UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FCA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

RONILSON DE SOUZA SANTOS

SISTEMAS DE COLHEITA DE MANDIOCA INDUSTRIAL: DESEMPENHO E CUSTOS OPERACIONAIS, ANÁLISE ENERGÉTICA E QUALIDADE DE COLHEITA

BOTUCATU

2017

RONILSON DE SOUZA SANTOS

SISTEMAS DE COLHEITA DE MANDIOCA INDUSTRIAL: DESEMPENHO E CUSTOS OPERACIONAIS, ANÁLISE ENERGÉTICA E QUALIDADE DE COLHEITA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de Concentração em Energia na Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças

BOTUCATU

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Santos, Ronilson de Souza, 1977-
S237s Sistemas de colheita de mandioca industrial:desempenho e custos operacionais, análise energética e qualidade de colheita / Ronilson de Souza Santos.- Botucatu: : [s.n.], 2017
128 p.: il., color. , grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Kléber Pereira Lanças
Inclui bibliografia

1. Mandioca - Colheita. 2. Mandioca - Qualidade. 3. Mecanização agrícola. 4. Viabilidade econômica. 5. Produtividade agrícola. I. Lanças, Kléber Pereira. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "SISTEMAS DE COLHEITA DE MANDIOCA INDUSTRIAL: DESEMPENHO E CUSTOS OPERACIONAIS, ANÁLISE ENERGÉTICA E QUALIDADE DE COLHEITA"

AUTOR: RONILSON DE SOUZA SANTOS
ORIENTADOR: KLEBER PEREIRA LANÇAS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP

Prof. Dr. OSMAR DE CARVALHO BUENO
Dep de Economia, Sociologia e Tecnologia / Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP

Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA
Depto de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. ALBERTO KAZUSHI NAGAOKA
Departamento de Engenharia / UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

DR. JOSE CARLOS FELTRAN
Seção de Raízes e Tubérculos / INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS

Botucatu, 10 de julho de 2017.

À DEUS, pois certamente tem sido por mim em todos os lugares onde coloquei a planta de meus pés!

Aos meus pais, Mariano Alves dos Santos e Maria Margarida de Souza Santos, pelo dom da vida, formação e amor dispensado;

Ao meu irmão, José Renato de Souza Santos, pela fraternal companhia ao longo dos anos.

À minha Esposa, Elygleici Hines Porpino Santos, aos meus filhos, Lorenzo Hines Porpino Santos e Mariana Hines Porpino Santos. Família amada e meu porto seguro, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Faculdade de Engenharia Agronômica da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Altamira, pela oportunidade da qualificação;

A Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista, por oportunizar um universo de aprendizado;

Ao Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças, pela amizade, orientação, ensinamentos e apoio durante os quatro anos de curso, período que fará a diferença na minha vida pessoal e profissional;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES, pelas concessões das bolsas de estudos Pró Doutoral e Doutorado Sanduiche nos Estados Unidos;

A Indústria Reunidas Colombo/MIAC, na pessoa de Nelson G. Cora Balduino, Gisvaldo A. Boiatti, Reginaldo Fernando A. da Costa e Laudevino A. Livramento, pelo apoio incondicional na cessão de máquinas para realização deste trabalho;

Ao Sr. José Antônio Possignolo, produtor de mandioca do município de Anhembi-SP, pela cessão da área de plantio, fundamental para realização deste trabalho;

A Agroindústria Zani, pelo apoio dispensando nas articulações de campo para realização das atividades de campo deste trabalho;

Ao Emanuel R. Spadim, Miguel Pascucci, Ricardo Rabelo, Jefferson Sandi, Murilo Battistuzzi, João Vitor P. Testa, Fellipe Damasceno, Fábio L. de Souza, Barbara B. Fernandes e Carlos Renato G. Ramos, membros da “família” NEMPA/FCA;

Aos Professores Adriano W. Ballarin, Carlos A. Gamero, Célia Regina L. Zimback, Maria Helena Morais, Maria Marcia P. Sartóri, Maura Seiko T. Esperancini**,** Osmar de C. Bueno, Paulo Roberto A. Silva, Saulo Philipe S. Guerra, Sérgio Campos, Sérgio Hugo Benez, Ulisses R. Antuniassi e Zacarias X. de Barros pelos ensinamentos e amizade;

Aos técnicos Maury T. da Silva, Fabiana da Silva Araújo, Gilberto Winckler, Débora Branco, Ana Lúcia de Grava Kempinas, Pedro Alves, Sônia Siono, Adriana Negrão Ramos, pela amizade e apoio nos momentos oportunos.

