de colheita semi-mecanizado atual. Nesta, foi possível constatar que tanto aumentos de potência ou do preço do equipamento, estão relacionados às maiores capacidades de campo para que a colhedora ainda seja vantajosa. Também, foi possível constatar que o segundo ciclo permite o emprego de equipamentos mais caros ou mais potentes. Por último, para o ano 2016, não foi possível estabelecer um custo para o equipamento maior que R\$ 300.000,00 para as potências e capacidades de campo selecionadas.

Tabela 18 – Custos operacional de colheita em função do preço de aquisição do equipamento e capacidade de campo

Preço da colhedora (R\$)	Capacidade de campo (ha/h)	Colheita de 10 a 12 meses		Colheita de 18 a 20 meses	
		Trator de 75 c.v. 4x2 (R\$/ha)	Trator de 100 c.v. 4x4 (R\$/ha)	Trator de 75 c.v. 4x2 (R\$/ha)	Trator de 100 c.v. 4x4 (R\$/ha)
50.000,00	0,10	2.493,38	3.194,38	2.493,38	3.194,38
50.000,00	0,20	1.370,13	1.720,63	1.370,13	1.720,63
50.000,00	0,40	808,50	983,75	808,50	983,75
50.000,00	0,60	621,29	738,13	621,29	738,13
50.000,00	0,80	527,69	615,31	527,69	615,31
50.000,00	1,00	471,53	541,63	471,53	541,63
100.000,00	0,10	2.835,25	3.536,25	2.835,25	3.536,25
100.000,00	0,20	1.664,50	2.015,00	1.664,50	2.015,00
100.000,00	0,40	1.079,13	1.254,38	1.079,13	1.254,38
100.000,00	0,60	884,00	1.000,83	884,00	1.000,83
100.000,00	0,80	786,44	874,06	786,44	874,06
100.000,00	1,00	727,90	798,00	727,90	798,00
200.000,00	0,10	3.519,00	4.220,00	3.519,00	4.220,00
200.000,00	0,20	2.253,25	2.603,75	2.253,25	2.603,75
200.000,00	0,40	1.620,38	1.795,63	1.620,38	1.795,63
200.000,00	0,60	1.409,42	1.526,25	1.409,42	1.526,25
200.000,00	0,80	1.303,94	1.391,56	1.303,94	1.391,56
200.000,00	1,00	1.240,65	1.310,75	1.240,65	1.310,75
300.000,00	0,10	4.202,75	4.903,75	4.202,75	4.903,75
300.000,00	0,20	2.842,00	3.192,50	2.842,00	3.192,50
300.000,00	0,40	2.161,63	2.336,88	2.161,63	2.336,88
300.000,00	0,60	1.934,83	2.051,67	1.934,83	2.051,67
300.000,00	0,80	1.821,44	1.909,06	1.821,44	1.909,06
300.000,00	1,00	1.753,40	1.823,50	1.753,40	1.823,50

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.6. Considerações finais e especificações para a colhedora.

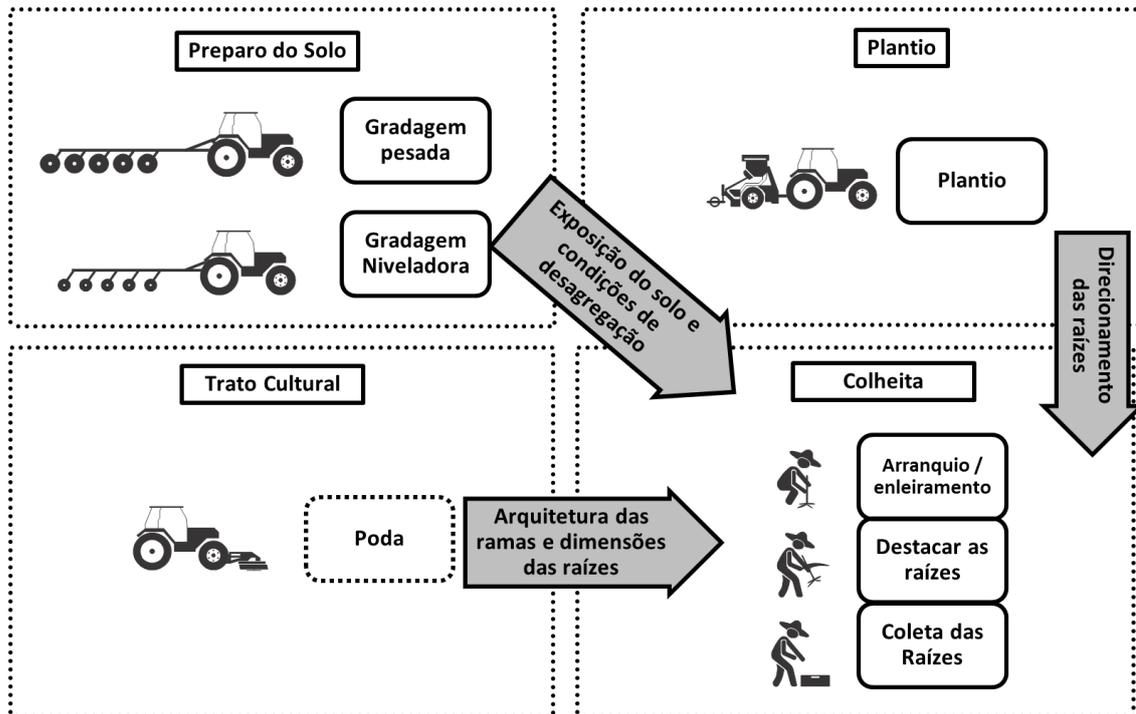
Para as áreas experimentais avaliadas, a característica granulométrica encontrada foi solos com coloração marrom escuro, com a maior presença de areias média, fina e grossa e com pouca argila. Em relação ao ensaio de cisalhamento direto, os solos apresentaram: ângulo de atrito de 33,3° e a coesão de 41,9 kPa para o primeiro ciclo e 38,3° e 24,8 kPa para o segundo ciclo respectivamente. A densidade encontrada foi de 1,66 g/cm³ e 1,86 g/cm³ para o primeiro e segundo ciclos respectivamente. Para maiores detalhes sobre os resultados da análise granulométrica e cisalhamento direto ver os Apêndices C e D.

Para as forças máximas de extração encontradas nos ensaios de campo realizados foram 1776N e 1861N, para o primeiro e segundo ciclo respectivamente. A desestruturação do solo com o uso do “afofador”, para o segundo ciclo, conseguiu reduzir a força máxima para 577,3N e influenciou a redução da ocorrência de perdas de raízes, que passou de 30,5% para 11,7%. Entretanto, para a realização da desagregação ou extração por laminas, a revisão demonstrou a necessidade de aplicação de uma de uma força de tração de 10 a 21kN dependendo das condições do solo e operação. O peso máximo das raízes encontrado foi de 83N e 116N para o primeiro e segundo ciclos respectivamente.

No capítulo 2, já se considerava que as colhedoras deveriam atender produtores dos estados do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul com tamanho de área de 10 a 20 hectares. Complementa-se essa premissa com o estabelecimento de um custo máximo R\$ 300.000,00 pelas análises comparativas de custo de produção. Neste caso seriam para colhedoras com capacidade de campo acima de 0,8 ha/h e potência de 75 a 100 CV, para o segundo ciclo da cultura. A consideração pode favorecer a adoção de implementos rebocados de menor custo a máquinas autopropelidas dedicadas.

Como foi visto pelos ensaios em campo existe uma diferença de geometria das raízes com o crescimento dos ciclos. Além disso, foi identificada uma localização preferencial das raízes na cepa, onde raízes apresentam 6 a 8 por planta e de 3 a 6 raízes estarão localizadas na parte frontal da cepa. A razão para tal crescimento preferencial está relacionada com a forma de deposição das maniva pelo plantio semi-mecanizado. Outro fator identificado foi alteração da arquitetura da planta com a realização da poda entre ciclos. Por fim, como visto pela revisão bibliográfica, as operações de preparo do solo podem alterar as condições de colheita como o uso de canteiros ou a manutenção de palhada de cobertura. Com isso, estas necessitam serem ajustadas em conjunto com a colheita. A Figura 39 resume os principais pontos de influência das operações agrícolas.

Figura 39 – Principais influências das demais operações do cultivo para a colheita de mandioca



Fonte: Elaborada pelo autor.

Da visita as regiões produtoras e da revisão da bibliográfica a colheita continua depende de operações manuais, como as operações de extração de raízes, desrama e coleta. Estas são realizadas com grande demanda de esforço, atenção, repetitividade e em posições desfavoráveis que podem ser prejudiciais a saúde do trabalhador. Com isso, as colhedoras devem eliminar ou reduzir a dependência dessa atividade pela mecanização. Outro ponto a ser melhorado, mesmo com o uso de protótipos, seriam as questões de segurança como a redução do uso de laminas nas operações da desrama das raízes, que podem causar acidentes.

Contudo, a Tabela 19 resume as principais especificações identificadas no cultivo a serem consideradas para o projeto de colhedoras. Estas especificações foram classificadas em necessários (N) ou desejáveis (D).

Tabela 19 – Lista de especificações para a colheita mecanizada de mandioca

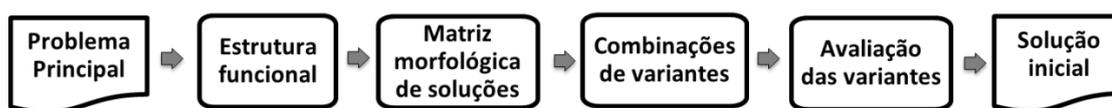
D/N	Lista de especificações para a colheita mecanizada de mandioca	
N	Geometria	1-Número médio de raízes por planta de 6 a 8.
N		2- De 3 a 6 raízes, estão localizadas na parte frontal da cepa.
N		3- Diâmetro máximo das raízes 1º Ciclo - 870mm; 2º Ciclo - 930mm
N		4- Profundidade de plantio da maniva 100 mm
N		5- Comprimento médio das Cepas 140 a 170 mm dependendo da variedade
N		6- Diâmetro máximo das cepas 1º Ciclo - 50mm; 2º Ciclo 70mm; Diâmetros mínimos 1º Ciclo - 21 mm; 2º Ciclo 30mm
N		7- Raízes foram desenhadas a partir de imagens para determinação de parâmetros geométricos
D	Cinemática	1- Faixa de capacidade de campo – 0,1 a 0,8 ha/h
N	Forças	1-Maxima Força de arranquio - 1º Ciclo – 1776 N; 2º Ciclo 1861 N; Afofador 577,3 N.
N		3-Faixa de força de arrasto do implemento - 10 a 21 kN - arrancadoras de mandioca
N		4-Peso máximo das raízes - 1º Ciclo 83N; 2º Ciclo 116,3N.
N	Energia	1- Faixa de potência de tratores utilizados - 50 a 100 Cv. (bibliografia)
N	Matéria	1- Solos em sua maioria Latossolos, compostos principalmente de areia média, fina e grossa, com pouca argila.
N		2- Ângulo de atrito: 1ºCiclo - 33,3º; 2º Ciclo - 38,3º
N		3- Coesão do solo: 1ºCiclo - 41,9kPa; 2º Ciclo - 24,8 kPa.
N		4- Densidades do solo encontradas; 1ºCiclo - 1,66g/cm³; 2ºCiclo - 1,86 g/cm³
D	Segurança	1- Reduzir o uso de laminas nas operações da desrama das raízes, tanto na colheita manual quanto em protótipos.
D		2- Diminuir o nível de atenção do operador na poda (roçadora frontal) e desagregação do solo (afofador traseiro)
N	Ergonomia	1 - Na colheita manual as operações de extração de raízes, desrama e coleta são efetuadas manualmente (grande esforço, respectivo e em posições desfavoráveis).
D	Controle de Qualidade	1- Perdas de colheita acima de 20% para Arrancadoras no processo convencional (CARVALHO;2009).
D		2- Reduções de perdas de raízes que permanecem no solo (melhorar)
N	Operação.	1- Numero usuais de plantadoras são de duas linhas.
N		2- Colhedoras devem seguir o padrão da deposição das manivas de plantio (crescimento direcional).
N		3- As operações de preparo do solo necessitam ser ajustadas em conjunto com a colheita
N		4- A colhedora deve conseguir colher após as alterações das plantas para o segundo ciclo (Ajustar a poda entre os ciclos).
D	Custos	1- Custo estimado do equipamento na faixa de R\$ 5000,00 (afofador) a 300000,00 (protótipo)
N		2-Equipamento ajustado a propriedades de 10 a 20 Ha.

Fonte: Elaborada pelo autor.

5. ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA A COLHEITA DE MANDIOCA

Nos capítulos anteriores foi possível identificar quais são os pontos de oportunidades em mecanização, definiu-se uma lista de requisitos para a colhedora de mandioca e identificaram-se as necessidades dos usuários do equipamento que resultaram na definição de parâmetros de avaliações de soluções para a colheita. O presente capítulo também seguiu a metodologia de projeto sistemático, em especificamente a etapa de concepção, ou também chamado de projeto conceitual (PAHL et al. 2005; BACK et al., 2013). Nessa etapa, o objetivo foi analisar o problema, propor alternativas de variantes e na sequência selecionar a alternativa mais indicada para a solução (BACK et al., 2013). Para o estudo da colheita mecanizada de mandioca o capítulo seguirá o seguinte fluxograma (Figura 40).

Figura 40 - Fluxograma para o estudo de alternativas de colheita



Fonte: Elaborada pelo autor.

O fluxograma se inicia, com a definição do problema inicial principal a ser resolvido com base nas informações levantadas nos capítulo anterior. Na sequência, gera-se uma estrutura funcional para a resolução do problema onde pensou-se em alternativas para o processo. A próxima fase foi a compilação de mecanismos para cada função em uma matriz denominada morfológica, que servirá de base para a geração de variantes de solução. Ao final as variantes foram avaliadas e classificadas através dos parâmetros definidos no capítulo 4.

5.1. Abstração do processo e identificação do problema principal

A primeira etapa do projeto conceitual será a abstração do processo existente para a colheita de mandioca e a identificação dos problemas essenciais (PAHL et al., 2005). Assim o problema principal para a pesquisa foi:

O equipamento deve promover uma maior mecanização das atividades agrícolas reduzindo assim, atividades de grande esforço, repetitivas e em posições desfavoráveis, onde

deverão ser feitos ajustes para permitir maior compatibilidade com a planta da mandioca para a redução de perdas das raízes e por último, serão selecionadas operações agrícolas que favoreçam o aumento de produtividade, controle da erosão do solo e redução de custos de produção.

5.2. Metodologia da síntese funcional para a geração de alternativas para a colheita

A presente seção define a metodologia da síntese funcional utilizada para a geração de soluções alternativas e uma forma de classificá-las segundo o atendimento dos requisitos de projeto. A primeira etapa da geração de variantes de soluções foi estabelecer uma estrutura funcional através de um diagrama de blocos onde cada função modifica os fluxos de massa, energia e sinal da entrada para a saída, apresentado na Figura 41 (PAHL et al., 2005; RODRIGUES et al., 2015; OTTO; WOOD, 2001).

Figura 41 – Esquema inicial do diagrama de massa -energia e sinal



Fonte: Adaptado de Pahl et al. (2005) e Rodrigues et al. (2015).

No caso da colhedora, iniciou-se com a função principal do equipamento de colher mandioca, e esta será desdobrada até um nível onde seja possível compor todas as operações necessárias a colheita. Como se trata de uma máquina o fluxo principal foi o de massa, no caso a planta de mandioca.

Na segunda etapa, buscou-se levantar princípios de mecanismos para a execução de cada função definida na etapa anterior, que foram compiladas em uma matriz morfológica onde as linhas representam as funções e nas colunas estão apresentadas alternativas de solução para o atendimento da função.

A terceira etapa foi a geração de variantes para a solução da colheita de mandioca, selecionando os princípios identificados para cada função da matriz formando um caminho na vertical da tabela para a geração de uma variante. Cada uma das variantes foi desenhada

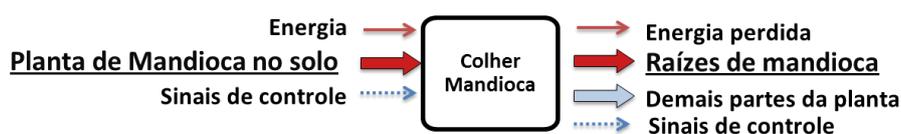
esquemáticamente em duas dimensões no software CAD, para isso foi utilizado o software Draftsight (DASSAULT SYSTEMES, 2016).

As variantes de solução foram avaliadas conforme os requisitos de projeto estabelecidos pelo Capítulo 4. As notas das variantes foram obtidas pelas médias ponderadas de cada requisito e sua importância, com a aplicação de uma análise de valor qualitativa seguindo a diretriz da norma alemã VDI 2225 e descrita por Pahl et al. (2005). Na norma a escala de valor estabelece que 0 a variante possua um rendimento insatisfatório para o requisito e 4 a solução possui um rendimento ideal.

5.3. Resultados da síntese funcional para o processo de colheita

A partir do problema inicial, passou-se a elaborar o desdobramento da função global de colher mandioca. A Figura 42 demonstra os fluxos para a função global da colhedora, como se trata de máquina, o fluxo principal será de massa, com a planta de mandioca no solo, a condição inicial de entrada para o problema. No fluxo de saída à condição desejável serão as raízes de mandioca destacadas e separadas das demais partes da planta. Complementando ao fluxo de massa, os fluxos de energia e sinais necessários para a execução da atividade.

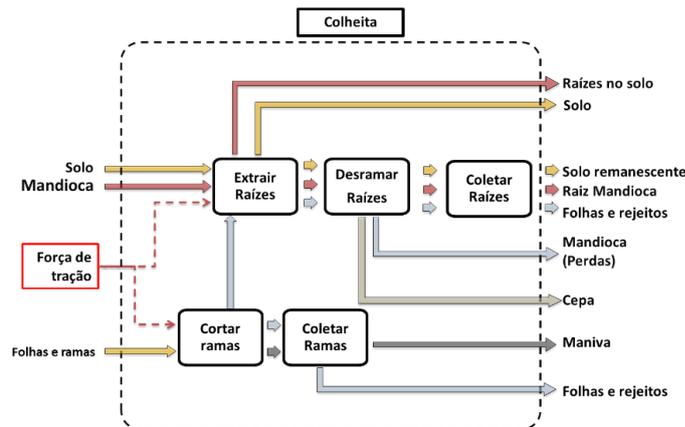
Figura 42 - Função global da colhedora



Fonte: Elaborada pelo autor.

A função global foi desdobrada em funções parciais assim como os fluxos de massa, energia e sinal, esses ainda tratados de forma genérica, pois não podem ser definidos com precisão pela inexistência de um princípio de solução. A Figura 43 mostra o diagrama de blocos de massa – energia - sinal para a colheita de mandioca.

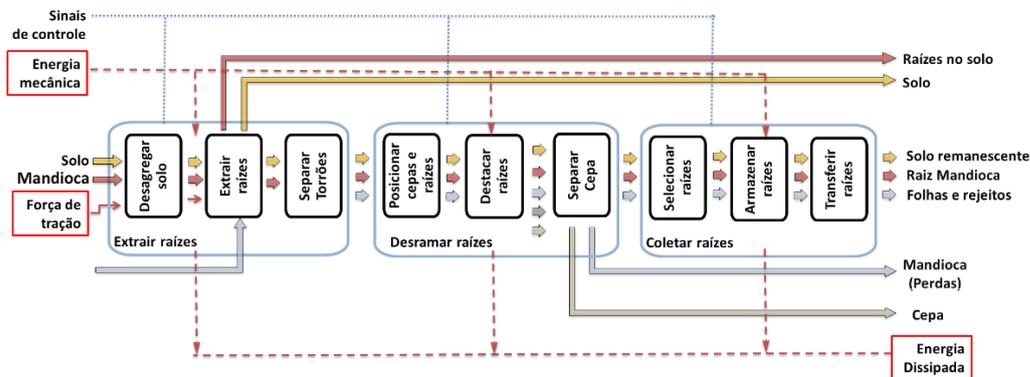
Figura 43 – Diagrama de massa, energia e sinal para a colhedora



Fonte: Elaborada pelo autor.

O sistema ainda pode passar por mais uma subdivisão em funções parciais com maior detalhamento. Assim, a Figura 44 mostra a subdivisão do ramo principal.

Figura 44 - Maior detalhamento do ramo principal do diagrama de funções para a colhedora



Fonte: Elaborada pelo autor.

As funções desagregar solo, extrair raízes, destacar raízes e selecionar raízes serão consideradas funções principais e as demais funções serão classificadas como necessárias, mas secundárias no uso do equipamento. Como o destaque das raízes é a principal restrição a soluções com maior mecanização foram estudadas formas alternativas ao processo que possam favorecer a operação.

Como visto na busca de patentes, os sistemas de destaque das raízes estão somente ligados ao sistema de extração por correias ou correntes paralelas. Esse é muito sensível à operação de poda e o acúmulo de material vegetal de cobertura do solo Figura 45.

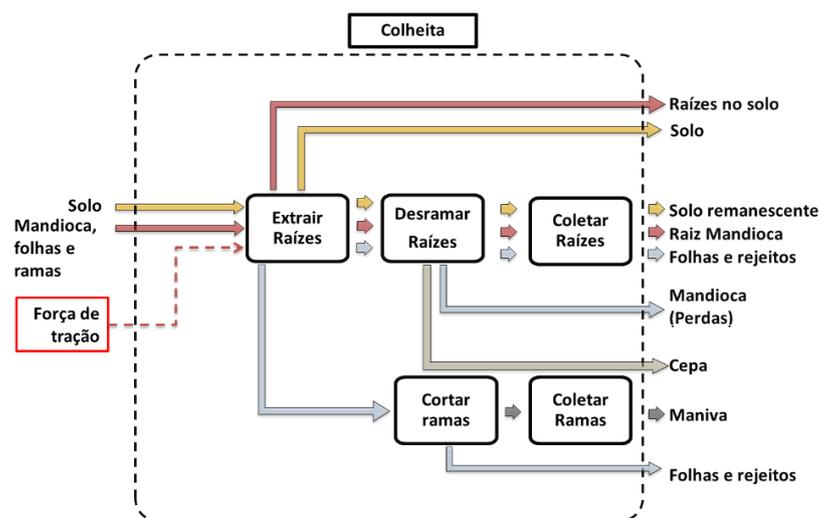
Figura 45 – Detalhes do sistema de extração de raízes por correias paralelas com coleta de mato



Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Por essa razão pensou-se na alteração da ordem do processo pela separação e corte das ramas após a extração das raízes, com a finalidade de favorecer a limpeza do solo e das raízes para a operação de extração, além de permitir a coleta de ramas de forma mecanizada. Nessa primeira alternativa, o ramo secundário inicia-se depois da extração das raízes, sendo que esta inversão pode favorecer a redução de rejeitos no momento de destaque das mesmas. Como mostra a Figura 46.