A Universidade de Davis, Califórnia-EUA, em especial, ao Prof. Shrini K. Upadhaya, por ter me recebido em seu grupo de pesquisa, oportunizando um novo ambiente acadêmico e científico.

“Os que confiam no Senhor são como os montes de Sião, que não se abalam, mas permanecem para sempre”. Sl. 125, 1

RESUMO

A mandioca, *Manihot esculenta* Crantz, originaria da América do Sul, alimenta aproximadamente 500 milhões de pessoas em todo o mundo. No Brasil, os cultivos têm produtividade média de 14 t ha^{-1}, mas em alguns casos, podendo chegar até 30 t ha^{-1}, sendo a fécula o principal produto obtido, que vem sendo utililizada como matéria prima nas indústrias de alimento, fármacos e química. Entretanto, os plantios ainda são caracterizados por práticas rudimentares de cultivo, principalmente, nas ações que compõem a operação de colheita, que é predominantemente manual, pouco ergonômica e marcada pela intensa demanda de esforço físico, dificultando a contratação de mão-de-obra para realização desta operação. Sobretudo, nos plantios que destinam a produção para indústria. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar três sistemas de colheita de mandioca, com análises efetuadas a partir do desempenho operacional, custo demandado, análise energética e qualidade de colheita. Os tratamentos foram caracterizados da seguinte forma: Sistema de colheita manual (S1), composto de poda manual da porção aérea da planta, arranquio das raízes, separação das raízes da cepa e embarque em unidade de transporte; sistema de colheita semi mecanizada (S2), composto de poda mecanizada da porção aérea da planta, desagregação mecanizada do solo, arranquio manual das raízes, separação das raízes da cepa e embarque das mesmas em unidade de transporte e sistema de colheita mecanizada (S3), composto de poda mecanizada da porção aérea da planta, desagregação mecanizada do solo, recolhimento e embarque mecanizado das raízes em unidade móvel de transporte. Destacam-se como principais resultados a capacidade de campo operacional-CCo nas ações de arranquio manual do sistema S1 e embarque mecanizado do sistema S3, os quais obtiveram 0,62 t h^{-1} a 12,4 t h^{-1}, respectivamente. O recolhimento mecanizado das raízes que usou uma máquina capaz de realizar, simultaneamente, três ações da operação de colheita, obteve CCo de 10,24 t h^{-1}, podendo representar a redução da dependência que a cultura tem com a mão-de-obra manual. Exceto o embarque mecanizado, as demais ações obtiveram Eficiência Operacional- EfO acima de 70%. Os custos operacionais totais variaram de R$ 21,84 t^{-1} a R$ 40,01 t^{-1}, sistemas S2 e S3, respectivamente, com destaque para o S2 que contabilizou o menor custo, constituindo-se como a melhor opção para colheita de mandioca. A demanda de energia nos sistemas avaliados foi de 2,35 MJ t^{-1}, 62, 61

MJ t^{-1} e 79,44 MJ t^{-1}, sistemas S1, S2 e S3, respectivamente, com esses dois últimos sistemas obtendo balanço e eficiência energética positivos, mas com alta dependência de energia fóssil. Na avaliação da qualidade da colheita, a soma das impurezas orgânica e mineral variaram de 1,44% a 4,29%. Os níveis de dano físico ao produto colhido variaram de 7,5% a 11,5% e os percentuais de raízes não colhidas variaram de 2,3% a 4,1%, sendo que estes resultados podem ser considerados satisfatórios, quando comparados a qualidade de colheita mecanizada de sistema já consolidados.