Figura 46 – Diagrama alternativo para as funções de colheita com a alteração da ordem do processo de corte das ramas.

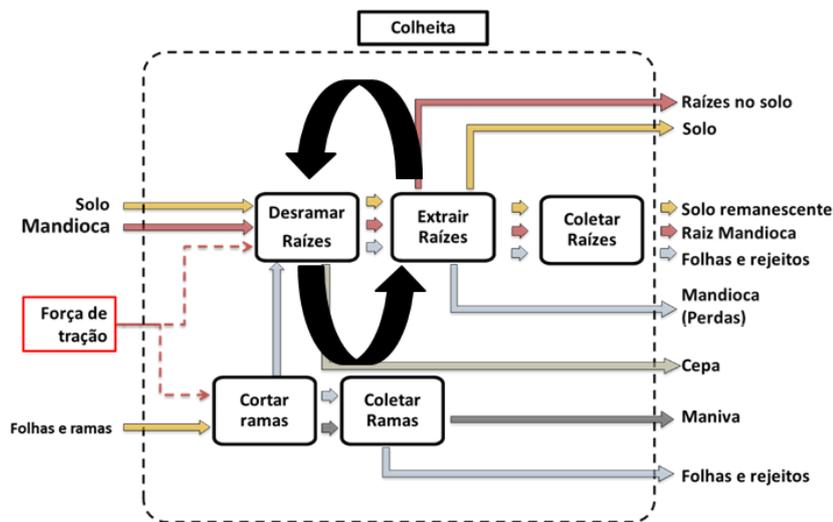


Fonte: Elaborada pelo autor.

A segunda alternativa para o processo de colheita foi a troca na ordem da desrama das raízes pela extração com o propósito de promover uma maior proteção das raízes na operação,

sendo que esta é executada ainda com as raízes no solo, além de evitar quebras e quedas pela operação de destaque. A Figura 47 mostra a alteração no processo.

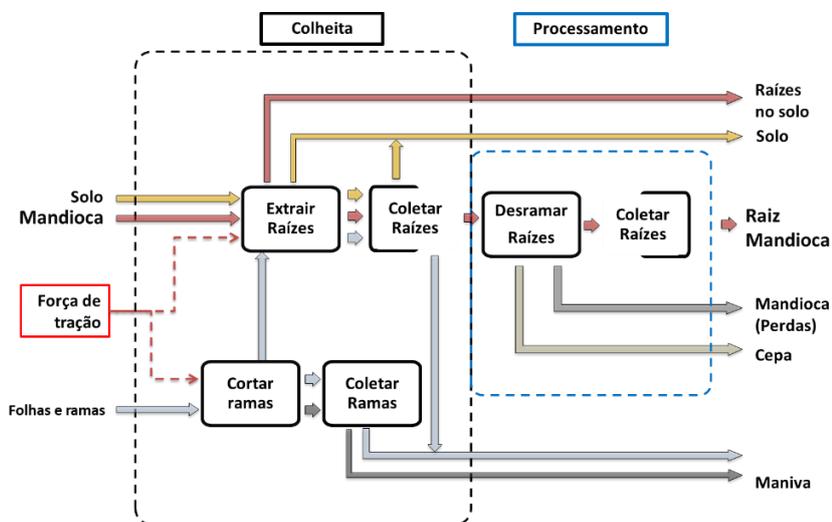
Figura 47 – Diagrama alternativo para as funções de colheita com a alteração da ordem do processo de desrama das raízes.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A terceira e última alternativa foi deslocar a operação de desrama para fora do campo, com o objetivo de favorecer o maior controle da operação, sendo esta transferida para barracões ou para o próprio processamento como pode ser visto na Figura 48.

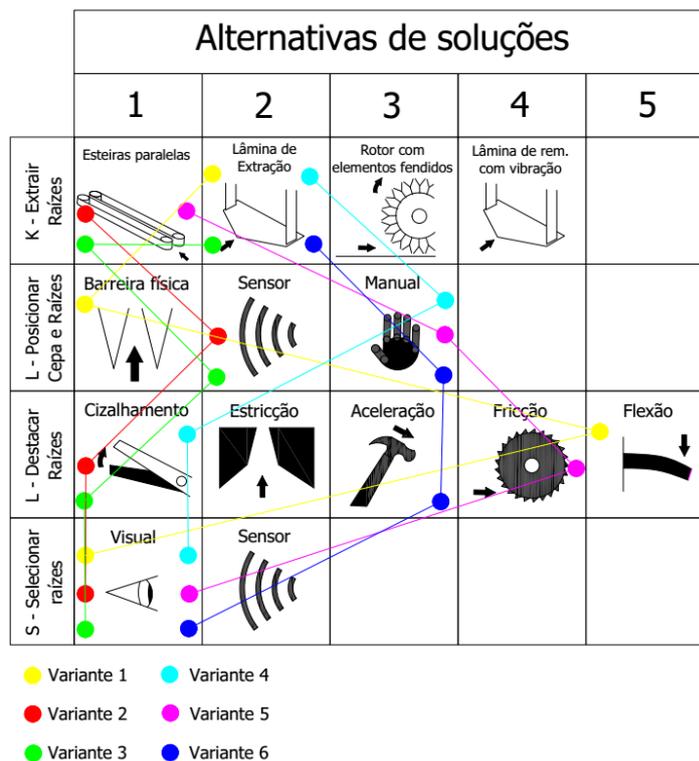
Figura 48 – Diagrama alternativo para as funções de colheita com o destaque no processamento



Fonte: Elaborada pelo autor.

Dessa forma, para se gerar uma variante de solução percorre-se um caminho nas colunas da matriz selecionando os mecanismos das linhas. A Figura 50 salienta a seleção para seis caminhos diferentes, para os principais pontos identificados a serem estudados para a mecanização.

Figura 50 – Detalhe da matriz morfológica para os gargalos da colheita identificados



Fonte: Elaborada pelo autor.

A seleção dos caminhos seguiu o critério das alternativas dos processos descritos no item anterior e geraram os desenhos esquemáticos das Figuras 51 a 56. Nos desenhos estão inseridos na legenda todos os mecanismos selecionados da matriz morfológica e as operações agrícolas necessárias, demarcadas pelas letras em maiúsculo nas figuras.

Inicialmente verificou-se a possibilidade da proposição de formas alternativas de combinações entre os mecanismos de extração e desrama, pois, como constatado no estado da arte, todos os protótipos que possuem destaque das raízes, estão associados ao sistema de extração por correias/correntes paralelas. Com isso, foram obtidas as variantes 1 e 3.

A variante 1, apresentada na Figura 51, trata-se de um implemento a ser montado nos três pontos do trator, para duas linhas da cultura por passada, constituído por uma lâmina inclinada de desestruturação do solo, para a liberação e direcionamento das raízes para dentro do equipamento. A lâmina é seguida por dois sistemas de separação do solo, o primeiro composto por uma série de oito barras redondas paralelas metálicas espaçadas e o segundo sistema formado por uma esteira de barras paralelas. Em continuidade, as raízes são direcionadas e posicionadas para a realização do destaque por um transportador intermitente, acionado por duas manivelas ligadas a um mecanismo de quatro de barras, que empurram as raízes pelas cepas até o sistema de destaque, uma a uma, por linha da cultura. O diferencial da variante foi na inclusão de um mecanismo de destaque através de barras que giram em torno de um eixo central, promovendo flexões nas raízes contra anteparos de barras cilíndricas para a separação. As raízes já destacadas são direcionadas a um reservatório basculante, rebocado paralelamente, através de esteiras e elevadores com anteparos para serem encaminhadas a seleção visual por trabalhadores fora do campo.

Outra opção para a processo atualmente empregado foi à inclusão de uma redundância para a redução de perdas de raízes, para o sistema de extração das raízes. Assim a variante 3, apresentada na Figura 53 é constituído por um implemento de duas linhas da cultura por passada montado no sistema de três pontos do trator. Como mencionado, previu-se uma redundância com o uso de uma lamina de extração e um conjunto de esteiras paralelas inclinadas para a realização da extração das raízes. O objetivo foi evitar o desprendimento de raízes da cepa no sistema de extração por correias que permaneceriam no solo após a passagem do implemento. A separação solo é realizada por rolos de cerdas e esteiras de barras metálicas paralelas. Na continuidade o sistema de correias paralelas direciona ao sistema de destaque das raízes a ser realizado por um cilindro hidráulico, mas com o diferencial da inversão do posicionamento das mesmas na operação, para diminuir o comprimento do implemento e favorecer o acesso a cepa. Após o destaque todas as raízes são direcionadas a um reservatório basculante rebocado paralelamente através de uma esteira com lençol de borracha e elevadores para o encaminhamento da seleção.

Como uma primeira alternativa de processo, foi a alteração da ordem do corte das ramas, que foi deslocado após a extração das raízes. Assim a variante 2, apresentada na Figura 52, foi constituída por um implemento de uma linha da cultura por passada a ser rebocado na barra de tração do trator. A extração das raízes é realizada por correias paralelas inclinadas e no percurso para o sistema de desrama e realizado a separação das ramas por serras circulares e do

solo por um rolo de cerdas. Na sequência, a desrama é realizada por um conjunto de facas laterais pivotantes, acionados por cilindros hidráulicos. Após o destaque, as raízes são encaminhadas por esteiras de barras e elevadores com anteparos para um reservatório basculante rebocado paralelamente, para o encaminhamento da seleção visual. Com a variante visa-se diminuir a influência da manutenção de grande quantidade de folhas e ramas pela execução da poda para os mecanismos de extração e destaque das raízes.

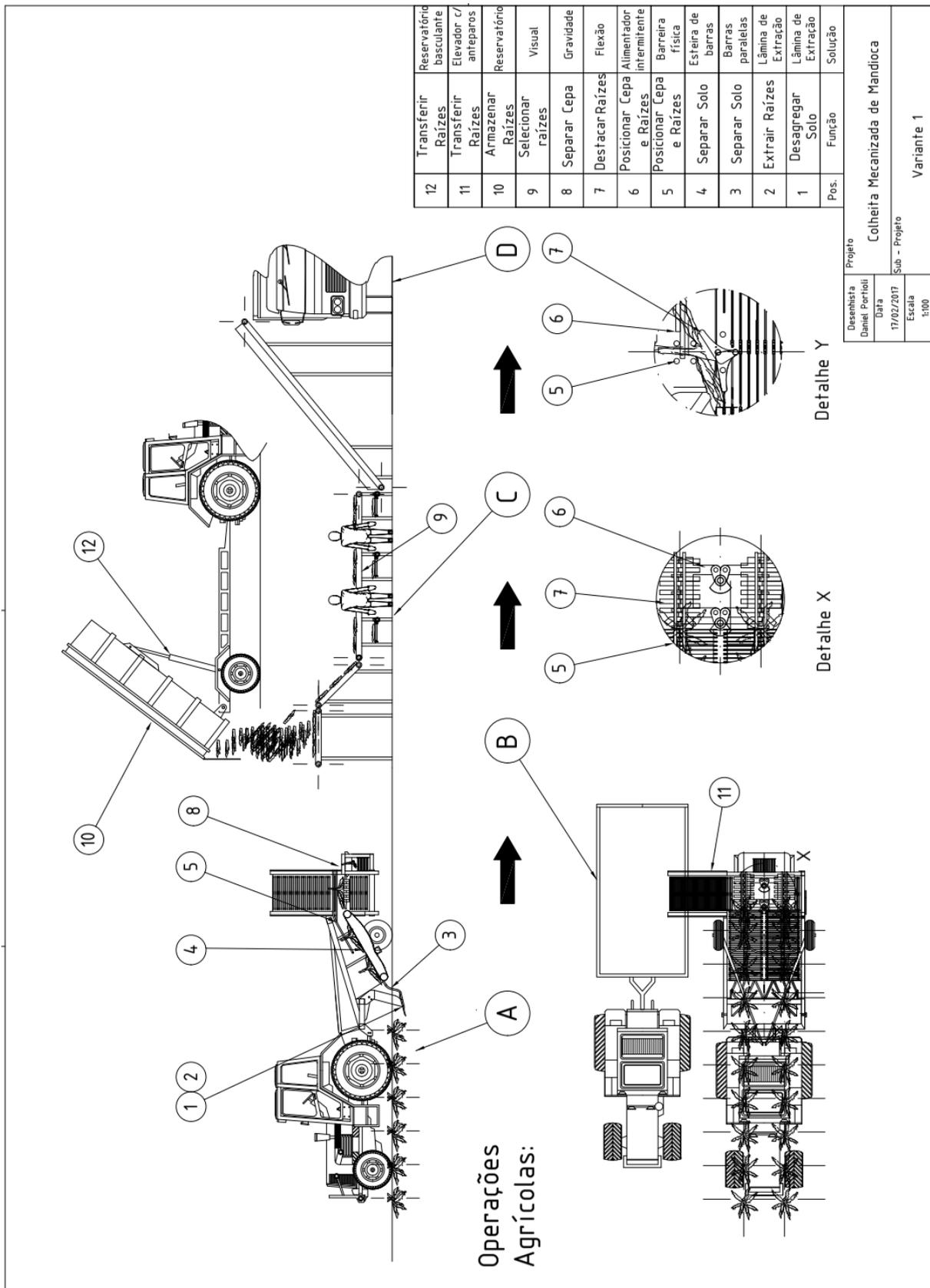
Como segunda alternativa do processo, com a alteração da ordem entre as operações de desrama e extração para promover maior proteção de quebras nas raízes gerou-se a variante 4, apresentada na Figura 54. A variante necessitou de um implemento agrícola adicional para a realização da colheita. Com isso, o primeiro implemento para quatro linhas de cultivo por passada, é composto por um implemento ligado ao sistema de três pontos do trator, que possui dois braços mecânicos movimentados por operadores. Assim, com a movimentação do trator os operadores caminham em conjunto com o implemento direcionando os braços para as posições das plantas nas linhas. O destaque é realizado no solo com a retirada das cepas por garras mecânicas, que agarram as cepas com direcionamento manual e depois rotacionam para a ruptura dos pedúnculos das raízes, com o objetivo de proteger as raízes de danos mecânicos. As cepas são liberadas pela garra em um triturador central no implemento. Um segundo implemento de duas linhas, realiza as operações de extração e coleta de raízes. Este é montado no sistema de três pontos e fixado também nas laterais do trator, e possui uma lamina de extração para a retirada das raízes já destacadas do solo. Na sequência a separação do solo é realizada por meio de esteiras de barras que as encaminham para a coleta a ser realizada por “Bags” de tecidos plásticos. Os “bags” são liberados após o seu enchimento nas linhas da cultura, e são coletados e encaminhados a seleção por um implemento montado nos três pontos do trator que possui um braço de içamento hidráulico.

Para a terceira e última alternativa de processo, que prevê a realização da desrama fora do campo, foram geradas as variantes 5 e 6. A variante 5, apresentada na Figura 55 é composta por um implemento para uma linha do cultivo, fixado no sistemas de três pontos e na lateral do trator, onde são montado o sistema de extração por correias paralelas inclinadas, com o objetivo de não interferir na desagregação do solo realizado pelo “afofador” em operação anterior. Na sequência as raízes são encaminhadas por esteiras de barra e de lona a um reservatório basculante. Após a coleta em campo, a desrama das raízes seria realizado por um sistema de serra rotativa de formato cilíndrico, alimentando por operadores. Assim, após o posicionamento da cepa a

serra realizaria o corte da região peduncular das raízes com o movimento vertical de seu eixo. Com o corte, as raízes caíram em esteiras a serem encaminhadas para a seleção visual.

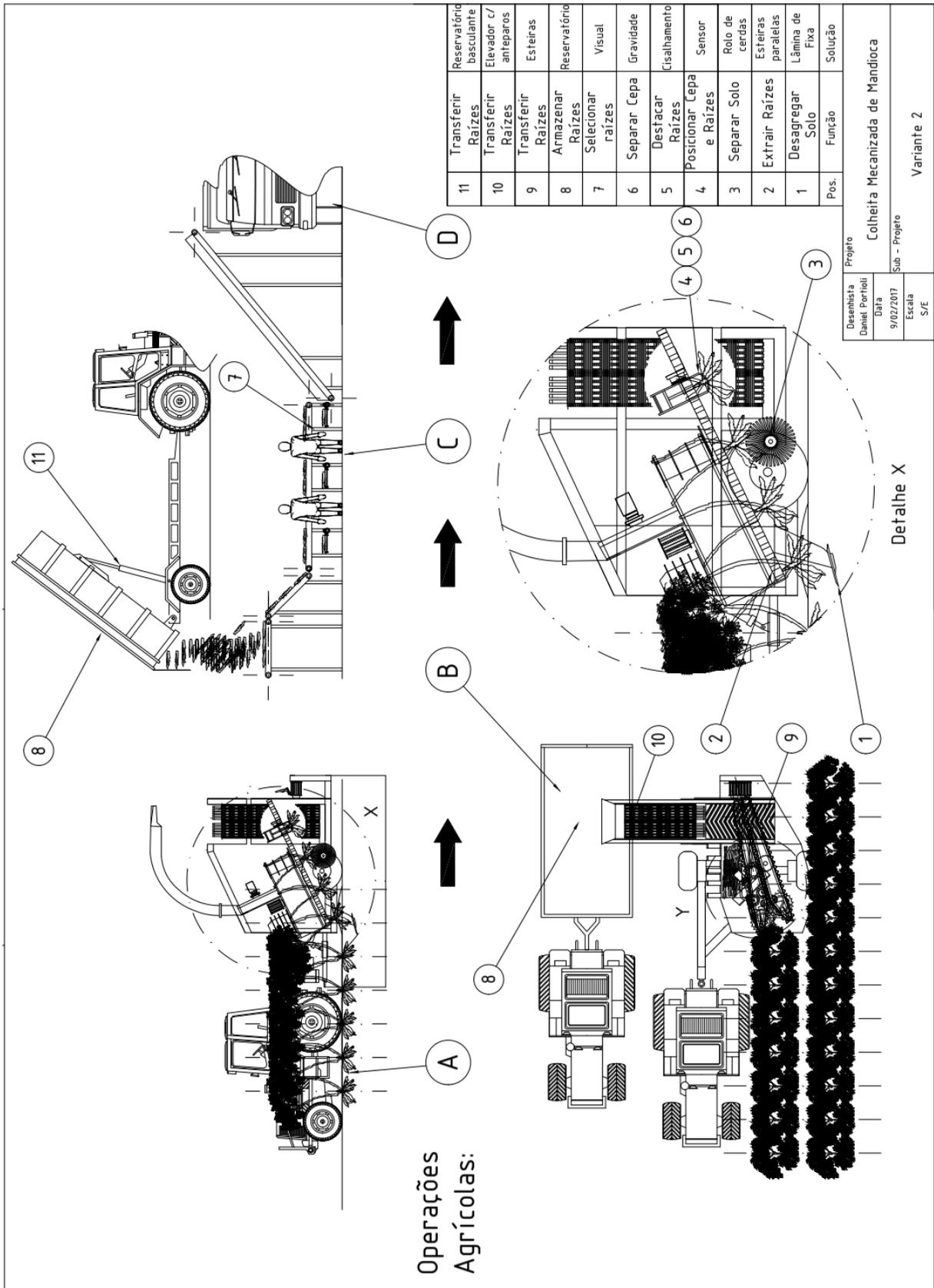
A variante 6, apresentada na Figura 56, é constituído por um implemento de duas linhas de cultivo por passada, fixado no sistema de três pontos do trator. Por analogia a variante 1, este possui uma lâmina para a realização da extração e uma esteira de barras para separação do solo, que direcionam a um reservatório basculante rebocado paralelamente. O diferencial da variante está no sistema de desrama, que seria realizado fora do campo por um sistema alimentando manualmente. Para o destaque das raízes, estas são agrupadas em lotes e encaminhadas a um mecanismo que promove vibrações mecânicas para a realização da ruptura dos pedúnculos das raízes da cepa. A partir da separação as raízes são encaminhadas para a seleção visual.

Figura 51 – Desenho esquemático da variante 1 de solução



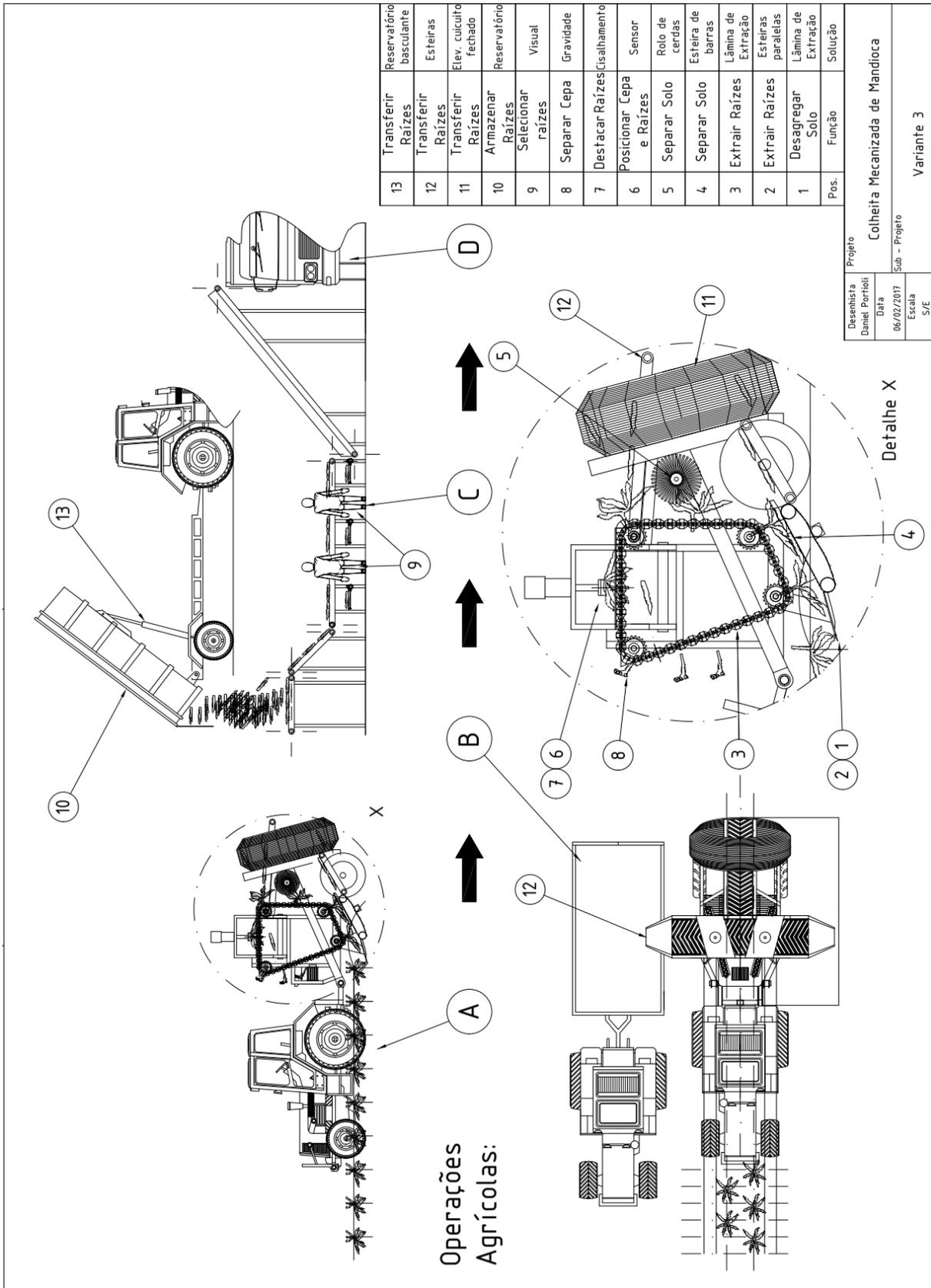
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 52 – Desenho esquemático da variante 2 de solução



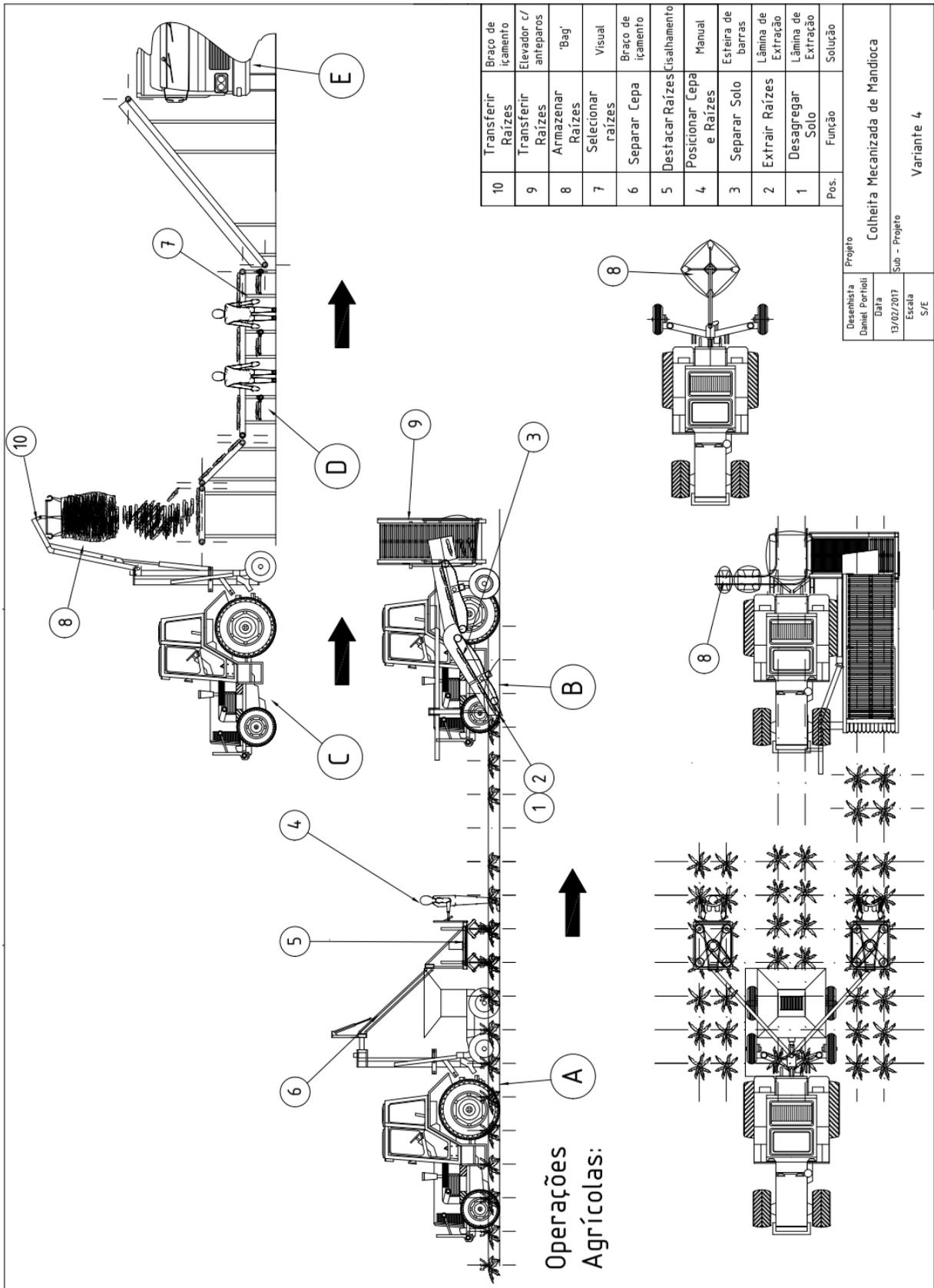
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 53 – Desenho esquemático da variante 3 de solução



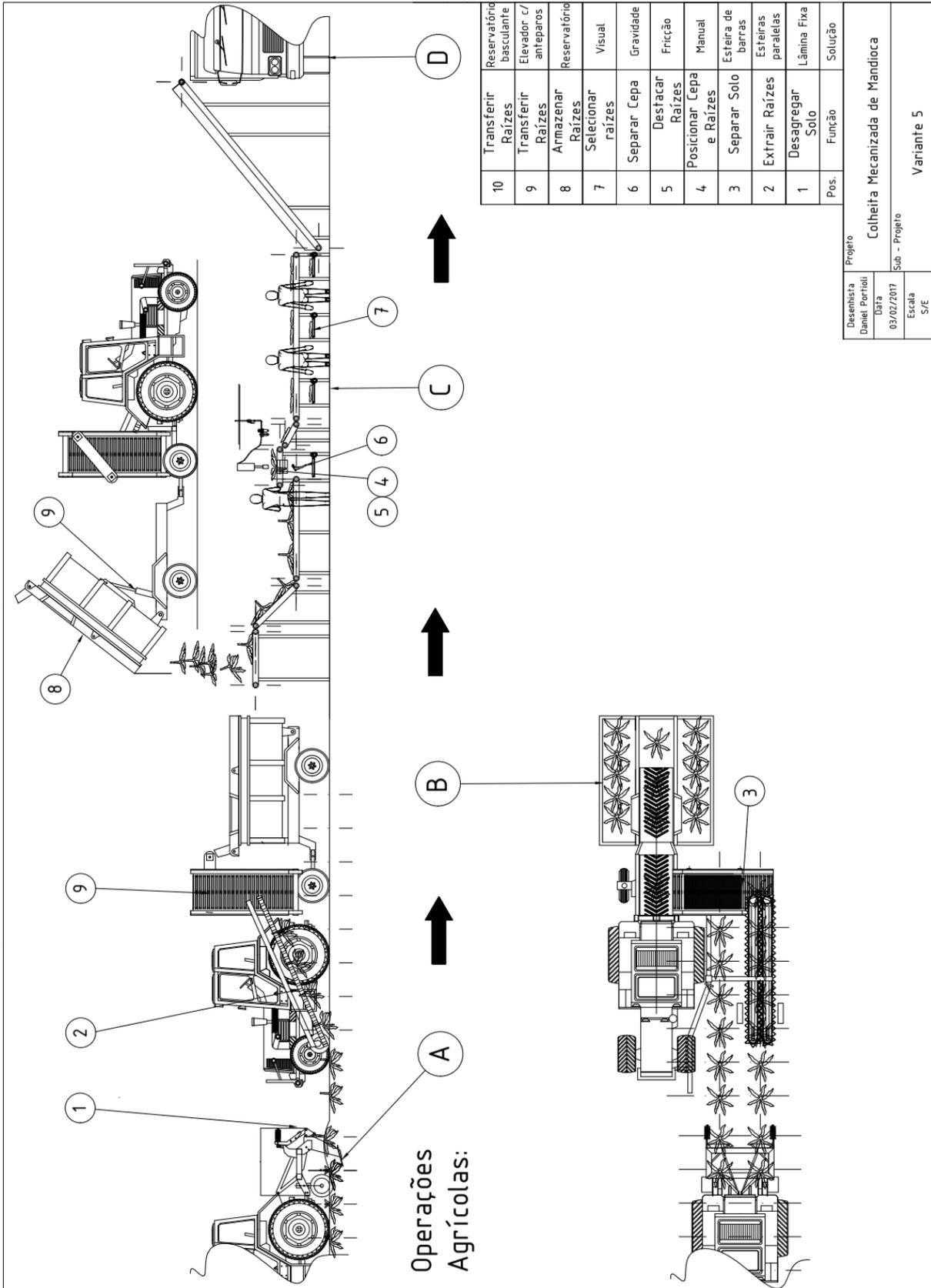
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 54 – Desenho esquemático da variante 4 de solução



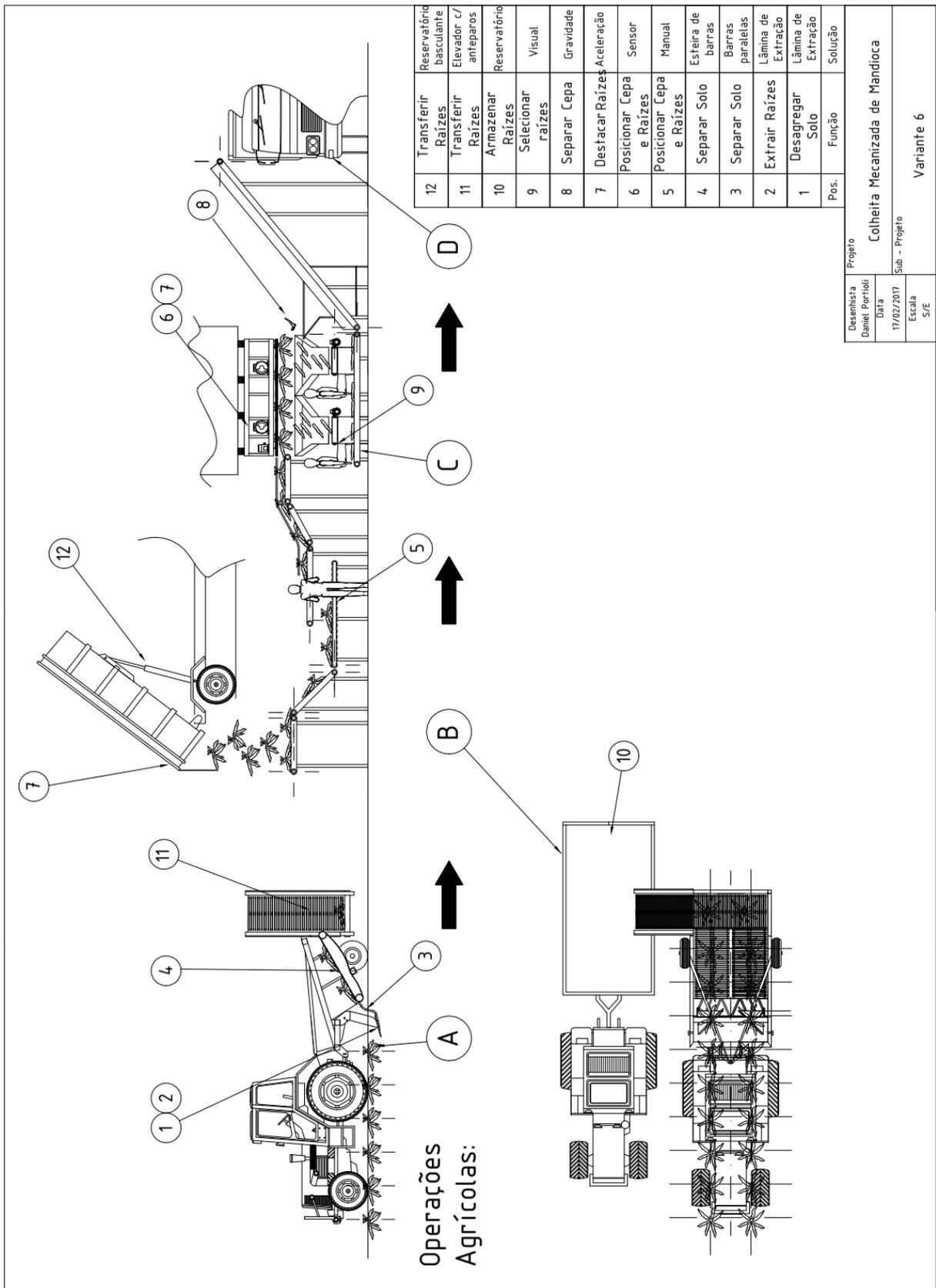
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 55 – Desenho esquemático da variante 5 de solução



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 56 – Desenho esquemático da variante 6 de solução



Fonte: Elaborada pelo autor.

5.4.1. Triagem de variantes de solução

A partir das variantes criadas foi necessária uma triagem com a verificação da compatibilidade das soluções com as funções definidas, se a variante era exequível e possível de ser implementada com o nível de conhecimento sobre os princípios empregados. A Tabela 20 mostra os resultados da triagem para as 6 variantes de solução criadas.

Tabela 20 – Triagem de variantes a serem avaliadas

	Compatível com a função do equipamento e a lista de requisitos		Custo aceitável	É possível obter um resultado com o estágio de conhecimento	Em princípio realizável ou exequível	Decisão sobre a seleção da variante
	Sim	Sim				
Variante 1	Sim	Sim	Sim	Sim	Continuar	
Variante 2	Sim	?	Sim	Sim	Continuar	
Variante 3	Sim	?	Sim	Sim	Continuar	
Variante 4	Sim	Sim	?	Sim	Continuar	
Variante 5	Sim	Sim	Sim	Sim	Continuar	
Variante 6	?	?	Não	Sim	Eliminar	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com a verificação, a variante 6 foi eliminada pois não existem garantias que o princípio de solução por vibração possa executar o destaque das raízes com qualidade, e sem danificar as mesmas, podendo ser incompatível com a função do equipamento. Com isso, a verificação desse princípio de solução fica como sugestão para trabalhos futuros. Assim somente as variantes de 1 a 5 foram avaliadas nas etapas posteriores e serão detalhadas a seguir.

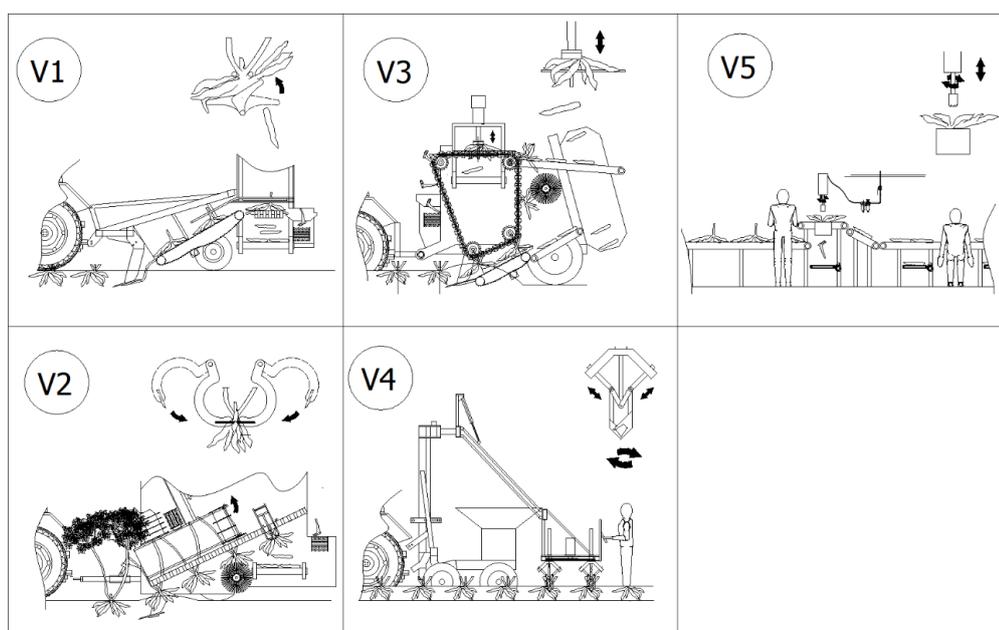
5.5. Resultados da avaliação de variantes de solução

5.5.1. Requisitos Sociais

Para os requisitos sociais envolveram avaliação dos quatro principais gargalos identificados nas visitas a campo que foram: a extração, posicionamento das cepas e raízes, destaque das raízes e a seleção. A Figura 57 resume esses principais pontos. Na variante 1, o

destaque é realizado através de barras que giram em torno de um eixo central promovendo flexões das raízes contra barras cilíndricas. Nas variantes 3 e 2, o destaque das raízes são executados por laminas de corte em diferentes direções, na variante 4, o destaque é realizado no solo com a retirada das cepas por garras mecânicas, que agarram as cepas com direcionamento manual e depois rotacionam para a ruptura dos pedúnculos das raízes, com o objetivo de proteger as raízes de danos mecânicos, sendo que sua retirada será executada em operação agrícola posterior por laminas de extração. Na variante 5, o destaque é realizado por uma serra em formato cilíndrico. O diferencial da variante 5, é o local onde será feita a operação, transferido para fora da operação em campo, para um barracão na própria propriedade ou até mesmo a possibilidade de ser incorporada no processamento. Para a variante 3, foram incluídos dois sistemas de extração de raízes, com o objetivo de redução de perdas. Para a variante 2, as extrações das raízes são executadas antes da realização da poda de colheita, com o objetivo de diminuir a quantidade de folhas e ramos, que podem interferir nas operações de extração e destaque. As operações de seleção de raízes, para todas as variantes, foram consideradas fora do campo, permitindo apesar do uso de mão de obra, melhores condições de conforto térmico e segurança, o que não limita também a duração da operação ao período da luz do dia.

Figura 57 – Detalhe do sistema de desrama das raízes para as variantes selecionadas



Fonte: Elaborada pelo autor.

Dessa maneira, através dos requisitos do projeto definidos foram avaliadas as variantes montadas. Para as quatro funções destacadas somente as variantes 4 e 5 necessitaram de auxílio

de operadores para o destaque das raízes, o que levou uma diminuição nas suas notas de avaliação. Não foram dadas notas máximas para nenhuma variante, pois a seleção das raízes ainda foi realizada de forma manual. A avaliação quanto a segurança dos operadores, quanto a exposição de riscos de segurança e atenção também foram menores para as variantes 4 e 5. Com isso, as variantes de 1 a 3 possuem as melhores expectativas para o emprego de mecanização como mostra a Tabela 21.

Tabela 21 – Resumos das avaliações para os requisitos sociais definidos

Número de funções mecanizadas de colheita			Presença de elementos móveis ou cortantes com proteção e pouca exigência de atenção do operador				
Número	Valor	Valor ponderado	Valor	Valor ponderado	Total	Total ponderado	
V- 1	3	3,00	0,34	3,00	0,22	6,00	0,56
V- 2	3	3,00	0,34	3,00	0,22	6,00	0,56
V- 3	3	3,00	0,34	3,00	0,22	6,00	0,56
V- 4	2	2,00	0,23	1,00	0,07	3,00	0,30
V- 5	2	2,00	0,23	1,00	0,07	3,00	0,30
Meta	4	4,00	0,45	4,00	0,29	8,00	0,74
Fator de pond.	11,3%		7,3%		18,6%		

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.5.2. Requisitos Ambientais

Nesse ponto as variantes foram avaliadas quanto à adequação a processos mais conservacionistas e a contribuição para a compactação do solo. Em relação a manutenção de matéria seca de cobertura, este pode prejudicar o rendimento de sistemas com correias duplas para a extração. Todos os sistemas que apresentam o destaque em campo, não auxiliado por operadores, podem ser prejudicados pela presença de palhada, onde devem ser previstos sistemas auxiliares para a retirada desta. Por essa razão, a princípio estes devem ser penalizados e um estudo mais detalhado da adaptação dos protótipos ao plantio direto devem ser avaliados de forma cuidadosa. Uma alternativa possível é a inclusão de operações com ancinhos ou sopradores, para a retirada dessa palhada nas operações de campo antes da passada da colhedora.

Em relação a compactação do solo foram utilizados os critérios, de números de operações e a expectativa do peso do implemento, pois nessa fase ainda não foram determinados de forma quantitativa. Com a avaliação as variantes que obtiveram melhores resultados foram as 1, 4 e 5, como mostra a Tabela 22.