Palavras Chave: Colheita mecanizada, custos operacionais, dano mecânico.

ABSTRACT

The Manihot esculenta Crantz, originally from South America, feeds about 500 million people worldwide. In Brazil, this crop has an average yield of 14 t ha^{-1}, but in some cases, this yield can be to 30 t ha^{-1}, starch is the main product obtained, which has been used as raw material for food, drus and chemical industries. However, fields crops are still characterized by rudimentary management practices, mainly in the actions that make up the harvest operation, which is predominantly manual, no ergonomic and characterized by the intense demand of physical effort, situation that became difficult to hire people to labor this kind of operation, mainly if this crop for industry production. Therefore, the objective this work was to evaluate three cassava harvest system, with analysis performed based at the operational performance, demanded cost, energy analysis and harvest quality. The treatments were characterized as follows: Manual harvest system (S1) manual aerial pruning plants, manual pulling roots, manual separation roots, manual heaps roots and manual boarding roots into mobile transport unit; Semi-mechanized harvest system (S2) mechanized aerial pruning plants, soil detachment manual aerial pruning plants, manual pulling roots, manual separation roots, manual heaps roots and manual boarding roots into mobile transport unit and Mechanized harvest system (S3) mechanized aerial pruning plants, soil detachment, mechanized picking and mechanized boarding roots into mobile transport unit. The main results were the operational field capacity-CCo, of manual pruning from S1 system that obtened 0.62 t h^{-1} and mechanized picking from S3 system, which obtained at 12.4 t h^{-1}. The mechanized harvest roots using a harvester machine was able to make, simultaneously, three actions harvesting operation, obtained CCo of 10.24 t h^{-1}, this result can represent the reduction of dependence that the crop has with availability people to work. Except for the mechanized boarding, the other actions obtained Operational Efficiency - EfO above 70%. Total operating costs ranged from R$ 21.84 t^{-1} to R$ 40.01 t^{-1}, systems S2 and S3, respectively, with S2 accounting for the lowest cost, being the best option for cassava harvest. The energy demand in systems evaluated was 2.35 MJ t^{-1}, 62.61 MJ t^{-1} and 79.44 MJ t^{-1}, S1, S2 and S3 systems, respectively, with this latter two systems obtaining balance and positive energy efficiency, but highly dependent of fossil energy. About harvest quality, the quantity of

the organic and mineral impurities added ranged from 1.44% to 4.29%. The physical levels damage percentage of harvested roots ranged from 7.5% to 11.5% and the percentage of unharvested roots ranged from 2.3% to 4.1%, and these results can be considered satisfactory when compared to mechanized harvest quality of the system already consolidated.

Keywords: Machanized harvest, operational cost, mecanic damage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Arquitetura das raízes de mandioca	30
Figura 2.	Classificação das raízes de mandioca quanto ao tamanho do pedúnculo	31
Figura 3.	Destinação da produção da mandioca industrial brasileira no ano de 2013	33
Figura 4.	Produção brasileira de mandioca entre os anos de 1990 e 2016	34
Figura 5.	Organograma de destinação da raiz de mandioca industrial no Brasil	35
Figura 6.	Ferramenta arranquio manual de mandioca	40
Figura 7.	Roçadora frontal realizando poda da porção aérea em plantio de mandioca	41
Figura 8.	Desagregador de solo com roçadora integrada	43
Figura 9.	Protótipo de colhedora automotriz para cultura da mandioca	45
Figura 10.	Croqui de localização da área experimental	59
Figura 11.	Distribuição espacial dos tratamentos na área experimental	60
Figura 12.	Trator MF 4275 utilizado para atrelar e movimentar as máquinas de poda e recolhimento de mandioca	61
Figura 13.	Trator NH 7630, similar ao utilizado nas operações de desagregação do solo e recolhimento de *bags* no campo	61
Figura 14.	Roçadora montada e modificada, similar à utilizada na poda da porção aérea da cultura da mandioca	62
Figura 15.	Máquina utilizada no recolhimento mecanizado das raízes de mandioca	62