Tabela 22 - Resumos das avaliações para os requisitos ambientais definidos

	Dificuldade na colheita do plantio direto		Peso		Número de operações com tráfego de máquinas			Total	Total ponderado
	Valor	Valor ponderado	Valor	Valor ponderado	número de operações	Valor	Valor ponderado		
V- 1	3,00	0,14	3,00	0,09	2,00	3,00	0,07	9,00	0,30
V- 2	2,00	0,09	3,00	0,09	2,00	3,00	0,07	8,00	0,25
V- 3	2,00	0,09	3,00	0,09	2,00	3,00	0,07	8,00	0,25
V- 4	3,00	0,14	4,00	0,11	3,00	2,00	0,05	9,00	0,30
V- 5	3,00	0,14	3,00	0,09	2,00	3,00	0,07	9,00	0,30
Meta	4,00	0,19	4,00	0,11	1,00	4,00	0,10	12,00	0,40
Fator de pond.		4,6%		2,8%			2,5%		10,0%

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.5.3. Requisitos técnicos.

Para a avaliação dos requisitos técnicos foram determinadas as expectativas de forma qualitativa pois, novamente as variáveis quantitativas só seriam obtidas com experimentos. Como visto, na revisão da bibliografia, a arquitetura da planta é alterada com a poda entre os ciclos, assim sistemas de extração por correias paralelas podem ser prejudicados pela presença de mais de uma rama, dificultando o correto abraçamento pelo mecanismo, então esse tipo de sistema pode exigir modificações na altura da poda entre ciclos para que favoreçam o arranquio.

Como foi visto, nos ensaios de campo, a ocorrência de perdas são favorecidas pela não execução da desagregação do solo e qualquer atividade mecânica pode gerar quebras e danos nas raízes. Entretanto, sistemas de correias paralelas possuem maior controle do posicionamento das raízes e assim favorecendo a operação de destaque. A variante 3, possui uma redundância de sistemas de extração que pesou para a maior garantia da retirada das raízes do solo. Outro ponto, a não execução da poda para a colheita pode favorecer o sistema de destaque pela redução das ramos na superfície do solo, que podem embuchar se acumularem no sistema. Com a avaliação as variantes 4, 5 e 3 obtiveram as melhores notas para as questões técnicas do cultivo, como mostra a Tabela 23

Tabela 23 - Resumos das avaliações para os requisitos técnicos definidos

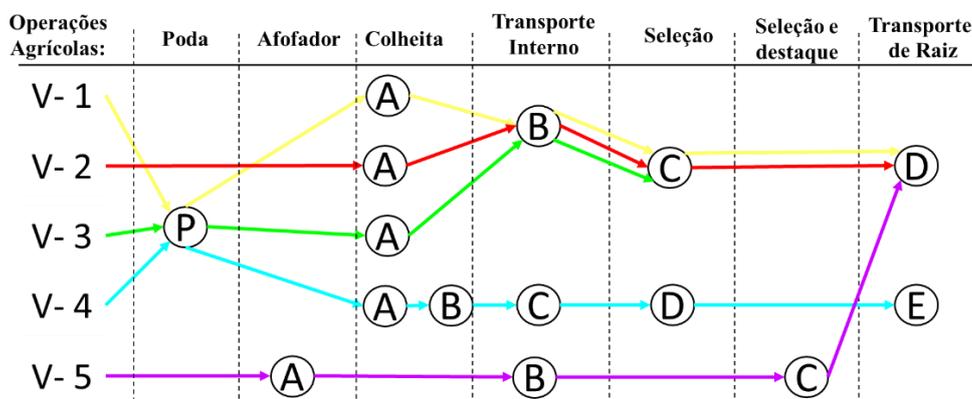
	Dificuldade na colheita de segundo ciclo		Índice de Qualidade		Total	Total ponderado
	Valor	Valor ponderado	Valor médio	Valor ponderado		
V- 1	2,00	0,13	1,50	0,39	3,50	0,52
V- 2	3,00	0,20	1,83	0,51	4,83	0,71
V- 3	2,00	0,13	2,17	0,62	4,17	0,76
V- 4	3,00	0,20	2,67	0,80	5,67	1,00
V- 5	2,00	0,13	2,33	0,69	4,33	0,82
Meta	4,00	0,27	4,00	1,13	8,00	1,40
Fator de pond.		6,7%		28,3%		35,0%

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.5.4. Requisitos Econômicos

Para a avaliação das variantes, estas apresentam as operações agrícolas segundo a Figura 58. Todas as variantes substituem a colheita manual pela passagem de implementos agrícolas e as diferenças serão detalhadas na sequência: A variante 2 elimina a necessidade da poda, pois essa será executada no próprio implemento. A variante 4 inclui a passagem de dois implementos distintos, a variante 5 mantém o uso do “afofador” mas elimina a necessidade do transporte interno da colheita, pois será executado pela colhedora, e inclui a operação de destaque fora do campo.

Figura 58- Operações agrícolas para as variantes de solução



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para o estabelecimento da capacidade de campo para os implementos, estabeleceu-se como fonte de energia, um trator de 75cv de potência e uma eficiência adotada de 75% na barra de tração (BALASTREIRE, 1990), resultando em aproximadamente 50 cv disponível para a execução da tarefa. Assim calculando a força de tração necessária para o arrastes da lamina, pela metodologia do apêndice E, e os dados da geometria das laminas dos implementos (Tabela 24) foi possível determinar a capacidade de campo. Para o cálculo da potência comparativa dos implementos foi fixado uma velocidade de 3 m/s com base no sistema crítico de movimentação de lamina no solo. Com isso, foi possível verificar qual sistema demanda maior potência para dada velocidade, que no caso foi a variante 3, pois possui um maior ângulo de ataque e largura da lamina. Para esse caso, a construção de canteiros pode favorecer a redução de esforços como obtidos no estudo de Carvalho (2009).

Tabela 24 – Geometria da lamina e espaçamentos ajustados para as variantes de solução

	Largura da lâmina (m)	comprimento (m)	Ângulo da lâmina	Prof. (m)	Entre linhas (m)	Entre plantas (m)	Entre a cada duas linhas (m)	Nº de plantas por hectare
V-1	1,44	0,54	15	0,3	0,9	0,8	0,9	14815
V-2	0,57	0,97	15	0,3	1,2	0,8	1,2	10823
V-3	1,60	0,57	15	0,3	0,6	0,8	1,2	15238
V-4	1,07	0,30	28	0,3	0,6	0,8	1,2	15238
V-5	1,06	0,48	15	0,3	0,9	0,8	0,9	14815

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para cada geometria de implemento, houve a necessidade da adequação dos espaçamentos entre as linhas do campo e essa modificação pode favorecer ou não a produtividade e a demanda de força para a tração do implemento. Assim, as variantes 3 e 4 necessitaram de espaçamentos menores entre plantas e maiores a cada duas linhas. Uma alternativa para que a redução do espaço entre plantas não altere o seu desenvolvimento, seria intercalar as plantas de diferentes linhas, mas essa opção necessita de comprovação experimental. A variante 2 necessitou de um maior espaçamento entre linhas, pois necessita recolher toda a parte aérea da planta para dentro da colhedora o que acarretou em menores números de plantas por hectare. É interessante notar que a força de arranquio tem uma relação com a área de raízes (AGBETOYE, 2000), então acredita-se que o espaçamento e o crescimento das raízes necessitam ser ajustados para força, mas essa variação ainda necessita de comprovação. As alterações dos espaçamentos para melhor adequação das variantes

influenciam grandemente a capacidade de campo e a produtividade destes, sendo as variantes 3 e 4 com maior expectativa de produtividade.

O comprimento dos equipamentos pode favorecer a movimentação em campo, foram comparados os comprimentos dos implementos como forma de aproximação do raio de giro e manobras em campo. A Tabela 25 resume os resultados obtidos nas avaliações.

Tabela 25 – Dados de rendimento teórico para as variantes de solução

	Capacidade de campo			Potência requerida (tração)			Comprimento				
	Ha/h	Valor	Valor ponderado	CV	Valor	Valor ponderado	m	Valor	Valor ponderado	Total	Total ponderado
V- 1	1,12	2,00	0,09	72,79	2,00	0,10	3,93	2	0,06	10,00	0,35
V-2	2,27	4,00	0,19	40,59	4,00	0,19	4,72	1	0,03	13,00	0,51
V- 3	0,89	1,00	0,05	102,05	1,00	0,05	4,19	1	0,03	7,00	0,22
V- 4	1,08	2,00	0,09	93,08	1,00	0,05	2,41	3	0,09	10,00	0,33
V- 5	0,76	1,00	0,05	65,76	3,00	0,15	4,51	1	0,03	9,00	0,32
Meta	0,7	4,00	0,19	50,00	4,00	0,19	1,50	4	0,12	16,00	0,60
Fator de pond.			4,6%			4,9%			3,0%		14,9%

Fonte: Elaborada pelo autor.

O tipo de interação entre o solo e o implemento modifica a demanda de energia para a execução da operação, sendo que o uso da lamina somente para a desagregação exige laminas menores e com menor força de tração, o que também se reflete na demanda de potência, dessa forma as variantes 2 e 5 obtiveram menores valores por colher uma linha por vez e o uso de laminas somente para a desagregação do solo. Com base nos critérios mensurados foi possível obter o custo operacional pela capacidade de campo, com a utilização de um custo operacional de um trator de 75 c.v. baseado em (AGRIANUAL, 2017), também estimado o custo de fabricação com base na complexidade dos sistemas e comparação de valores de protótipos similares visto no capítulo 3.

Tabela 26 - Resumos das avaliações para os requisitos econômicos definidos

	Produtividade			Índ. Mec.		Custo operacional*			Custo de fabricação			
	ton./ Ha	Valor	Valor pond.	Valor total	Valor pond.	Mil R\$/ha	Valor	Valor pond.	Mil R\$	Valor	Valor pond.	Total pond.
V- 1	52,1	3	0,18	2	0,32	0,70	2	0,18	100,00	2	0,13	0,81
V- 2	38,1	1	0,06	3	0,48	1,60	1	0,09	300,00	1	0,07	0,70
V- 3	53,6	3	0,18	2	0,20	1,79	1	0,09	300,00	1	0,07	0,53
V- 4	53,6	3	0,18	2	0,30	0,85	2	0,18	30,00/60,00	2	0,13	0,79
V- 5	52,1	3	0,18	2	0,29	1,06	1	0,09	150,00	2	0,13	0,70
Meta	60,0	4	0,24	4	0,60	0,32	4	0,36	10,00	4	0,27	1,46
Fator de pond.			6,0%		14,9%			8,9%			6,6%	36,4%

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Dados para o segundo ciclo, somente para as operações de colheita

Uma primeira avaliação, indica que as variantes 4, 2 e 5 tem maiores expectativas para a redução do custo de operação, vale ressaltar que a variante 4 exige duas operações de campo e o gargalo nessa situação é a operação que envolve operadores que foram calculadas com base na movimentação de um ser humano a pé andando a 1m/s, que deve ser validada com experimentos de campo.

5.6. Síntese da avaliação de variantes

A Tabela 27 a seguir resume as avaliações anteriores para cada classe de requisitos, assim foi possível uma ordenação das variantes pela soma dos requisitos e as três principais variantes foram na ordem de 4, 2 e 1.

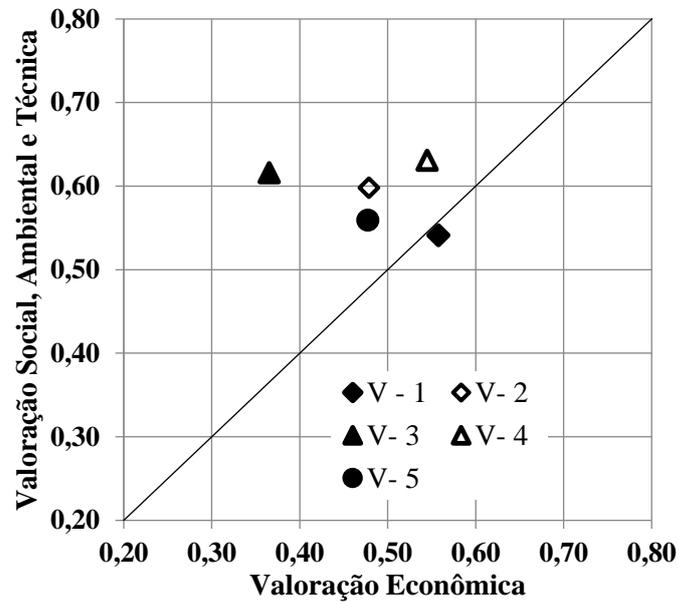
Tabela 27 - Resumos das avaliações para os requisitos de projeto definidos

	Social	Ambiental	Econômica	Técnica	Soma	Classif.
V - 1	0,56	0,30	0,81	0,52	2,19	3
V - 2	0,56	0,25	0,70	0,71	2,22	2
V - 3	0,56	0,25	0,53	0,76	2,10	5
V - 4	0,30	0,30	0,79	1,00	2,40	1
V - 5	0,30	0,30	0,70	0,82	2,12	4
Meta	0,74	0,40	1,46	1,40	4,00	
Ponderação	0,19	0,10	0,36	0,35	1,00	

Fonte: Elaborada pelo autor.

A classificação não é imutável e ciclos de melhorias podem ser feitos para as demais variantes, o importante é que a metodologia de projetos em engenharia ajudou a organizar e direcionar os estudos. A Figura 59 mostra de forma gráfica a soma dos requisitos normalizados pelas metas técnicas, sociais, ambientais e econômicas

Figura 59 – Gráfico de classificação das soluções geradas



Fonte: Elaborada pelo autor.

Com a Classificação, foi possível estabelecer uma variante mais próximas às necessidades de colheita que poderão ser desenvolvidas através dos requisitos identificados no capítulo 4. As demais variantes podem ser aprimoradas e reavaliadas em ciclos de melhorias. Com isso, o capítulo visa fornecer oportunidades para o desenvolvimento da colheita de mandioca a serem comprovadas em etapas posteriores do projeto sistemático em engenharia, com o projeto e experimentos de colheita.

6. CONCLUSÃO

A presente pesquisa buscou estudar o processo de colheita empregado na produção agroindustrial de farinha e fécula identificando as oportunidades para a mecanização da colheita. Com a aplicação da metodologia de projetos favoreceu a percepção da existência de lacunas de informações para o início do desenvolvimento de implementos de colheita.

Nesse sentido, os ensaios de campo, mostram que a força de extração é reduzida pela desestruturação inicial do solo e o posicionamento preferencial das raízes, orientados pela operação de plantio, devem ser explorados para a redução de perdas. Outro ponto, os ganhos de disponibilidade e produtividade do segundo ciclo da cultura, trazem novas necessidades à colheita devido às mudanças na arquitetura da parte aérea e a morfologia das raízes. Ainda existem diferentes condições de preparo e variedades que devem ser avaliadas para a seleção de processos mais compatíveis com as etapas da colhedora.

Definem-se as operações de extração, destaque e coleta das raízes como os principais gargalos em mecanização para o processo de colheita atualmente empregado e a revisão da bibliográfica comprovam avanços somente para a etapa de extração. As patentes e protótipos propõem soluções que incluem o destaque de raízes, mas sua efetividade necessita de comprovação em ensaios de campo. Portanto, o posicionamento e destaque das raízes ainda continuam como a principal limitação em razão do não pleno controle das condições das raízes, que apresentam grande aleatoriedade de forma e dependência das demais operações do cultivo para que favoreçam a colheita e ajuste das colhedoras.

Com as necessidades levantadas nos Capítulos 4 para a colheita de mandioca e a metodologia do QFD, resultaram na proposição de 19 diferentes critérios mensuráveis para o projeto e avaliação da colheita, tanto para novas variantes de colhedoras, como para a avaliação de protótipos existentes. Com isso, os projetos de colhedoras devem priorizar questões como: quantos dos gargalos conhecidos estão sendo previstos no projeto, o custo operacional da máquina torna viável a solução, é garantida a separação de cepas para o processamento, há previsão do segundo ciclo da cultura na concepção da máquina, entre outros.

Em relação à pesquisa de alternativas para a colheita, a decomposição funcional possibilitou reconhecer três alternativas de processo e cinco variantes de colhedoras com a apresentação de desenhos esquemáticos de funcionamento em campo apresentados no capítulo 5. Selecionou-se a variante composta por um implemento de braços mecânicos com

posicionamento assistido por operadores, onde o destaque das raízes é realizado por garras mecânicas para a separação da parte aérea das plantas ainda no solo, como resultado da análise dos parâmetros do capítulo 4. Por fim, a pesquisa contribui para orientar o projeto preliminar de colhedora a serem desenvolvidos e validados, com a construção de protótipos com ensaios em campo e em pesquisas sequentes.

6.1. Sugestões para trabalhos futuros

Como primeira sugestão de trabalhos futuros, seria o projeto preliminar das variantes melhores avaliadas pela presente pesquisa, como uma alternativa de solução para a mecanização da colheita de mandioca.

Com a definição de variantes de soluções para o destaque das raízes, seu correto dimensionamento depende do levantamento de medidas de esforços para a separação da raiz da cepa, para as diferentes variedades empregadas na indústria.

Outro tema seria o estudo de diferentes condições de preparo do solo como por exemplo, adensamento de plantas, construção de canteiros e plantio direto, influenciam nas condições de esforços de arranquio.

Como uma sugestão da presente pesquisa, sugere-se um aprimoramento no estudo de viabilidade para a alteração das atividades de destaque e seleção das raízes das áreas produtoras para as indústrias de processamento de farinha e fécula de mandioca.

Por último, o projeto de mecanismos para funções secundárias que podem trazer benefícios ao rendimento da colheita, como a inclusão do mecanismo de coleta de cepas para as colhedoras, retirando o subproduto do campo, sistemas para a separação de folhas, palhada e coleta de ramas, para viabilizar o destaque das raízes em sistemas com a manutenção de cobertura vegetal no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGBETOYE, L. A. S., KILGOUR, J. and DYSON, J. **Performance evaluation of three pre-lift soil loosening devices for cassava root harvesting.** Journal of Soil and Tillage Research. V. 48, p. 297-302, 1998.

AGBETOYE, L. A. S., **Developments in cassava harvesting mechanization.** West Indian Journal of Engineering. V. 22, n.1, p. 11-19, 1999.

AGBETOYE, L. A. S., **Prediction of the lifting forces for cassava harvesting.** Journal of Agriculture Engineering Research. n.75, p. 39-48, 2000.

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira.** São Paulo, SP FNP Consultoria & Comercio, 2014.

_____. **Anuário da agricultura brasileira.** São Paulo, SP FNP Consultoria & Comercio, 2017.

AGUIAR, E. B. **Estudo da poda da mandioca (*Manihot esculenta Crantz*).** 2011. 161f. Tese (Doutorado em agronomia) Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu- SP, 2011.

ALVES, A. B. **Análise do desempenho de cadeias produtivas agroindustriais da mandioca: Estudo de caso nas principais regiões de produção do Brasil.** 2012. 160 f. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2012.

ALVES SOBRINHO, T. **Avaliação do desempenho de quatro protótipos de arrancadoras de mandioca.** 1981. 39 f. Dissertação (Mestrado em Mecanização Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 1981.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D3080/D3080M:** Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. Philadelphia 2012.

AMPONSAH, S. K., et al. Mechanical cassava harvesting as influenced by seedbed preparation and cassava variety. **Applied Engineering in agriculture** V.30, n.3- American, p391-403, 2004.

ARAÚJO, J. C., DA SILVA, M. R., DIONIZIO, A. S. Sistema mecanizado para a cultura da mandioca (*Manihot esculenta Crantz*): Uma análise da disponibilidade de máquinas. In: XV Congresso Brasileiro de Mandioca: Inovação e sustentabilidade: da raiz ao amido, 2013. Salvador **Anais...** Salvador BA. 2013 p. 1060-1064.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016 12 p.

_____. **NBR 9604: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas — Procedimento**. Rio de Janeiro, 2016 9 p.

BACK, N. et al. **Projeto integrado de produtos: Planejamento, concepção e Modelagem**. Barueri, SP Manole LTDA, 2008.

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas Agrícolas**, 1º ed. São Paulo: Manole LTDA, 1990

BAXTER, M. **Projeto de Produto: Guia prático para o design de novos produtos** 3º ed. São Paulo: Bluncher LTDA, 2011.

CARDOSO, C. E. L., **Competitividade e inovação tecnológica na cadeia agroindustrial de fécula de mandioca no Brasil**. 2003. 207 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2003.

CARVALHO, F. M. **Análise econômica de sistema de plantio e colheita da mandioca**. 2009. 67f. Tese – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Análise Econômica Mensal sobre o Setor de Mandioca e Derivados no Brasil**: <<http://cepea.esalq.usp.br/mandioca/?page=470>>. Acesso em 20/09/2016.

CSILLAG, J. M. **Análise de valor: metodologia do valor: engenharia do valor, gerenciamento do valor, redução de custos**. São Paulo: EAESP/FGV/NPP, 1991. 116p.

CURY, J. A. **Disposição introduzida em equipamento colhedor, limpador e enleirador de mandioca e congêneres**. BRMU 8501654 U. 15 Ago. 2005, 10 jan. 2006.

DASSAULT SYSTÈMES. DraftSight. Version 2016. Dassault Systèmes, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistemas de produção de Mandioca**. 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_centrosul/colheita.htm>. Acesso em: 18 mar. 2015.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crops**. 2013. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 27 de ago. 2015.

FARIAS, A. R. N. et al. **Aspectos Socioeconômicos e Agrônômicos da Mandioca**. Cruz das Almas; Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. 871 p.

FELIPE, F. I. Estudo multicaso das formas plurais de coordenação das fecularias na compra de mandioca no Estado do Paraná. In: 53º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2015. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2015. 20 p.

FEY, E., et al. Influência do manejo do solo sobre a produtividade da mandioca de um e dois ciclos. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, V. 3, n. 1. 2007

FEY, E. **Aperfeiçoamento de um mecanismo sulcador para plantio direto de mandioca**. 2009, 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

FEY, E., et al. Efeito do sistema plantio direto sobre a produtividade da mandioca (*Manihot esculenta crantz*) em sangão – SC. In: XV Congresso Brasileiro de Mandioca, 2013, Salvador. **Anais...**, Salvador, 2013.

FIGUEIREDO, P. G. **Morfo-anatomia de raízes tuberosas de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) cultivar IAC 576-70 em diferentes preparos do solo**. 2012. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

FONSECA, A. J. H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional**. 2000, 198 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2000.

FUKUDA, W. M. G.; GUEVARA, C. L. **Descritores morfológicos e agrônômicos para a caracterização de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*)**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 1998. 38p. (Documento, 78).

GABRIEL FILHO, et al. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Ciência Rural**. v.30, n.6, p. 953-957, 2000.

GAMIERO, A. H., et al. **A indústria do amido de mandioca**, Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2003. 197p. (Documento, 6).

GILL, W. R., BERG, G. E V. **Soil dynamics in tillage and traction**: Agriculture Handbook No. 316. Agricultural research service, US Department of Agriculture, 1968.

GOEBEL, M. A. **Organização e Coordenação do sistema agroindustrial da mandioca na microrregião oeste do Paraná**. 2005. 148 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento regional e Agronegócio) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2005.

GONÇALVES, A. A. **Máquina colheitadeira de mandioca**. BR 20 2012 009552-7 U2. 23 Abr. 2012, 26 Nov. 2013.

HAINAN UNIVERSITY. He Caixia, Liao Yulan, Lin Dachun, Sun Youpan. **Dig-pull type cassava harvester**. CN101836535 A. 22 set. 2010, 18 jan. 2012.

HENNIPMAN, W. **Disposição Construtiva aplicada em máquina colhedeira de tubérculos**. BRMU 9102105-7 U2, 01 set. 2011, 06 ago. 2013.

HUNT, D. **Farm power and machinery management**, 10th ed. Illinois, Waveland press, 2001. 368 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro, 2006.

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>
acessado em: 10/06/2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da produção Agrícola**, 2016.

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>> acessado em: 10/06/2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas de solos do Brasil**, 2017.

<<https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos>> acessado em: 15/06/2017.

IEA. **Estatística da Produção Paulista 2016**. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjectiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1> Acesso em: 20 de set. 2016.

KEMP, D. C., Harvesting: A field demonstration and evaluation of two machines. In: Cassava harvesting and processing: **Proceedings...** Ottawa: IDRC, p. 53-57, 1978.

KOLAWOLE, O. P., AGBETOYE, L. A. S., OGUNLOWO, A. S. Strength and elastic properties of cassava tuber. **International Journal of food engineering**. v. 3, n.5, 2007.

KVITSCHAL. M. V. et al. Avaliação de clones de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) para indústria na região Noroeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 25, n.2, p. 299-304, 2003.

LABRE, J. A. V., KLAUS, D. **Colheitadeira e processadora de raízes e tubérculos e sistema de arranquio e despincamento para colheitadeira de raízes e tubérculos**. BR10 2013 011372-7 A2. 08 Mai.2013, 16 Dez. 2014.

LIU, S., WENG, S., LIAO, Y., ZHU, D. Structural bionic design for digging shove of cassava harvester considering soil mechanics. **Journal of Applied Bionics Biomechanics**, v.11, p.1-11, 2014.

LORENZI, J. O., **Mandioca**. Campinas: CATI, 2012, 129p. (Boletim técnico, 245).

MAHL, D. et al. Influência do preparo do solo sobre o desenvolvimento da mandioca e das propriedades do solo. In: 16º Congresso Brasileiro de Mandioca e 1º Congresso Latino-Americano e Caribenho de Mandioca, 2015, Foz do Iguaçu. **Anais...**, Foz do Iguaçu, 2015.

OLIVEIRA, J. O. A. P. et al. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. v.25, n.2, p.443-450, 2001.

OTSUBO, A. A. et al. Avaliação de clones de mandioca visando o processamento industrial em dourados, MS. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v.3, n.1, p.78-81, 2007.

OTSUBO, A. A. et al. Sistema de preparo do solo, plantas de cobertura e produtividade da cultura da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n.3, p.327-332, 2008.

OTSUBO, A. A. et al. Desempenho de cultivares elites de mandioca industrial em área de cerrado do Mato Grosso do Sul, **Semina: Ciências Agrárias**, v.30, n. sup.1, p.1155-1162, 2009.

OTTO, K., WOOD, K. **Product Design: Techniques in reverse engineering and new product development**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001. 1104 p.

PACHECO, E. P. **Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000.

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 411 p.

PEIPP, L. KOCH, R., MAEHNERT, E., VENT, W. **Verfahren und vorrichtung zur ernte von maniok**. DD250450 A1, 31 out. 1985, 14 out. 1987.

PEIPP, L., MAHNERT, E., NEUMANN, R. Latest findings on the harvest of cassava roots according to the dig and pull principle. **Acta Horticulturae**. v.380, p.293-296, 1994.

PEQUENO, M. G. et al. Efeito de três sistemas de preparo do solo sobre a rentabilidade econômica da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Acta Sci. Agron**. v. 29, n3, p.379-386, 2007.

PONTES E. F. R., **Máquina despnicadora de mandiocas em geral**. BR 102014002665-7 A2, 03 fev. 2014, 20 out. 2015.

PRADO, C., **Aperfeiçoamento em implemento agrícola para arrancar mandioca, batata e outros tubérculos**. BR6201307 U. 23 Set. 1982, 22 mar. 1983.

RAMOS JUNIOR, E. U., et al. Avaliação de genótipos de mandioca na região sudoeste do Estado de São Paulo. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 5, n. 1, p. 249-254, 2009.

RIEDNER, L. N. **Avaliação da sustentabilidade da agricultura familiar no oeste do estado do Paraná, em propriedades produtoras de mandioca, considerando sua participação nas fecularias**. 2014. 144 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural Sustentável) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Candido Rondon, 2014.

ROBECK, L. E. **Colhedora totalmente mecânica de mandioca**. BR10 2013 020952-0 A2. 06 Ago. 2013, 24 Nov. 2015.

RODRIGUES, A.R., SOUZA, A. F., BRAGHINI JUNIOR, A., BRANDÃO, L.C., SILVEIRA, Z.C. **Desenho técnico mecânico: Projeto e fabricação no desenvolvimento de produtos industriais**. São Paulo: Elsevier – Campus, 2015. 512p.

ROMANO, L. N., **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. 2003 321f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SCALON FILHO, H., **Avaliação de dois implementos na colheita semimecanizada da cultura da mandioca (*manihot esculenta*, Crantz)**. 2001. 34f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Dourados, 2001

SCALON FILHO, H., ALVES SOBRINHO, T., DE SOUZA, C. M. A. Desempenho de dois equipamentos na colheita semimecanizada da cultura da mandioca. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p.557-564, 2005.

SEAB – DERAL. **Produção Agropecuária Paranaense**. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=137>>. Acesso em: 20 de set. 2016.

SILVA, T. L. **Colheitadeira contínua de raízes de mandioca com sistema de decapeção/separação da cepa**. BR 10 2012 028476-6 A2, 07 nov. 2012, 10 set. 2013.

TESTA, A. **Colheitadeira-carregadora modular de mandioca.**, BR88032246 A. 30 jun. 1988, 06 fev. 1990.

TREVISAN, A. **Arrancador de mandioca**. BR9104013 A. 13 set. 1991, 13 abr.1993.

YANG, W., et al. Numerical Simulation of An Experienced Farmer Lifting Tubers of Cassava for Designing A Bionic Harvester. **Computer Modeling in Engineering & Sciences**. v. 104, n.6, p.471-491, 2015.

YULAN, L., et al. Development and prototype trial of digging-pulling style cassava harvester. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**. V.28, n.2, p. 29-35, 2012.

VALLE, T. L., LORENZI, J. O. Variedades melhoradas de mandioca como instrumento de inovação, segurança alimentar, competitividade e sustentabilidade: Contribuições do Instituto Agrônômico de Campinas (IAC), **Caderno de Ciencia & Tecnologia**, v. 31, n.1, p. 15-34, 2014.

VEIGA, J.P.S, **Caracterização de resíduos de colheita da mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) e avaliação do potencial de co-geração de energia no processo de produção de etanol**. 2012, 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

VIDIGAL FILHO, et al. Avaliação de cultivares de mandioca na região noroeste do Paraná. **Bragantia**, v. 59, n.1, p. 69-75, 2000.

GLOSSÁRIO

Afofador: Implemento utilizado para tornar fofo a terra.

Arranquio: Ato ou efeito de retirar uma planta do solo.

Cepa: Porção inferior do tronco ou ramas

Clone: Produzido por manipulação genética.

Desagregar: Separar em partes, fragmentar

Desrama: Cortar, separar dividir

Destacar: Tornar desunido, separar

Enleiramento: Processo que consiste em amontoar ou empilhar o material derrubado, em leiras espaçadas umas das outros

Gema: Protuberância na rama de uma planta, que dá origem a folhas, flores, outros ramos.

Maniva: Rama de mandioca ou parte da rama destinada ao plantio

Pedúnculo das raízes: haste que sustenta as raízes na cepa

Ramas: Porção área da planta composta de galhos e folhagens

Variedades: Conjunto de coisas ou tipos que se diversificam dentro de uma classe.

APÊNDICE A –Dados estatísticos experimentais de extração de raízes.

Força (N)

Variedade	Ciclo	Afofador	N	Mínimo	Máximo	Média	DP	1º Quartil	Mediana	3º Quartil
55-03	1	0	20	215,33	826,49	533,76	180,12	428,08	539,55	636,42
55-03	2	0	20	566,04	1.860,96	1.094,65	309,29	908,65	1.072,48	1.254,82
55-03	2	1	20	90,25	577,32	291,46	122,82	219,01	278,36	345,31
55-04	1	0	20	336,97	1.775,61	938,69	412,24	591,67	900,31	1.239,25
55-04	2	0	20	568,98	1.792,29	1.059,01	319,92	817,91	1.050,41	1.287,19
55-04	2	1	20	97,12	465,48	250,99	84,89	192,77	250,89	303,62
IAC-14	1	0	20	459,11	1.393,51	847,49	222,13	711,59	824,29	987,25
IAC-14	2	0	20	369,35	1.646,61	855,02	336,88	639,00	823,06	1.049,55
IAC-14	2	1	20	129,00	409,57	264,26	64,76	220,48	259,72	307,67

Peso (N)

Variedade	Ciclo	Afofador	N	Mínimo	Máximo	Média	DP	1º Quartil	Mediana	3º Quartil
55-03	1	0	20	9,32	77,99	25,95	19,05	14,84	19,13	26,73
55-03	2	0	20	37,77	154,51	79,78	30,79	54,45	74,07	103,37
55-03	2	1	20	57,39	212,39	116,30	41,26	88,41	106,93	145,56
55-04	1	0	20	11,77	82,89	46,03	22,13	24,89	50,52	60,94
55-04	2	0	20	43,16	121,64	74,68	21,21	63,27	69,65	87,31
55-04	2	1	20	56,90	258,49	112,99	49,17	72,96	108,40	144,82
IAC_14	1	0	19	6,87	52,48	30,59	11,79	20,11	32,86	40,22
IAC_14	2	0	19	32,37	152,55	73,65	29,04	53,96	69,16	80,44
IAC_14	2	1	20	55,43	205,52	116,15	37,77	89,64	110,85	136,97

Área (mm²)

Variedade	Ciclo	Afofador	N	Mínimo	Máximo	Média	DP	1º Quartil	Mediana	3º Quartil
55-03	1	0	20	14.736,99	92.881,43	51.434,44	21.290,86	36.034,53	47.325,83	70.296,46
55-03	2	0	10	42.209,46	115.692,74	82.468,99	24.270,76	61.177,44	85.309,90	102.820,75
55-03	2	1	19	38.462,11	204.979,46	92.330,76	45.277,25	63.544,41	78.929,26	98.785,11
55-04	1	0	20	38.931,27	148.203,00	92.766,65	32.084,62	66.561,59	94.227,35	119.573,57
55-04	2	0	10	51.670,71	181.524,94	102.050,09	46.199,99	62.877,84	90.422,40	142.983,09
55-04	2	1	19	28.459,60	129.719,51	82.040,33	25.560,64	61.572,92	81.423,57	103.937,02
IAC_14	1	0	20	27.568,54	121.949,13	71.790,40	23.353,55	56.598,36	68.800,33	85.528,91
IAC_14	2	0	11	44.973,35	102.316,20	75.143,42	20.898,43	50.452,26	79.190,96	91.046,99
IAC_14	2	1	19	32.911,14	119.254,30	63.870,15	19.492,17	51.913,59	61.263,92	71.358,62

Raízes (un.)

Variedade	Ciclo	Afofador	N	Mínimo	Máximo	Média	DP	1º Quartil	Mediana	3º Quartil
55-03	1	0	20	2	14	7	3	5	8	9
55-03	2	0	20	5	11	7	2	6	7	8
55-03	2	1	20	4	15	8	3	6	8	9
55-04	1	0	20	6	20	12	4	9	11	16
55-04	2	0	20	4	10	7	1	6	7	8
55-04	2	1	20	4	10	7	2	6	7	8
IAC_14	1	0	20	2	12	6	3	3	6	8
IAC_14	2	0	20	4	11	7	2	5	7	8
IAC_14	2	1	20	3	10	6	2	4	6	8

Diâmetro das raízes (mm)

Variedade	Ciclo	Afofador	N	Mínimo	Máximo	Média	DP	1º Quartil	Mediana	3º Quartil
55-03	1	0	20	240	570	424	101	318	428	524
55-03	2	0	20	365	910	621	161	476	590	768
55-03	2	1	20	380	900	590	143	456	595	685
55-04	1	0	20	365	870	618	155	493	640	748
55-04	2	0	20	360	930	577	146	446	550	670
55-04	2	1	20	325	840	599	139	460	615	703
IAC_14	1	0	20	310	855	583	141	464	615	699
IAC_14	2	0	20	360	670	519	94	449	530	599
IAC_14	2	1	20	380	650	501	80	440	475	559

APÊNDICE C – Resultados do Ensaio de cisalhamento direto para os solos experimentais.

EESC				SGS				USP				
ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO												
Solo : AREIA MÉDIA, FINA E GROSSA, POUCA ARGILOSA, MARROM ESCURO								Folha nº : 1				
Local : OCAUÇU - SP								Am : INDEFORMADA				
Operador : DANIEL PORTIOLI								Data : 20/07/2017				
DADOS DE ENSAIO						LEITURAS						
Cp : 1 σ : 50,0 kPa						Relógio Comparador			δ	$\Delta V/V0$	Fh	τ
Mola K : 0,0016 kN/div.						Vertical	Horiz.	Mola				
Velocidade do ensaio : 0,50 mm/min						lv	lh	lm	mm	%	kN	kPa
CARACTERÍSTICAS DO CP						5,190	0,0	0,0	0,000	0,00	0,000	0,0
Anel : 6						5,100	2,5	23,0	0,025	-1,73	0,037	3,6
Massa do anel : 1791,76 g						5,050	5,0	33,0	0,050	-2,70	0,053	5,1
Altura : 2,54 cm						5,000	7,5	42,0	0,075	-3,66	0,067	6,5
Diâmetro : 10,16 cm						5,000	10	47,0	0,100	-3,66	0,075	7,3
Área : 103,23 cm ²						4,850	15	56,0	0,150	-6,55	0,090	8,7
Volume : 262,19 cm ³						4,650	20	67,0	0,200	-10,40	0,107	10,4
Massa (anel+cp) : 2187,01 g						4,600	25	76,0	0,250	-11,37	0,122	11,8
Massa (cp) : 395,25 g						4,520	30	84,0	0,300	-12,91	0,134	13,0
ρ : 1,507 g/cm ³						4,480	35	90,0	0,350	-13,68	0,144	14,0
ρ_d : 1,433 g/cm ³						4,420	40	98,0	0,400	-14,84	0,157	15,2
ρ_s : 2,670 g/cm ³						4,380	45	105,0	0,450	-15,61	0,168	16,3
e : 0,86 ---						4,320	50	112,0	0,500	-16,76	0,179	17,4
Sr : 16,11 %						4,230	55	120,0	0,550	-18,50	0,192	18,6
CARACTERÍSTICAS DO CP						4,250	60	126,0	0,600	-18,11	0,202	19,5
Cápsula :		C1	20	1	4,150	70	138,0	0,700	-20,04	0,221	21,4	
M + M (c) :		29,05	25,17	26,25	4,100	80	154,0	0,800	-21,00	0,246	23,9	
M _s + M (c) :		28,25	24,46	25,48	4,050	90	167,0	0,900	-21,97	0,267	25,9	
M (c) :		12,12	11,19	11,01	3,950	100	180,0	1,000	-23,89	0,288	27,9	
M _w :		0,80	0,71	0,77	3,900	110	193,0	1,100	-24,86	0,309	29,9	
M _s :		16,13	13,27	14,47	3,850	120	204,0	1,200	-25,82	0,326	31,6	
w :		4,96	5,35	5,32	3,800	130	215,0	1,300	-26,78	0,344	33,3	
w :		5,21			3,750	140	225,0	1,400	-27,75	0,360	34,9	
Obs.:					3,720	150	232,0	1,500	-28,32	0,371	36,0	
Valor máximo : 55,3 kPa					3,700	160	235,0	1,600	-28,71	0,376	36,4	
					3,660	170	246,0	1,700	-29,48	0,394	38,1	
					3,640	180	253,0	1,800	-29,87	0,405	39,2	
					3,620	190	257,0	1,900	-30,25	0,411	39,8	
					3,600	200	263,0	2,000	-30,64	0,421	40,8	
					3,560	220	275,0	2,200	-31,41	0,440	42,6	
					3,530	240	282,0	2,400	-31,98	0,451	43,7	
					3,510	260	291,0	2,600	-32,37	0,466	45,1	
					3,490	280	298,0	2,800	-32,76	0,477	46,2	
					3,485	300	305,0	3,000	-32,85	0,488	47,3	
					3,480	320	311,0	3,200	-32,95	0,498	48,2	
					3,480	340	315,0	3,400	-32,95	0,504	48,8	
					3,480	360	320,0	3,600	-32,95	0,512	49,6	

EESC				SGS				USP				
ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO												
Solo : AREIA MÉDIA, FINA E GROSSA, POUCO ARGILOSA, MARROM ESCURO								Folha nº : 1				
Local : OCAUÇU - SP								Am : INDEFORMADA				
Operador : DANIEL PORTIOLI								Data : 21/07/2017				
DADOS DE ENSAIO						LEITURAS						
Cp : 2 σ : 100,0 kPa						Relógio Comparador			δ	$\Delta V/V0$	Fh	τ
Mola K : 0,0016 kN/div.						Vertical	Horiz.	Mola				
Velocidade do ensaio : 0,50 mm/min						lv	lh	lm	mm	%	kN	kPa
CARACTERÍSTICAS DO CP						4,350	0,0	0,0	0,000	0,00	0,000	0,0
Anel : 3						4,300	2,5	21,0	0,025	-1,15	0,034	3,3
Massa do anel : 1794,36 g						4,290	5,0	36,0	0,050	-1,38	0,058	5,6
Altura : 2,54 cm						4,270	7,5	50,0	0,075	-1,84	0,080	7,8
Diâmetro : 10,16 cm						4,270	10	65,0	0,100	-1,84	0,104	10,1
Área : 103,23 cm ²						4,220	15	89,0	0,150	-2,99	0,142	13,8
Volume : 262,19 cm ³						4,120	20	111,0	0,200	-5,29	0,178	17,2
Massa (anel+cp) : 2264,67 g							25	135,0	0,250		0,216	20,9
Massa (cp) : 470,31 g						3,990	30	154,0	0,300	-8,28	0,246	23,9
ρ : 1,794 g/cm ³						3,900	35	170,0	0,350	-10,34	0,272	26,4
ρ_d : 1,651 g/cm ³						3,850	40	186,0	0,400	-11,49	0,298	28,8
ρ_s : 2,670 g/cm ³							45	201,0	0,450		0,322	31,2
e : 0,62 ---						3,820	50	214,0	0,500	-12,18	0,342	33,2
Sr : 37,47 %						3,780	55	226,0	0,550	-13,10	0,362	35,0
CARACTERÍSTICAS DO CP						3,720	60	240,0	0,600	-14,48	0,384	37,2
Cápsula : 216 37 23						3,670	70	264,0	0,700	-15,63	0,422	40,9
M + M (c) : 22,23 24,72 21,58						3,600	80	285,0	0,800	-17,24	0,456	44,2
M _S + M (c) : 21,44 23,51 20,49						3,560	90	300,0	0,900	-18,16	0,480	46,5
M (c) : 12,16 9,50 8,17						3,500	100	318,0	1,000	-19,54	0,509	49,3
M _W : 0,79 1,21 1,09						3,450	110	333,0	1,100	-20,69	0,533	51,6
M _S : 9,28 14,01 12,32						3,390	120	345,0	1,200	-22,07	0,552	53,5
w : 8,51 8,64 8,85						3,340	130	358,0	1,300	-23,22	0,573	55,5
w : 8,67						3,300	140	371,0	1,400	-24,14	0,594	57,5
Obs.:						3,230	150	382,0	1,500	-25,75	0,611	59,2
Valor máximo : 87,6 kPa						3,140	160	393,0	1,600	-27,82	0,629	60,9
						3,100	170	402,0	1,700	-28,74	0,643	62,3
						3,060	180	410,0	1,800	-29,66	0,656	63,6
						3,020	190	417,0	1,900	-30,57	0,667	64,6
						2,990	200	424,0	2,000	-31,26	0,678	65,7
						2,920	220	439,0	2,200	-32,87	0,702	68,0
						2,880	240	450,0	2,400	-33,79	0,720	69,8
						2,790	260	458,0	2,600	-35,86	0,733	71,0
						2,750	280	470,0	2,800	-36,78	0,752	72,9
						2,730	300	479,0	3,000	-37,24	0,766	74,2
						2,700	320	490,0	3,200	-37,93	0,784	76,0
						2,660	340	505,0	3,400	-38,85	0,808	78,3
						2,640	360	512,0	3,600	-39,31	0,819	79,4