Figura 16.	Desagregador de solo similar ao utilizado na colheita semi-mecanizada e mecanizada da cultura da mandioca	63
Figura 17.	Guincho similar ao utilizado no embarque das raízes de mandioca na unidade de transporte	63
Figura 18.	Fluxômetro eletromecânico utilizado para medir o consumo de combustível nas ações mecanizada de colheita de mandioca	64
Figura 19.	CLP utilizado para mensurar o consumo de combustível nos tratores	64
Figura 20.	Receptor de sinal de satélite utilizado para medir distância e tempo de deslocamento dos conjuntos de tratores e máquinas agrícolas	65
Figura 21.	Balança pendular digital utilizada para realizar pesagens no campo	65
Figura 22.	Poda manual da porção aérea da cultura da mandioca	66
Figura 23.	Conjunto de célula de carga e CLP utilizados para mensurar a força de arranquio manual das raízes na cultura da mandioca	67
Figura 24.	Disposição das raízes de mandioca nas linhas de plantio após o arranquio manual	67
Figura 25.	Separação e amontoa manual das raízes da cultura da mandioca	68
Figura 26.	Embarque manual das raízes de mandioca na unidade móvel de transporte (U.M.T)	68
Figura 27.	Mensuração de tempo e distância com uso de Receptor de sinal de GPS preso ao corpo do trabalhador de campo	69
Figura 28.	Trator instrumentado com CLP e fluxômetros para mensurar o consumo de combustível nas ações que compõem os sistemas de colheita de mandioca	70
Figura 29.	Conjunto trator e roçadora deslocando-se de marcha ré para realizar a poda da porção aérea da cultura da mandioca	71
Figura 30.	Aspecto da área do plantio de mandioca após a poda mecanizada	71
Figura 31.	Desagregação do solo e raízes realizados com o conjunto trator e equipamento	72

Figura 32. Desembarque de *big bag* contendo raízes de mandioca recolhidas 73

Figura 33. Embarque das raízes na U.M.T com auxílio do guincho atrelado ao SLH do trator 73

Figura 34. Lote de material devolvido pela agroindústria de mandioca . 84

Figura 35. Detalhe do material orgânico retirado da esteira de limpeza da recolhedora de mandioca 84

Figura 36. Condição das raízes integras após a colheita nos sistemas propostos 86

Figura 37. Estado físico das raízes de mandioca danificadas colhidas nos sistemas propostos 86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Classificação e nível de impureza mineral e vegetal aceitáveis em colheita de cana-de-açúcar	54
Tabela 2.	Fração de dispêndio calórico humano nas atividades agrícolas realizadas manualmente, com base no metabolismo basal em cultivo de videira	81
Tabela 3.	Média dos resultados da capacidade operacional- CCo em ha h^{-1} para as ações que compuseram os sistemas de colheita de mandioca	89
Tabela 4.	Média dos resultados da capacidade de campo operacional em t h^{-1} para as ações que compõem os sistemas de colheita de mandioca	90
Tabela 5.	Média dos resultados da eficiência operacional-EfO, em % para as ações que compuseram os sistemas de colheita de mandioca	93
Tabela 6.	Média dos resultados do consumo de combustível em L ha^{-1} e L t^{-1} para as ações que compuseram os sistemas de colheita de mandioca	95
Tabela 7.	Média dos resultados dos custos operacionais em R$ t^{-1} e %, para as ações que compuseram os sistemas de colheita de mandioca	96
Tabela 8.	Estrutura de dispêndio energético em cada ação que compôs os sistemas de colheita de mandioca avaliados	99
Tabela 9.	Estrutura dos dispêndios energéticos por tipo, fonte e forma em MJ t^{-1} e percentuais, nas ações que compuseram os sistemas de colheita da cultura da mandioca	102
Tabela 10.	Média dos resultados dos indicadores de qualidade de colheita nos sistemas avaliados	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAM	Associação Brasileira dos Produtores de Amido e Mandioca
ASABE	American Society of Agricultural and Biological Engineers
ASAE	American Society of Agricultural Engineering
B.E	Balanço Energético
CCE	Capacidade de Trabalho efetivo
CCo	Capacidade de Campo Operacional
CEPAGRI	Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
E.D	Energia Direta
Ef.E	Eficiência Energética
E.I	Energia Indireta
EfO	Eficiência Operacional
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética Brasileira
FAO	Food and Agriculture Organization
GER	Gasto Energético no Repouso
GPS	Global Positioning System
IAC	Instituto Agronômico de Campinas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
TDA	Tração Dianteira Auxiliar
U.M.T	Unidade Móvel de Transporte