EESC				SGS			USP				
ENSAIO DE CISLHAMENTO DIRETO											
Solo : AREIA MÉDIA, FINA E GROSSA, POUCA ARGILOSA, MARROM ESCURO						Folha nº : 2					
Local : OCAUÇU - SP						Am : INDEFORMADA					
Operador : DANIEL PORTIOLI						Data : 21/07/2017					
DADOS DE ENSAIO					LEITURAS						
Cp : 2 σ : 100,0 kPa					Relógio Comparador			δ	$\Delta V/V_0$	Fh	τ
Mola K : 0,0016 kN/div.					Vertical	Horiz.	Mola				
Velocidade do ensaio : 0,50 mm/min					lv	lh	lm	mm	%	kN	kPa
CARACTERÍSTICAS DO CP					2,600	380	522,0	3,800	-40,23	0,835	80,9
Anel : 3,00					2,520	400	525,0	4,000	-42,07	0,840	81,4
Massa do anel : 1794,36 g					2,470	420	532,0	4,200	-43,22	0,851	82,5
Altura : 2,54 cm					2,440	440	542,0	4,400	-43,91	0,867	84,0
Diâmetro : 10,16 cm					2,430	460	548,0	4,600	-44,14	0,877	84,9
Área : 103,23 cm ²					2,410	480	554,0	4,800	-44,60	0,886	85,9
Volume : 262,19 cm ³					2,360	500	557,0	5,000	-45,75	0,891	86,3
Massa (anel+cp) : 2264,67 g					2,350	550	562,0	5,500	-45,98	0,899	87,1
Massa (cp) : 470,31 g					2,350	600	565,0	6,000	-45,98	0,904	87,6
ρ : 1,79 g/cm ³					2,340	650	565,0	6,500	-46,21	0,904	87,6
ρ_d : 1,65 g/cm ³					2,340	700	565,0	7,000	-46,21	0,904	87,6
ρ_s : 2,67 g/cm ³					2,350	750	560,0	7,500	-45,98	0,896	86,8
e : 0,62 ---					2,350	800	550,0	8,000	-45,98	0,880	85,3
Sr : 37,47 %					2,360	850	542,0	8,500	-45,75	0,867	84,0
CARACTERÍSTICAS DO CP					2,360	900	534,0	9,000	-45,75	0,854	82,8
Cápsula : 216 37 23					2,330	950	527,0	9,500	-46,44	0,843	81,7
M + M (c) : 22,23 24,72 21,58					2,290	1000	523,0	10,000	-47,36	0,837	81,1
M _S + M (c) : 21,44 23,51 20,49					2,220	1050	511,0	10,500	-48,97	0,818	79,2
M (c) : 12,16 9,5 8,17					2,130	1100	499,0	11,000	-51,03	0,798	77,3
M _w : 0,79 1,21 1,09					2,020	1150	489,0	11,500	-53,56	0,782	75,8
M _S : 9,28 14,01 12,32					1,930	1200	485,0	12,000	-55,63	0,776	75,2
w : 8,51 8,64 8,85					1,810	1250	477,0	12,500	-58,39	0,763	73,9
w : 8,67					1,700	1300	462,0	13,000	-60,92	0,739	71,6
Obs.:					1,550	1350	445,0	13,500	-64,37	0,712	69,0
Valor máximo : 87,6 kPa					1,400	1400	435,0	14,000	-67,82	0,696	67,4
					1,230	1450	426,0	14,500	-71,72	0,682	66,0
					1,070	1500	416,0	15,000	-75,40	0,666	64,5
					0,850	1550	408,0	15,500	-80,46	0,653	63,2
					0,650	1600	399,0	16,000	-85,06	0,638	61,8
					0,480	1650	395,0	16,500	-88,97	0,632	61,2
					0,290	1700	390,0	17,000	-93,33	0,624	60,5
					0,090	1750	387,0	17,500	-97,93	0,619	60,0
					-1,080	1800	383,0	18,000	-124,83	0,613	59,4

EESC				SGS			USP			
ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO										
Solo : AREIA MÉDIA, FINA E GROSSA, POUCO ARGILOSA, MARROM ESCURO							Folha nº : 1			
Local : OCAUÇU - SP							Am : INDEFORMADA			
Operador : DANIEL PORTIOLI							Data : 21/07/2017			
DADOS DE ENSAIO				LEITURAS						
Cp :	3	σ :	200,0 kPa	Relógio Comparador			δ	$\Delta V/V0$	Fh	τ
Mola K :	0,0016	kN/div.		Vertical	Horiz.	Mola				
Velocidade do ensaio :	0,50		mm/min	lv	lh	lm				
CARACTERÍSTICAS DO CP				22,610	0,0	0,0	0,000	0,00	0,000	0,0
Anel :	1			21,450	2,5	21,0	0,025	-5,13	0,034	3,3
Massa do anel :	1877,65 g			21,450	5,0	35,0	0,050	-5,13	0,056	5,4
Altura :	2,54 cm			21,450	7,5	56,0	0,075	-5,13	0,090	8,7
Diâmetro :	10,16 cm			21,420	10	75,0	0,100	-5,26	0,120	11,6
Área :	103,23 cm ²			21,390	15	110,0	0,150	-5,40	0,176	17,1
Volume :	262,19 cm ³			21,350	20	140,0	0,200	-5,57	0,224	21,7
Massa (anel+cp) :	2364,25 g			21,320	25	162,0	0,250	-5,71	0,259	25,1
Massa (cp) :	486,60 g			21,300	30	180,0	0,300	-5,79	0,288	27,9
ρ :	1,856 g/cm ³			21,270	35	197,0	0,350	-5,93	0,315	30,5
ρ_d :	1,648 g/cm ³			21,220	40	216,0	0,400	-6,15	0,346	33,5
ρ_s :	2,670 g/cm ³			21,200	45	234,0	0,450	-6,24	0,374	36,3
e :	0,62 ---			21,130	50	251,0	0,500	-6,55	0,402	38,9
Sr :	54,31 %			21,100	55	266,0	0,550	-6,68	0,426	41,2
CARACTERÍSTICAS DO CP				21,050	60	282,0	0,600	-6,90	0,451	43,7
Cápsula :	27	49	57	20,980	70	305,0	0,700	-7,21	0,488	47,3
M + M (c) :	24,42	24,98	22,85	20,900	80	331,0	0,800	-7,56	0,530	51,3
M _S + M (c) :	23,01	23,53	21,46	20,850	90	362,0	0,900	-7,78	0,579	56,1
M (c) :	11,53	12,17	10,60	20,780	100	395,0	1,000	-8,09	0,632	61,2
M _w :	1,41	1,45	1,39	20,720	110	422,0	1,100	-8,36	0,675	65,4
M _S :	11,48	11,36	10,86	20,660	120	450,0	1,200	-8,62	0,720	69,8
w :	12,28	12,76	12,80	20,600	130	471,0	1,300	-8,89	0,754	73,0
w :	12,62			20,550	140	498,0	1,400	-9,11	0,797	77,2
Obs.:				20,470	150	520,0	1,500	-9,46	0,832	80,6
Valor máximo :	148,6 kPa			20,410	160	539,0	1,600	-9,73	0,862	83,5
				20,350	170	557,0	1,700	-10,00	0,891	86,3
				20,300	180	583,0	1,800	-10,22	0,933	90,4
				20,250	190	595,0	1,900	-10,44	0,952	92,2
				20,180	200	616,0	2,000	-10,75	0,986	95,5
				20,020	220	645,0	2,200	-11,46	1,032	100,0
				19,820	240	667,0	2,400	-12,34	1,067	103,4
				19,680	260	684,0	2,600	-12,96	1,094	106,0
				19,510	280	695,0	2,800	-13,71	1,112	107,7
				19,300	300	708,0	3,000	-14,64	1,133	109,7
				19,180	320	720,0	3,200	-15,17	1,152	111,6
				19,000	340	736,0	3,400	-15,97	1,178	114,1
				18,850	360	751,0	3,600	-16,63	1,202	116,4

EESC				SGS			USP			
ENSAIO DE CISLHAMENTO DIRETO										
Solo : AREIA MÉDIA, FINA E GROSSA, POUCO ARGILOSA, MARROM ESCURO							Folha nº : 2			
Local : OCAUÇU - SP							Am : INDEFORMADA			
Operador : DANIEL PORTIOLI							Data : 21/07/2017			
DADOS DE ENSAIO				LEITURAS						
Cp : 3 σ : 200,0 kPa				Relógio Comparador			δ	$\Delta V/V0$	Fh	τ
Mola K : 0,0016 kN/div.				Vertical	Horiz.	Mola				
Velocidade do ensaio : 0,50 mm/min				lv	lh	lm	mm	%	kN	kPa
CARACTERÍSTICAS DO CP				18,710	380	765,0	3,800	-17,25	1,224	118,6
Anel : 1,00				18,590	400	780,0	4,000	-17,78	1,248	120,9
Massa do anel : 1877,65 g				18,460	420	796,0	4,200	-18,35	1,274	123,4
Altura : 2,54 cm				18,350	440	807,0	4,400	-18,84	1,291	125,1
Diâmetro : 10,16 cm				18,250	460	820,0	4,600	-19,28	1,312	127,1
Área : 103,23 cm ²				18,170	480	830,0	4,800	-19,64	1,328	128,7
Volume : 262,19 cm ³				18,090	500	840,0	5,000	-19,99	1,344	130,2
Massa (anel+cp) : 2364,25 g				17,890	550	858,0	5,500	-20,88	1,373	133,0
Massa (cp) : 486,60 g				17,720	600	878,0	6,000	-21,63	1,405	136,1
ρ : 1,86 g/cm ³				17,570	650	891,0	6,500	-22,29	1,426	138,1
ρ_d : 1,65 g/cm ³				17,450	700	905,0	7,000	-22,82	1,448	140,3
ρ_s : 2,67 g/cm ³				17,320	750	915,0	7,500	-23,40	1,464	141,8
e : 0,62 ---				17,220	800	924,0	8,000	-23,84	1,478	143,2
Sr : 54,31 %				17,110	850	931,0	8,500	-24,33	1,490	144,3
CARACTERÍSTICAS DO CP				17,010	900	936,0	9,000	-24,77	1,498	145,1
Cápsula : 27 49 57				16,900	950	936,0	9,500	-25,25	1,498	145,1
M + M (c) : 24,42 24,98 22,85				16,810	1000	942,0	10,000	-25,65	1,507	146,0
M _s + M (c) : 23,01 23,53 21,46				16,710	1050	951,0	10,500	-26,09	1,522	147,4
M (c) : 11,53 12,17 10,6				16,620	1100	955,0	11,000	-26,49	1,528	148,0
M _w : 1,41 1,45 1,39				16,540	1150	959,0	11,500	-26,85	1,534	148,6
M _s : 11,48 11,36 10,86				16,450	1200	959,0	12,000	-27,24	1,534	148,6
w : 12,28 12,76 12,80				16,380	1250	958,0	12,500	-27,55	1,533	148,5
w : 12,62				16,310	1300	949,0	13,000	-27,86	1,518	147,1
Obs.:				16,260	1350	940,0	13,500	-28,08	1,504	145,7
Valor máximo : 148,6 kPa				16,230	1400	932,0	14,000	-28,22	1,491	144,5
				16,210	1450	928,0	14,500	-28,31	1,485	143,8
				16,180	1500	924,0	15,000	-28,44	1,478	143,2
				16,140	1550	924,0	15,500	-28,62	1,478	143,2
				16,100	1600	921,0	16,000	-28,79	1,474	142,8
				16,050	1650	920,0	16,500	-29,01	1,472	142,6
				16,000	1700	915,0	17,000	-29,23	1,464	141,8
				15,920	1750	910,0	17,500	-29,59	1,456	141,1
				15,850	1800	906,0	18,000	-29,90	1,450	140,4

EESC	SGS	USP	
ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO			
Solo : _____		Folha nº : ÚNICA	
Local : _____ OCAUÇU - SP		Am : INDEFORMADA	
Operador : _____ DANIEL PORTIOLI		Data : 21/07/2017	
VALORES MÁXIMOS DE RESISTÊNCIA			
σ (kPa)	50	100	200
τ (kPa)	55,3	87,6	148,6
VALORES DA ENVOLTÓRIA			
a :	24,8	tg α :	0,6204
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA			
ϕ (°) :	38,3	c (kPa) :	24,8
Sendo que : ϕ (°) : Ângulo de atrito c (kPa) : Coesão			
ENVOLTÓRIA			
<p style="text-align: right;">$y = 0,6204x + 24,8$ $R^2 = 0,9998$</p>			
Obs.:			

EESC				SGS				USP				
ENSAIO DE CISLHAMENTO DIRETO												
Solo : AREIA MÉDIA, FINA E GROSSA, POUCO ARGILOSA, MARROM ESCURO								Folha nº : 1				
Local : PLATINA - SP								Am : INDEFORMADA				
Operador : DANIEL PORTIOLI								Data : 03/10/2017				
DADOS DE ENSAIO						LEITURAS						
Cp : 1 σ : 50,0 kPa						Relógio Comparador			δ	$\Delta V/V0$	Fh	τ
Mola K : 0,0016 kN/div.						Vertical	Horiz.	Mola				
Velocidade do ensaio : 0,50 mm/min						lv	lh	lm	mm	%	kN	kPa
CARACTERÍSTICAS DO CP						2,320	0,0	0,0	0,000	0,00	0,000	0,0
Anel : 7						2,050	2,5	23,0	0,025	-11,64	0,037	3,6
Massa do anel : 1781,04 g						2,030	5,0	38,0	0,050	-12,50	0,061	5,9
Altura : 2,54 cm							7,5	53,0	0,075		0,085	8,2
Diâmetro : 10,16 cm							10	62,0	0,100		0,099	9,6
Área : 103,23 cm ²						1,810	15	80,0	0,150	-21,98	0,128	12,4
Volume : 262,19 cm ³						1,700	20	95,0	0,200	-26,72	0,152	14,7
Massa (anel+cp) : 2216,75 g						1,640	25	109,0	0,250	-29,31	0,174	16,9
Massa (cp) : 435,71 g						1,600	30	125,0	0,300	-31,03	0,200	19,4
ρ : 1,662 g/cm ³						1,570	35	142,0	0,350	-32,33	0,227	22,0
ρ_d : 1,596 g/cm ³						1,520	40	156,0	0,400	-34,48	0,250	24,2
ρ_s : 2,670 g/cm ³						1,500	45	170,0	0,450	-35,34	0,272	26,4
e : 0,67 ---						1,480	50	183,0	0,500	-36,21	0,293	28,4
Sr : 16,43 %						1,430	55	197,0	0,550	-38,36	0,315	30,5
CARACTERÍSTICAS DO CP						1,420	60	209,0	0,600	-38,79	0,334	32,4
Cápsula :		P91	3	65/217	1,320	70	235,0	0,700	-43,10	0,376	36,4	
M + M(c) :		29,31	30,37	24,35	1,230	80	260,0	0,800	-46,98	0,416	40,3	
M _S + M(c) :		28,61	29,73	23,75	1,270	90	281,0	0,900	-45,26	0,450	43,6	
M(c) :		11,42	14,36	9,45	1,120	100	299,0	1,000	-51,72	0,478	46,3	
M _w :		0,70	0,64	0,60	1,110	110	315,0	1,100	-52,16	0,504	48,8	
M _S :		17,19	15,37	14,30	1,070	120	325,0	1,200	-53,88	0,520	50,4	
w :		4,07	4,16	4,20	1,020	130	337,0	1,300	-56,03	0,539	52,2	
w :		4,14			0,980	140	348,0	1,400	-57,76	0,557	53,9	
Obs.:						0,970	150	357,0	1,500	-58,19	0,571	55,3
Valor máximo : 63,7 kPa						0,930	160	368,0	1,600	-59,91	0,589	57,0
						0,860	170	373,0	1,700	-62,93	0,597	57,8
						0,820	180	379,0	1,800	-64,66	0,606	58,7
						0,850	190	382,0	1,900	-63,36	0,611	59,2
						0,870	200	387,0	2,000	-62,50	0,619	60,0
						0,920	220	393,0	2,200	-60,34	0,629	60,9
						1,100	240	398,0	2,400	-52,59	0,637	61,7
						1,280	260	398,0	2,600	-44,83	0,637	61,7
						1,420	280	400,0	2,800	-38,79	0,640	62,0
						1,570	300	408,0	3,000	-32,33	0,653	63,2
						1,860	320	411,0	3,200	-19,83	0,658	63,7
						1,920	340	411,0	3,400	-17,24	0,658	63,7
						2,070	360	410,0	3,600	-10,78	0,656	63,6

EESC				SGS				USP				
ENSAIO DE CISLHAMENTO DIRETO												
Solo : AREIA MÉDIA, FINA E GROSSA, POUCO ARGILOSA, MARROM ESCURO								Folha nº : 2				
Local : PLATINA - SP								Am : INDEFORMADA				
Operador : DANIEL PORTIOLI								Data : 03/10/2017				
DADOS DE ENSAIO						LEITURAS						
Cp : 1 σ : 50,0 kPa						Relógio Comparador			δ	$\Delta V/V_0$	Fh	τ
Mola K : 0,0016 kN/div.						Vertical	Horiz.	Mola				
Velocidade do ensaio : 0,50 mm/min						lv	lh	lm	mm	%	kN	kPa
CARACTERÍSTICAS DO CP						2,270	380	408,0	3,800	-2,16	0,653	63,2
Anel : 7,00						2,450	400	405,0	4,000	5,60	0,648	62,8
Massa do anel : 1781,04 g						2,620	420	399,0	4,200	12,93	0,638	61,8
Altura : 2,54 cm						2,810	440	392,0	4,400	21,12	0,627	60,8
Diâmetro : 10,16 cm						2,980	460	385,0	4,600	28,45	0,616	59,7
Área : 103,23 cm ²						3,130	480	378,0	4,800	34,91	0,605	58,6
Volume : 262,19 cm ³						3,310	500	373,0	5,000	42,67	0,597	57,8
Massa (anel+cp) : 2216,75 g						3,700	550	360,0	5,500	59,48	0,576	55,8
Massa (cp) : 435,71 g						4,050	600	347,0	6,000	74,57	0,555	53,8
ρ : 1,66 g/cm ³						4,350	650	336,0	6,500	87,50	0,538	52,1
ρ_d : 1,60 g/cm ³						4,650	700	327,0	7,000	100,43	0,523	50,7
ρ_s : 2,67 g/cm ³						4,850	750	320,0	7,500	109,05	0,512	49,6
e : 0,67 ---						5,040	800	315,0	8,000	117,24	0,504	48,8
Sr : 16,43 %						5,230	850	307,0	8,500	125,43	0,491	47,6
CARACTERÍSTICAS DO CP						5,370	900	300,0	9,000	131,47	0,480	46,5
Cápsula :		P91	3	65/217	5,500	950	290,0	9,500	137,07	0,464	45,0	
M + M(c) :		29,31	30,37	24,35	5,550	1000	282,0	10,000	139,22	0,451	43,7	
M _S + M(c) :		28,61	29,73	23,75	5,550	1050	280,0	10,500	139,22	0,448	43,4	
M(c) :		11,42	14,36	9,45	5,650	1100	280,0	11,000	143,53	0,448	43,4	
M _w :		0,7	0,64	0,6	5,690	1150	278,0	11,500	145,26	0,445	43,1	
M _S :		17,19	15,37	14,3	5,750	1200	278,0	12,000	147,84	0,445	43,1	
w :		4,07	4,16	4,20	5,800	1250	274,0	12,500	150,00	0,438	42,5	
w :		4,14			5,830	1300	272,0	13,000	151,29	0,435	42,2	
Obs.:						5,850	1350	269,0	13,500	152,16	0,430	41,7
Valor máximo : 63,7 kPa						5,860	1400	267,0	14,000	152,59	0,427	41,4
						5,870	1450	265,0	14,500	153,02	0,424	41,1
						5,850	1500	261,0	15,000	152,16	0,418	40,5
						5,810	1550	258,0	15,500	150,43	0,413	40,0
						5,780	1600	258,0	16,000	149,14	0,413	40,0
						5,760	1650	255,0	16,500	148,28	0,408	39,5
						5,730	1700	253,0	17,000	146,98	0,405	39,2
						5,690	1750	249,0	17,500	145,26	0,398	38,6
						5,630	1800	248,0	18,000	142,67	0,397	38,4

EESC				SGS				USP				
ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO												
Solo : AREIA MÉDIA, FINA E GROSSA, POUCO ARGILOSA, MARROM ESCURO								Folha nº : 1				
Local : PLATINA - SP								Am : INDEFORMADA				
Operador : DANIEL PORTIOLI								Data : 03/10/2017				
DADOS DE ENSAIO						LEITURAS						
Cp : 2 σ : 100,0 kPa						Relógio Comparador			δ	$\Delta V/V0$	Fh	τ
Mola K : 0,0016 kN/div.						Vertical	Horiz.	Mola				
Velocidade do ensaio : 0,50 mm/min						lv	lh	lm	mm	%	kN	kPa
CARACTERÍSTICAS DO CP						5,080	0,0	0,0	0,000	0,00	0,000	0,0
Anel : 5						5,080	2,5	18,0	0,025	0,00	0,029	2,8
Massa do anel : 1798,90 g						5,080	5,0	34,0	0,050	0,00	0,054	5,3
Altura : 2,54 cm						5,080	7,5	53,0	0,075	0,00	0,085	8,2
Diâmetro : 10,16 cm						5,060	10	66,0	0,100	-0,39	0,106	10,2
Área : 103,23 cm ²						5,050	15	98,0	0,150	-0,59	0,157	15,2
Volume : 262,19 cm ³						5,050	20	122,0	0,200	-0,59	0,195	18,9
Massa (anel+cp) : 2245,22 g						5,040	25	145,0	0,250	-0,79	0,232	22,5
Massa (cp) : 446,32 g						5,030	30	168,0	0,300	-0,98	0,269	26,0
ρ : 1,702 g/cm ³						5,020	35	186,0	0,350	-1,18	0,298	28,8
ρ_d : 1,621 g/cm ³						5,020	40	202,0	0,400	-1,18	0,323	31,3
ρ_s : 2,670 g/cm ³						5,010	45	217,0	0,450	-1,38	0,347	33,6
e : 0,65 ---						5,010	50	231,0	0,500	-1,38	0,370	35,8
Sr : 20,63 %							55	247,0	0,550		0,395	38,3
CARACTERÍSTICAS DO CP						5,000	60	263,0	0,600	-1,57	0,421	40,8
Cápsula :		P98	P76	10	4,990	70	298,0	0,700	-1,77	0,477	46,2	
M + M(c) :		33,95	29,13	35,27	4,990	80	327,0	0,800	-1,77	0,523	50,7	
M _S + M(c) :		33,02	28,24	34,13	4,980	90	364,0	0,900	-1,97	0,582	56,4	
M(c) :		14,27	9,95	12,09	4,980	100	400,0	1,000	-1,97	0,640	62,0	
M _w :		0,93	0,89	1,14	4,970	110	432,0	1,100	-2,17	0,691	67,0	
M _S :		18,75	18,29	22,04	4,970	120	456,0	1,200	-2,17	0,730	70,7	
w :		4,96	4,87	5,17	4,960	130	485,0	1,300	-2,36	0,776	75,2	
w :		5,00			4,960	140	507,0	1,400	-2,36	0,811	78,6	
Obs.:						4,950	150	532,0	1,500	-2,56	0,851	82,5
Valor máximo : 105,2 kPa						4,950	160	553,0	1,600	-2,56	0,885	85,7
						4,950	170	573,0	1,700	-2,56	0,917	88,8
						4,950	180	587,0	1,800	-2,56	0,939	91,0
						4,945	190	603,0	1,900	-2,66	0,965	93,5
						4,945	200	615,0	2,000	-2,66	0,984	95,3
						4,950	220	640,0	2,200	-2,56	1,024	99,2
						4,955	240	657,0	2,400	-2,46	1,051	101,8
						4,960	260	671,0	2,600	-2,36	1,074	104,0
						4,970	280	679,0	2,800	-2,17	1,086	105,2
						4,980	300	679,0	3,000	-1,97	1,086	105,2
						4,985	320	679,0	3,200	-1,87	1,086	105,2
						4,990	340	676,0	3,400	-1,77	1,082	104,8
						5,000	360	672,0	3,600	-1,57	1,075	104,2

EESC				SGS			USP				
ENSAIO DE CISLHAMENTO DIRETO											
Solo : AREIA MÉDIA, FINA E GROSSA, POUCA ARGILOSA, MARROM ESCURO						Folha nº : 2					
Local : PLATINA - SP						Am : INDEFORMADA					
Operador : DANIEL PORTIOLI						Data : 03/10/2017					
DADOS DE ENSAIO					LEITURAS						
Cp : 2 σ : 100,0 kPa					Relógio Comparador			δ	$\Delta V/V0$	Fh	τ
Mola K : 0,0016 kN/div.					Vertical	Horiz.	Mola				
Velocidade do ensaio : 0,50 mm/min					lv	lh	lm	mm	%	kN	kPa
CARACTERÍSTICAS DO CP					5,010	380	668,0	3,800	-1,38	1,069	103,5
Anel : 5,00					5,020	400	660,0	4,000	-1,18	1,056	102,3
Massa do anel : 1798,90 g					5,020	420	655,0	4,200	-1,18	1,048	101,5
Altura : 2,54 cm					5,030	440	650,0	4,400	-0,98	1,040	100,8
Diâmetro : 10,16 cm					5,030	460	646,0	4,600	-0,98	1,034	100,1
Área : 103,23 cm ²					5,035	480	642,0	4,800	-0,89	1,027	99,5
Volume : 262,19 cm ³					5,040	500	641,0	5,000	-0,79	1,026	99,4
Massa (anel+cp) : 2245,22 g					5,045	550	634,0	5,500	-0,69	1,014	98,3
Massa (cp) : 446,32 g					5,050	600	625,0	6,000	-0,59	1,000	96,9
ρ : 1,70 g/cm ³					5,060	650	612,0	6,500	-0,39	0,979	94,9
ρ_d : 1,62 g/cm ³					5,060	700	600,0	7,000	-0,39	0,960	93,0
ρ_s : 2,67 g/cm ³					5,055	750	592,0	7,500	-0,49	0,947	91,8
e : 0,65 ---					5,050	800	580,0	8,000	-0,59	0,928	89,9
Sr : 20,63 %					5,040	850	570,0	8,500	-0,79	0,912	88,4
CARACTERÍSTICAS DO CP					5,030	900	557,0	9,000	-0,98	0,891	86,3
Cápsula : P98 P76 10					5,000	950	552,0	9,500	-1,57	0,883	85,6
M + M (c) : 33,95 29,13 35,27					4,980	1000	543,0	10,000	-1,97	0,869	84,2
M _s + M (c) : 33,02 28,24 34,13					4,970	1050	534,0	10,500	-2,17	0,854	82,8
M (c) : 14,27 9,95 12,09					4,950	1100	523,0	11,000	-2,56	0,837	81,1
M _w : 0,93 0,89 1,14					4,930	1150	515,0	11,500	-2,95	0,824	79,8
M _s : 18,75 18,29 22,04					4,910	1200	505,0	12,000	-3,35	0,808	78,3
w : 4,96 4,87 5,17					4,890	1250	496,0	12,500	-3,74	0,794	76,9
w : 5,00					4,870	1300	484,0	13,000	-4,13	0,774	75,0
Obs.:					4,840	1350	470,0	13,500	-4,72	0,752	72,9
Valor máximo : 105,2 kPa					4,810	1400	462,0	14,000	-5,31	0,739	71,6
					4,780	1450	450,0	14,500	-5,91	0,720	69,8
					4,730	1500	441,0	15,000	-6,89	0,706	68,4
					4,690	1550	430,0	15,500	-7,68	0,688	66,7
					4,640	1600	420,0	16,000	-8,66	0,672	65,1
					4,590	1650	410,0	16,500	-9,65	0,656	63,6
					4,540	1700	402,0	17,000	-10,63	0,643	62,3
					4,480	1750	395,0	17,500	-11,81	0,632	61,2
					4,430	1800	392,0	18,000	-12,80	0,627	60,8

EESC				SGS				USP				
ENSAIO DE CISLHAMENTO DIRETO												
Solo : AREIA MÉDIA, FINA E GROSSA, POUCO ARGILOSA, MARROM ESCURO								Folha nº : 1				
Local : PLATINA - SP								Am : INDEFORMADA				
Operador : DANIEL PORTIOLI								Data : 03/10/2017				
DADOS DE ENSAIO						LEITURAS						
Cp : 3 σ : 200,0 kPa						Relógio Comparador			δ	$\Delta V/V_0$	Fh	τ
Mola K : 0,0016 kN/div.						Vertical	Horiz.	Mola				
Velocidade do ensaio : 0,50 mm/min						lv	lh	lm	mm	%	kN	kPa
CARACTERÍSTICAS DO CP						4,240	0,0	0,0	0,000	0,00	0,000	0,0
Anel : 4						4,230	2,5	32,0	0,025	-0,24	0,051	5,0
Massa do anel : 1812,39 g						4,220	5,0	50,0	0,050	-0,47	0,080	7,8
Altura : 2,54 cm						4,220	7,5	69,0	0,075	-0,47	0,110	10,7
Diâmetro : 10,16 cm						4,220	10	82,0	0,100	-0,47	0,131	12,7
Área : 103,23 cm ²							15	109,0	0,150		0,174	16,9
Volume : 262,19 cm ³						4,215	20	137,0	0,200	-0,59	0,219	21,2
Massa (anel+cp) : 2235,36 g						4,210	25	166,0	0,250	-0,71	0,266	25,7
Massa (cp) : 422,97 g						4,210	30	196,0	0,300	-0,71	0,314	30,4
ρ : 1,613 g/cm ³						4,200	35	222,0	0,350	-0,94	0,355	34,4
ρ_d : 1,534 g/cm ³						4,200	40	248,0	0,400	-0,94	0,397	38,4
ρ_s : 2,670 g/cm ³						4,195	45	275,0	0,450	-1,06	0,440	42,6
e : 0,74 ---						4,190	50	301,0	0,500	-1,18	0,482	46,7
Sr : 18,56 %						4,180	55	326,0	0,550	-1,42	0,522	50,5
CARACTERÍSTICAS DO CP						4,180	60	348,0	0,600	-1,42	0,557	53,9
Cápsula : 69 29/65 S -1						4,160	70	394,0	0,700	-1,89	0,630	61,1
M + M(c) : 34,74 27,98 29,54						4,150	80	429,0	0,800	-2,12	0,686	66,5
M _S + M(c) : 33,75 27,07 28,52						4,150	90	445,0	0,900	-2,12	0,712	69,0
M(c) : 14,30 9,96 8,24						4,140	100	500,0	1,000	-2,36	0,800	77,5
M _w : 0,99 0,91 1,02						4,120	110	540,0	1,100	-2,83	0,864	83,7
M _S : 19,45 17,11 20,28						4,110	120	572,0	1,200	-3,07	0,915	88,7
w : 5,09 5,32 5,03						4,100	130	605,0	1,300	-3,30	0,968	93,8
w : 5,15						4,090	140	638,0	1,400	-3,54	1,021	98,9
Obs.:						4,080	150	660,0	1,500	-3,77	1,056	102,3
Valor máximo : 148,8 kPa						4,080	160	683,0	1,600	-3,77	1,093	105,9
						4,070	170	708,0	1,700	-4,01	1,133	109,7
						4,060	180	730,0	1,800	-4,25	1,168	113,2
						4,050	190	750,0	1,900	-4,48	1,200	116,3
						4,040	200	771,0	2,000	-4,72	1,234	119,5
						4,030	220	800,0	2,200	-4,95	1,280	124,0
						4,010	240	829,0	2,400	-5,42	1,326	128,5
						3,990	260	850,0	2,600	-5,90	1,360	131,8
						3,980	280	864,0	2,800	-6,13	1,382	133,9
						3,960	300	873,0	3,000	-6,60	1,397	135,3
						3,940	320	887,0	3,200	-7,08	1,419	137,5
						3,910	340	895,0	3,400	-7,78	1,432	138,7
						3,880	360	900,0	3,600	-8,49	1,440	139,5

EESC				SGS			USP			
ENSAIO DE CISLHAMENTO DIRETO										
Solo : AREIA MÉDIA, FINA E GROSSA, POUCA ARGILOSA, MARROM ESCURO				Folha nº : 2						
Local : PLATINA - SP				Am : INDEFORMADA						
Operador : DANIEL PORTIOLI				Data : 03/10/2017						
DADOS DE ENSAIO				LEITURAS						
Cp : 3 σ : 200,0 kPa				Relógio Comparador			δ	$\Delta V/V0$	Fh	τ
Mola K : 0,0016 kN/div.				Vertical	Horiz.	Mola				
Velocidade do ensaio : 0,50 mm/min				lv	lh	lm	mm	%	kN	kPa
CARACTERÍSTICAS DO CP				3,850	380	905,0	3,800	-9,20	1,448	140,3
Anel :	4,00			3,830	400	909,0	4,000	-9,67	1,454	140,9
Massa do anel :	1812,39 g			3,800	420	914,0	4,200	-10,38	1,462	141,7
Altura :	2,54 cm			3,770	440	923,0	4,400	-11,08	1,477	143,1
Diâmetro :	10,16 cm			3,750	460	930,0	4,600	-11,56	1,488	144,2
Área :	103,23 cm ²			3,730	480	939,0	4,800	-12,03	1,502	145,5
Volume :	262,19 cm ³			3,720	500	947,0	5,000	-12,26	1,515	146,8
Massa (anel+cp) :	2235,36 g			3,690	550	957,0	5,500	-12,97	1,531	148,3
Massa (cp) :	422,97 g			3,660	600	960,0	6,000	-13,68	1,536	148,8
ρ :	1,61 g/cm ³			3,630	650	960,0	6,500	-14,39	1,536	148,8
ρ_d :	1,53 g/cm ³			3,610	700	956,0	7,000	-14,86	1,530	148,2
ρ_s :	2,67 g/cm ³			3,590	750	950,0	7,500	-15,33	1,520	147,3
e :	0,74 ---			3,570	800	941,0	8,000	-15,80	1,506	145,9
Sr :	18,56 %			3,550	850	932,0	8,500	-16,27	1,491	144,5
CARACTERÍSTICAS DO CP				3,530	900	920,0	9,000	-16,75	1,472	142,6
Cápsula :	69	29/65	S-1	3,500	950	910,0	9,500	-17,45	1,456	141,1
M + M(c) :	34,74	27,98	29,54	3,480	1000	899,0	10,000	-17,92	1,438	139,3
M _s + M(c) :	33,75	27,07	28,52	3,450	1050	895,0	10,500	-18,63	1,432	138,7
M(c) :	14,3	9,96	8,24	3,430	1100	879,0	11,000	-19,10	1,406	136,2
M _w :	0,99	0,91	1,02	3,405	1150	867,0	11,500	-19,69	1,387	134,4
M _s :	19,45	17,11	20,28	3,380	1200	850,0	12,000	-20,28	1,360	131,8
w :	5,09	5,32	5,03	3,350	1250	837,0	12,500	-20,99	1,339	129,7
w :	5,15			3,310	1300	825,0	13,000	-21,93	1,320	127,9
Obs.:				3,290	1350	811,0	13,500	-22,41	1,298	125,7
Valor máximo :	148,8 kPa			3,250	1400	795,0	14,000	-23,35	1,272	123,2
				3,210	1450	780,0	14,500	-24,29	1,248	120,9
				3,160	1500	769,0	15,000	-25,47	1,230	119,2
				3,110	1550	760,0	15,500	-26,65	1,216	117,8
				3,070	1600	752,0	16,000	-27,59	1,203	116,6
				3,020	1650	742,0	16,500	-28,77	1,187	115,0
				2,980	1700	735,0	17,000	-29,72	1,176	113,9
				2,920	1750	726,0	17,500	-31,13	1,162	112,5
				2,870	1800	720,0	18,000	-32,31	1,152	111,6

EESC	SGS	USP	
ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO			
Solo : AREIA MÉDIA, FINA E GROSSA, POUCO ARGILOSA, MARROM ESCURO		Folha nº : ÚNICA	
Local : PLATINA - SP		Am : INDEFORMADA	
Operador : DANIEL PORTIOLI		Data : 03/10/2017	
VALORES MÁXIMOS DE RESISTÊNCIA			
σ (kPa)	50	100	200
τ (kPa)	63,7	105,2	148,8
VALORES DA ENVOLTÓRIA			
a :	41,928	tg α :	0,5485
PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA			
ϕ (°) :	33,3	c (kPa) :	41,928
Sendo que : ϕ (°) : Ângulo de atrito c (kPa) : Coesão			
ENVOLTÓRIA			
Obs.:			

APÊNDICE D – Resultados das Análises Granulométricas para os solos experimentais.

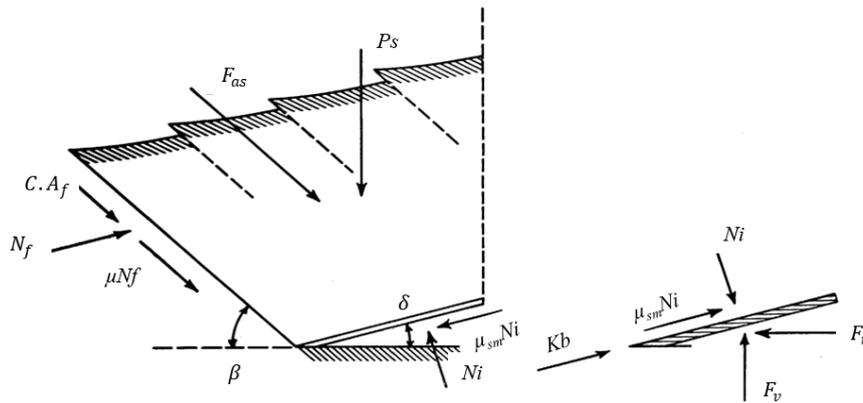
EESC			SGS			USP		
SOLO - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR 7181								
Solo : AREIA MÉDIA, FINA E GROSSA, POUCO ARGILOSA, MARROM ESCURO						ρ _s : 2,670		
Local : OCAUÇU - SP			Profundidade (m) : 0,25			Amostra : ÚNICA		
Operador : DANIEL PORTIOLI			Data : 24/07/2017					
PREPARAÇÃO DA AMOSTRA REDUZIDA								
Teor de Umidade				M _s				
Cápsula	C1	20	1	Cápsula	-			
M + M(c)	29,05	25,17	26,25	M + M(c)	125,74	Densímetro: 87275		
M _s + M(c)	28,25	24,46	25,48	M(c)	0,00	Modelo: ASTM 151-H		
M(c)	12,12	11,19	11,01	M	125,74	Equação (z): z = 16.32 - 0.266 x l		
M _w	0,80	0,71	0,77	w	5,21	Defloculante: Hexamet. De Sódio		
M _s	16,13	13,27	14,47	M _s	119,51	Proveta: --		
w	4,96	5,35	5,32	M _s (# 10)	0,00			
		5,21		M _s (# 200)	91,92			
ENSAIO								
Peneiramento								
#	D(mm)	M _s (# ---)	P _r (# ---)	ΣP _r (# ---)	P _p (# ---)	Composição final		
10	2,00	0,00	0,00	0,00	100,00	Material		%
16	1,20	0,02	0,02	0,02	99,98	Pedregulho :		0,0
30	0,60	3,46	2,90	2,91	97,09	Areia _y :		2,9
50	0,30	14,09	11,79	14,70	85,30	Areia _m :		41,1
70	0,21	32,26	26,99	41,69	58,31	Areia _x :		34,0
100	0,15	18,95	15,86	57,55	42,45	Silte :		10,3
140	0,11	15,27	12,78	70,33	29,67	Argila :		11,7
200	0,075	7,87	6,59	76,91	23,09	Σ :		100,0
=	Σ	91,92	=	=	=	Obs. :		
	Prato	2,99						
Sedimentação								
Data	Hora minuto	t min.	T °C	ℓ	ℓ _{sol}	D	ℓ - ℓ _{sol}	P(<D)
24/07/17		0,5	21,5	20,8	-4,28	0,0620	16,5	22,10
		1	21,5	18,5	-4,28	0,0450	14,2	19,02
		2	21,5	17,1	-4,28	0,0324	12,8	17,15
		4	21,5	16,5	-4,28	0,0230	12,2	16,35
		8	21,3	15,3	-4,31	0,0165	11,0	14,70
		15	21,1	15,2	-4,35	0,0121	10,9	14,52
		30	20,9	14,3	-4,38	0,0087	9,9	13,27
		60	20,1	14,2	-4,52	0,0062	9,7	12,96
		120	19,1	14,0	-4,67	0,0044	9,3	12,48
		240	18,4	13,6	-4,78	0,0032	8,8	11,80
		480	18,5	13,5	-4,76	0,0023	8,7	11,69
Observação :								

EESC			SGS			USP		
SOLO - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - NBR 7181								
Solo : AREIA MÉDIA, FINA E GROSSA, POUCA ARGILOSA, MARROM ESCURO						ρ _s : 2,670		
Local : PLATINA-SP			Profundidade (m) : 0,25			Amostra : ÚNICA		
Operador : DANIEL PORTIOLI			Data : 18/09/2017					
PREPARAÇÃO DA AMOSTRA REDUZIDA								
Teor de Umidade				M _s		Densímetro: 87275 Modelo: ASTM 151-H Equação (z): z = 16.32 - 0.266 x l Defloculante: Hexamet. De Sódio Proveta: --		
Cápsula	11	8	108	Cápsula	-			
M + M(c)	31,06	35,54	31,71	M + M(c)	131,61			
M _s + M(c)	30,36	34,71	31,01	M(c)	0,00			
M(c)	11,08	11,13	11,71	M	131,61			
M _w	0,70	0,83	0,70	w	3,59			
M _s	19,28	23,58	19,30	M _s	127,05			
w	3,63	3,52	3,63	M _s (# 10)	0,00			
		3,59		M _s (# 200)	105,50			
ENSAIO								
Peneiramento								
#	D(mm)	M _s (# ---)	P _r (# ---)	ΣP _r (# ---)	P _p (# ---)	Composição final		
10	2,00	0,00	0,00	0,00	100,00	Material	%	
16	1,20	0,01	0,01	0,01	99,99	Pedregulho :	0,0	
30	0,60	0,69	0,54	0,55	99,45	Areia _g :	0,6	
50	0,30	10,34	8,14	8,69	91,31	Areia _m :	43,4	
70	0,21	44,60	35,11	43,80	56,20	Areia _f :	40,0	
100	0,15	31,16	24,53	68,32	31,68	Silte :	5,1	
140	0,11	12,11	9,53	77,85	22,15	Argila :	10,9	
200	0,075	6,59	5,19	83,04	16,96	Σ :	100,0	
=	Σ	105,50	=	=	=	Obs. :		
	Prato	0,97						
Sedimentação								
Data	Hora minuto	t min.	T °C	ℓ	ℓ _{sol}	D	ℓ - ℓ _{sol}	P(<D)
18/09/17		0,5	25,0	16,8	-3,61	0,0624	13,2	16,60
		1	25,0	15,9	-3,61	0,0446	12,3	15,47
		2	25,0	15,6	-3,61	0,0316	12,0	15,09
		4	25,0	15,1	-3,61	0,0225	11,5	14,46
		8	25,0	14,2	-3,61	0,0160	10,6	13,33
		15	25,0	14,0	-3,61	0,0117	10,4	13,08
		30	24,5	13,8	-3,71	0,0084	10,1	12,70
		60	24,0	13,1	-3,81	0,0060	9,3	11,69
		120	23,5	13,0	-3,91	0,0043	9,1	11,44
		240	23,0	12,9	-4,01	0,0030	8,9	11,19
		480	23,0	12,7	-4,01	0,0022	8,7	10,94
Observação :								

APÊNDICE E– Cálculo da força de tração de uma lâmina inclinada no solo.

O cálculo de força de tração para uma lâmina inclinada no solo foi baseado no modelo bidimensional de Gill e Berg (1968), que será descrito a seguir. Considerando primeiro a somatória de forças para a ferramenta mostradas na Figura 60 temos:

Figura 60 - Forças em um segmento de solo reagindo a uma lâmina inclinada



Fonte: Adaptado de Gill (1968)

Para a somatória de forças na horizontal.

$$\sum F(x) = 0$$

$$F_{tração} = N_i \cdot \text{sen} \delta + \mu_{sm} \cdot N_i \cdot \text{cos} \delta + K \cdot b \quad (1)$$

Onde (K) se caracteriza como a resistência ao corte do solo na ponta da lâmina por unidade de comprimento da lâmina. Se definirmos a força de tração que não inclua o componente de corte ($F_{tração}^*$), equação 2, a equação 1 resulta:

$$F_{tração}^* = F_{tração} - Kb \quad (2)$$

$$F_{tração}^* = N_i \cdot \text{sen} \delta + \mu_{sm} \cdot N_i \cdot \text{cos} \delta \quad (3)$$

Rearranjando a equação em função da normal ao plano inclinado temos:

$$N_i = F_{tração}^* / (\text{sen} \delta + \mu_{sm} \cdot \text{cos} \delta) \quad (4)$$

Para a somatória de forças na vertical para a lâminas temos:

$$\sum F(y) = 0$$

$$F_v - \mu_{sm} N_i \cdot \text{sen} \delta - N_i \cdot \text{cos} \delta = 0$$

$$F_v = \mu_{sm} N_i \cdot \text{sen} \delta + N_i \cdot \text{cos} \delta \quad (5)$$

Agora realizando a somatória de forças para na vertical para o volume de solo sobre o comprimento da lâmina na Figura 60 temos.

$$\Sigma F(y) = 0$$

$$P_s - F_v - N_f \cdot (\text{cos} \beta + \mu_{sm} \text{sen} \beta) + (C \cdot A_f + F_{as}) \text{sen} \beta = 0 \quad (6)$$

A somatória de forças na horizontal para o volume do solo sobre a lamina temos:

$$-N_i \cdot (\text{sen} \delta + \mu_{sm} \text{cos} \delta) + N_f \cdot (\text{sen} \beta + \mu \text{cos} \beta) + (C \cdot A_f + F_{as}) \cdot \text{cos} \beta = 0 \quad (7)$$

Substituindo a equação 3 com a força de tração na lamina e rearranjando para isolar a normal da superfície de falha (N_f) temos:

$$N_f = \frac{F_t^* - (C \cdot A_f + F_{as}) \text{cos} \beta}{\text{sen} \beta + \mu \cdot \text{cos} \beta} \quad (8)$$

Substituindo em (N_i), da equação 4, (F_v) da equação 5 e (N_f), da equação 8, na equação 6 temos:

$$P_s - \frac{F_{tração}^*}{(\text{sen} \delta + \mu_{sm} \cdot \text{cos} \delta)} \cdot (\text{cos} \delta - \mu_{sm} \cdot \text{sen} \delta) - \frac{F_{tração}^* - (C \cdot A_f + F_{as}) \text{cos} \beta}{\text{sen} \beta + \mu \cdot \text{cos} \beta} \cdot (\text{cos} \beta + \mu_{sm} \text{sen} \beta) + (C \cdot A_f + F_{as}) \cdot \text{sen} \beta = 0 \quad (9)$$

Rearranjando os termos e isolando a força de tração:

$$\begin{aligned} & \frac{F_{tração}^*}{(\text{sen} \delta + \mu_{sm} \cdot \text{cos} \delta)} \cdot (\text{cos} \delta - \mu_{sm} \cdot \text{sen} \delta) + \frac{F_{tração}^*}{\text{sen} \beta + \mu \cdot \text{cos} \beta} \cdot (\text{cos} \beta + \mu_{sm} \text{sen} \beta) \\ & = P_s + (C \cdot A_f + F_{as}) \cdot \text{sen} \beta + \frac{(C \cdot A_f + F_{as}) \text{cos} \beta}{\text{sen} \beta + \mu \cdot \text{cos} \beta} \cdot (\text{cos} \beta + \mu_{sm} \text{sen} \beta) \\ F_{tração}^* \cdot \left[\frac{\text{cos} \delta - \mu_{sm} \cdot \text{sen} \delta}{\text{sen} \delta + \mu_{sm} \cdot \text{cos} \delta} + \frac{\text{cos} \beta + \mu_{sm} \text{sen} \beta}{\text{sen} \beta + \mu \cdot \text{cos} \beta} \right] & = P_s + (C \cdot A_f + F_{as}) \cdot \left[\frac{\text{sen} \beta (\text{sen} \beta + \mu \cdot \text{cos} \beta) + \text{cos} \beta \cdot (\text{cos} \beta + \mu_{sm} \text{sen} \beta)}{\text{sen} \beta + \mu \cdot \text{cos} \beta} \right] \end{aligned} \quad (10)$$

Definindo a constante (Z) como a equação 11 e substituindo na equação 10 temos:

$$Z = \left[\frac{\text{cos} \delta - \mu_{sm} \cdot \text{sen} \delta}{\text{sen} \delta + \mu_{sm} \cdot \text{cos} \delta} + \frac{\text{cos} \beta + \mu_{sm} \text{sen} \beta}{\text{sen} \beta + \mu \cdot \text{cos} \beta} \right] \quad (11)$$

$$F_{tração}^* \cdot Z = P_s + (C \cdot A_f + F_{as}) \cdot \left[\frac{\text{sen}^2 \beta + \text{cos}^2 \beta + \mu \cdot \text{sen} \beta \text{cos} \beta + \text{cos} \beta \cdot \mu_{sm} \text{sen} \beta}{\text{sen} \beta + \mu \cdot \text{cos} \beta} \right] \quad (12)$$

Aproximando termos e utilizando relações trigonométricas a equação 12 resultará:

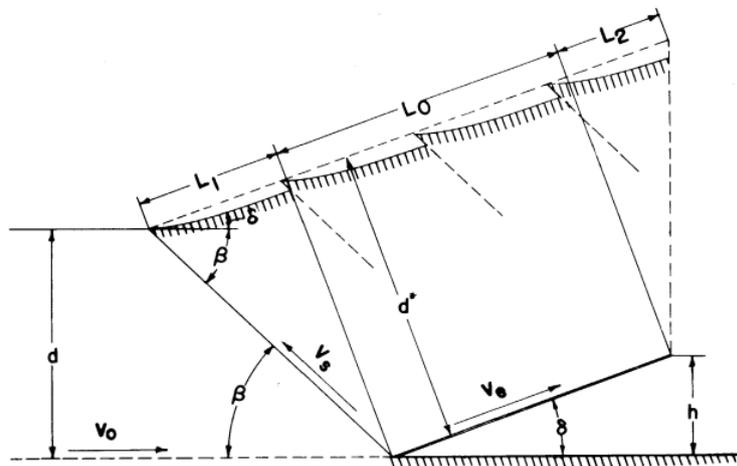
$$F_{tração}^* \cdot Z = P_s + (C \cdot A_f + F_{as}) \cdot \left(\frac{1}{\text{sen} \beta + \mu \cdot \text{cos} \beta} \right)$$

$$F_{tração}^* = \frac{P_s}{Z} + \frac{C.A_f + F_{as}}{Z.(sen\beta + \mu.cos\beta)} \quad (13)$$

Na equação 13 ainda faltam definir as variáveis do peso do solo em cima da lamina (P_s) e a força para aceleração do solo na Lamina (F_{as}).

Para o cálculo do peso do solo a Figura 61 mostra as relações geométricas e velocidades para o volume de solo. Assim o volume de solo sobre a lamina pode ser aproximado pela área do trapézio mostrado na Figura 61 onde o peso pode ser definido pela equação 14, onde multiplica-se a densidade do solo (γ) pela largura da lamina (b) e área do trapézio formado.

Figura 61 – Relações de geometrias e velocidades para um segmento do solo reagindo a movimentação de uma lamina inclinada



Fonte : Adaptado de Gill (1968)

$$P_s = \gamma . b . d^* (L_0 + \frac{L_1 + L_2}{2}) \quad (14)$$

Onde da figura as relações geométricas são:

$$d^* = d . \frac{sen(\delta + \beta)}{sen\beta} \quad (15)$$

$$L_1 = \frac{d . cos(\delta + \beta)}{sen\beta} \quad (16)$$

$$L_2 = d^* \tan \delta \quad (17)$$

Para a força de aceleração solo, causada pela movimentação da lamina pode ser calcula obtendo pela massa de solo acelerado multiplicado por sua aceleração, equação 18

$$F_{as} = m_s \frac{\partial v}{\partial t} \quad (18)$$

A massa pode ser obtida pela equação 19, onde relaciona com a velocidade de avanço para a lamina (v_0).

$$m_s = \frac{\gamma}{g} \cdot b \cdot d \cdot t \cdot v_0 \quad (19)$$

Substituindo na equação 18 na equação 19 temos:

$$F_{as} = \frac{\gamma}{g} \cdot b \cdot d \cdot t \cdot v_0 \frac{\partial v}{\partial t} \quad (20)$$

Para o termo da aceleração, está relacionada a variação de velocidade na região de falha do solo (v_s). Assim para a sua obtenção é necessário realizar a soma de velocidades na figura tanto na horizontal, quanto na vertical que são apresentadas nas equações 21 e 22 respectivamente.

$$v_0 = v_s \cos \beta + v_e \cdot \cos \delta \quad (21)$$

$$v_s \sin \beta = v_e \cdot \sin \delta \quad (22)$$

Dessa forma, isolando e substituindo a velocidade do solo na lamina (v_e) da equação 22 na equação 21 e rearranjando temos:

$$v_s = v_0 \cdot \frac{\sin \delta}{\sin(\delta + \beta)} \quad (23)$$

Substituindo os termos na equação 20 e eliminando o termos relacionados ao tempo resultam

$$F_{as} = \frac{\gamma}{g} \cdot b \cdot d \cdot v_0^2 \cdot \frac{\sin \delta}{\sin(\delta + \beta)} \quad (24)$$

Gill e Berg (1968) relacionam o coeficiente de atrito do solo e o ângulo de falha a propriedade de ângulo de atrito interno através das equações 25 e 26 respectivamente.

$$\mu = \tan \phi \quad (25)$$

$$\beta = 1/2(90^\circ - \phi) \quad (26)$$

APÊNDICE F – Cálculo do custo horário de operação de máquinas agrícolas.

Para o cálculo do custo operacional total de máquinas agrícolas pode ser calculado conforme a equação 27 (PACHECO, 2000).

$$CT = CF + CV \quad (27)$$

Na equação 27 divide está dívida em custos fixo (CF), e custo variáveis (CV), os custos fixos estão apresentados na equação 28, e que se divide em três termos, a Depreciação (D), Juros (J) e Alojamento e seguro (AS).

$$CF = D + J + AS \quad (28)$$

Para a parcela da Depreciação, equação 29, é calculada pelo preço de aquisição da máquina (P) menos o valor de sucata do equipamento depois da sua vida útil (S) dividido pelo pela vida útil do equipamento em horas (V). O valor de sucata foi aproximado por 10% do valor de compra do equipamento por Pacheco (2000).

$$D = (P - S)/V \quad (29)$$

A parcela de juro é calcula pela equação 30, onde (i) é a taxa de juros anual e o tempo de uso por ano em horas (t).

$$J = \frac{\left[\frac{P - 0,1.P}{2} \right] i}{t} \quad (30)$$

A ultima parcela do custo fixo, Seguros e alojamento, é considerada pela equação 31, onde (ta) e a porcentagem do preço de aquisição destinada ao alojamento e seguro para o equipamento

$$AS = ta.P/t \quad (31)$$

O segundo termo da equação 27, que corresponde aos custos variáveis, estes são calculados tanto para o trator como para o implemento pela equação 32, que é composta pelos termos de custo com combustíveis (C_{Comb}), custo com lubrificantes (CL), manutenção e reparo (RM) e salários dos agricultores e tratorista (ST).

$$CV = C_{Comb} + CL + RM + ST \quad (32)$$

O custo de combustível pode ser aproximado pela equação 33 (PACHECO, 2000), onde são aproximados por um fator de potência multiplicado pelo preço do óleo diesel no período.

$$C_{Comb} = 0,25 \cdot Pot_{BT} \cdot P_{comb}. \quad (33)$$

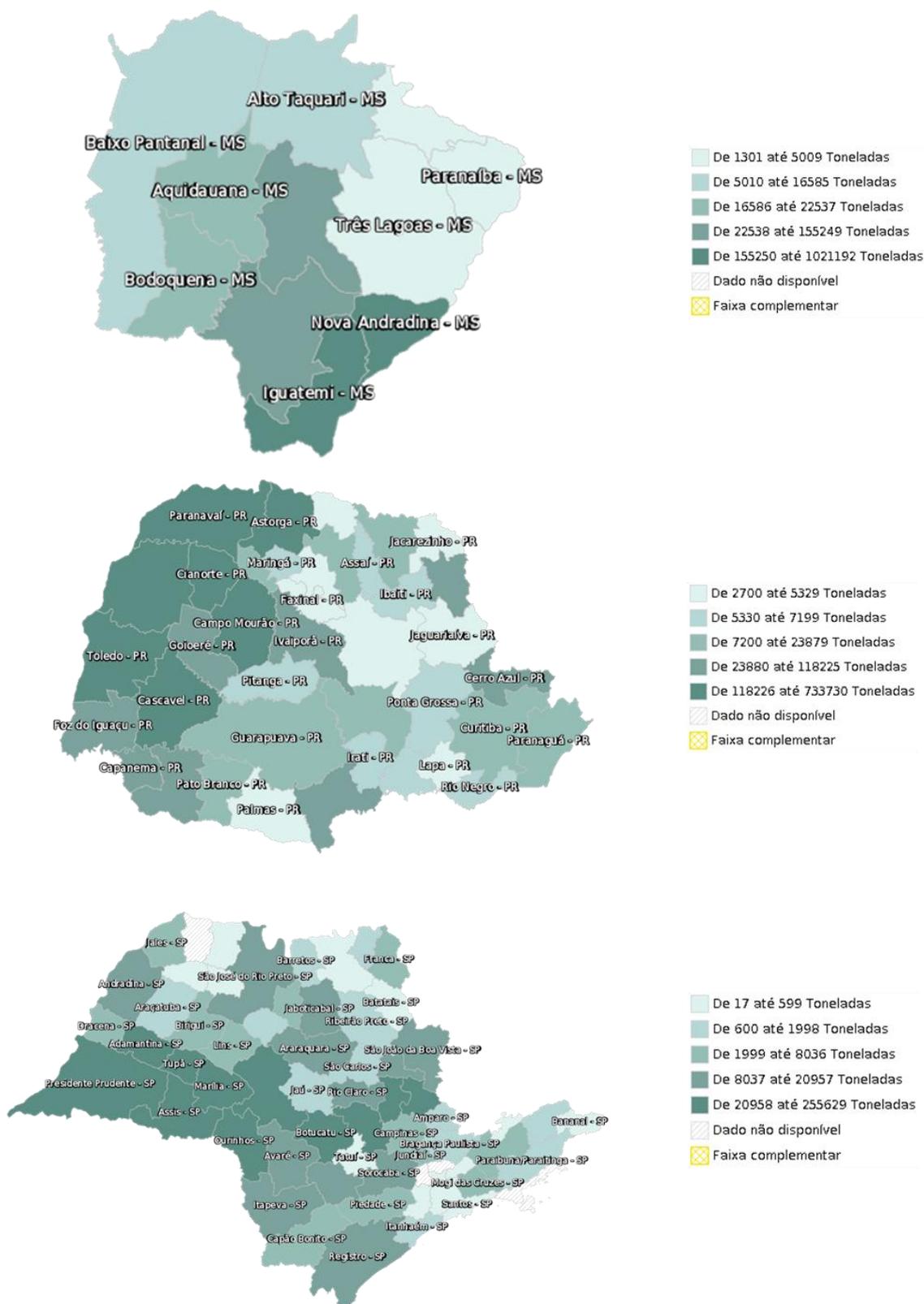
O custo dos lubrificantes (CL), envolve o valor gasto com a troca de lubrificantes para o equipamento dividido pelo período em horas necessário para a troca. O termo de manutenção e reparos, envolvem a porcentagem do valor de aquisição do equipamento gasto com a manutenção durante sua vida útil.

O último termo de salários (ST), são calculados pela equação 34, onde o salário mensal (SM) e calculado para os meses do ano mais o décimo terceiro, divididos pelas horas trabalhadas durante o ano. O salário mensal é calculado pela equação 35, que levam em conta tanto o salário mínimo como os encargos sociais ($E_{sociais}$).

$$ST = \frac{SM \cdot 13}{t} \quad (34)$$

$$SM = 1,5 \cdot S_{mínimo} + E_{sociais} \quad (35)$$

ANEXO A - Produção de mandioca por regiões nos Estados de Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo



ANEXO B - Custo de Produção de mandioca industrial para a o Estados do Paraná

Mandioca para a indústria - Custo de produção (R\$/ha) - 2016 para o Estado do Paraná						
Descrição	Especificação	V.U.	Colheita de 10 a 12 meses		Colheita de 18 a 20 meses	
			Qtde	Valor	Qtde	Valor
A - Operações Mecanizadas						
A.1. Preparo do Solo/Plantio						
Limpeza	HM Tp 65cv 4x2 + carreta 4t	R\$ 85,50	1,00	85,50	1	85,50
Gradagem pesada	HM Tp 125cv 4x4 + grade aradora 16x26"	R\$ 127,12	1,50	190,68	1,5	190,68
Gradagem Niveladora	HM Tp 125cv 4x4 + grade niveladora 52x20"	R\$ 141,77	0,60	85,06	0,6	85,06
Plantio mecanizado	HM Tp 65cv 4x2 + Plantadeira de 2 linhas	R\$ 123,28	1,60	197,25	1,6	197,25
Pulverização herbicida	HM Tp 65cv 4x2 + pulverizador de barras 12 m cap 600l	R\$ 93,03	0,22	20,47	0,22	20,47
Transporte interno de insumos e manivas	HM Tp 65cv 4x2 + carreta 4t	R\$ 85,50	0,50	42,75	0,75	64,13
A.2. Tratos Culturais						
Capinas (1x)	HM Tp 65cv 4x2 + cultivador/adubador	R\$ 89,29	1,10	98,22	1,1	98,22
Pulverização	HM Tp 65cv 4x2 + pulverizador de barras 12 m cap 600l	R\$ 97,15	0,66	64,12	0,88	85,49
Poda	HM Tp 65cv 4x2 + roçadora/podador	R\$ 90,92			0,55	50,01
A. 3. Colheita						
Passagem do afofador	HM Tp 125cv 4x4 + grade niveladora 52x20"	R\$ 119,57	2,50	298,93	2,7	322,84
Transporte raiz	HM Caminhao Truck	R\$ 155,27	2,50	388,18	2,7	419,23
Transporte interno de produção	HM Tp 65 cv 4x2 + carreta 4t	R\$ 85,50	2,00	171,00	3	256,50
Subtotal A				1.642,14		1.875,37
B - Operações manuais						
B.1. Preparo do solo/Plantio						
Coleta e armazenagem das manivas	Homem-dia	R\$ 63,28	2	126,56	2	126,56
Preparo de manivas	Homem-dia	R\$ 63,28	1	63,28	1	63,28
Plantio (duas pessoas na máquina)	Homem-dia	R\$ 63,28	0,2	12,656	0,2	12,66
B.2 Tratos Culturais						
Capinas (2x 2,5x)	Homem-dia	R\$ 63,28	20	1265,6	25	1.582,00
Aplicação de inseticida	Homem-dia	R\$ 63,28	0,5	31,64	0,5	31,64
Combate à formiga	Homem-dia	R\$ 63,28	0,5	31,64	0,5	31,64
Poda	Homem-dia	R\$ 63,28			0,2	12,66
B.3. Colheita						
Colheita	R\$/tonelada	R\$ 33,50	25	837,5	40	1.340,00
Subtotal B				2368,876		3.200,43
C – Insumos						
C.1. Fertilizantes						
Superfosfato simples	R\$/tonelada	R\$ 950,00	0,32	304,00	0,15	142,50

Cloreto de potássio	R\$/tonelada	R\$ 1.125,00	0,2	225,00	0,05	56,25
Fertilizante 05-20-20	R\$/tonelada	R\$ 1.200,00	0		0,25	300,00
C.2. Sementes ou manivas	R\$/m³	R\$ 173,69	5	868,45	5	868,45
C.3. Fitossanitários						
Baculovirus	R\$/kg	R\$ 151,58	0,02	3,03	0,02	3,03
Formicida	R\$/kg	R\$ 9,15	1	9,15	1	9,15
Inseticida	R\$/litro	R\$ 30,00	0,13	3,90	0,18	5,40
Herbicida	R\$/litro	R\$ 11,00	9	99,00	18	198,00
Subtotal C				1.512,53		1.582,78
D – Administração						
Arrendamento	R\$/ha	15%				
Viagens	R\$/ha	R\$ 90,58	1	90,58	2	181,16
Assistencia Técnica	R\$/ha	R\$ 18,36	1	18,36	2	36,72
Contabilidade/escritório	R\$/ha	R\$ 18,36	1	18,36	2	36,72
Luz/Telefone	R\$/ha	R\$ 18,36	1	18,36	2	36,72
Conservação/Depreciação / Benfeitoria	R\$/ha	R\$ 18,36	1	18,36	2	36,72
Impostos	%Receita	2,3%	1	186,88	1	299,00
Subtotal D				350,90		627,04
Custo Total (R\$/ ha)				5.874,45		7.285,62
Receita (R\$/ha)				8.125,00		13.000,00
Resultado (R\$/ha)				2.250,55		5.714,38
Rendimento (T/ha)				25,00		40,00
Custo Total (R\$/ T)				234,98		182,14
Preço Médio (R\$/T)				325,00		325,00