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

mL	Mililitro
N	Newton
pH	potencial de hidrogênio
ppm	partes por milhão
R$	Real (moeda brasileira)
SI	Sistema Internacional
%	Percentual
@	Arroba
>	Maior
<	Menor
±	Aproximado
∑	Somatório
°C	graus célsius
♂	Masculino
Aw	Clima tropical com estação seca no inverno
cv	Cavalo Vapor
cal	Caloria
cm	Centímetro
Ef.	Eficiência
GJ	Gigajoule
h	hora
h ha^{-1}	hora por hectare
ha	hectare
ha h^{-1}	hectare por hora
J	Joule
kcal	Quilocaloria
kcal ha^{-1}	quilocalorias por hectare
kg	quilograma
kg h^{-1}	quilograma por hora
kg ha^{-1}	quilograma por hectare
km h^{-1}	quilômetros por hora
kW	Quilowatt
L	Litro
L h^{-1}	litro por hora
L ha^{-1}	litro por hectare
L t^{-1}	litro por tonelada
m	metro
MJ	Mega Joule

MJ ha^{-1}	Mega Joule por hectare
Mg	Mega grama
MJ kg^{-1}	Megajoule por quilograma
MJ t^{-1}	Megajoule por tonelada
mm	milímetro
º	grau angular
R$ h^{-1}	Real por hora
R$ ha^{-1}	Real por hectare
R$ L^{-1}	Real por litro
R$ t^{-1}	Real por tonelada
rpm	rotações por minuto
s	segundo
t	tonelada
t h^{-1}	tonelada por hora
t ha^{-1}	tonelada por hectare
UTM	Universal Transversa de Mercator
V	Volt

SUMÁRIO **Página**

1 INTRODUÇÃO 27

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 28

2.1 A cultura da mandioca: descrição botânica da planta e origem, condições edafoclimáticas e morfologia radicular 28

2.2 Importância econômica, social e cultural 30

2.3 Mecanização dos Sistemas de produção agrícola 33

2.4 Sistemas de colheita de mandioca: desempenho, custos e características operacionais 34

2.4.1 Sistema de colheita manual 36

2.4.2 Sistema semi-mecanizado 38

2.4.3 Sistema mecanizado 41

2.5 Análise energética de sistemas agrícolas 43

2.6 Classificação das energias 43

2.7 Itinerário técnico 45

2.8 Coeficiente energético e energia consumida 45

2. 8.1 Demanda energética de mão-de-obra 46

2.8.2 Depreciação das máquinas e equipamentos agrícolas ... 47

2.8.3 Energia fóssil: combustível, lubrificantes e pneus 47

2.8.4 Energia contida no produto colhido 48

2.9 Índices energéticos 49

2.9.1 Balanço Energético 49

2.9.2 Eficiência energética 50

2.10 Qualidade da colheita 51

2.10.1 Impureza mineral e vegetal no material colhido 51

2.10.2 Integridade física do produto colhido 53

2.10.3 Perdas na colheita 55

3 MATERIAL E MÉTODOS 56

3.1 Caracterização da área experimental 56

3.2 Histórico de uso da área e instalação do experimento 57

3.3 Caracterização dos tratamentos 57

3.4 Delineamento experimental e análise estatística 58

3.5 Máquinas, equipamentos agrícolas e instrumentos utilizados 58

3.5.1 Tratores agrícolas 59

3.5.2 Equipamentos agrícolas 60

3.5.3 Instrumentação utilizada para aquisição dos dados de campo 62

3.6 Sistema manual de colheita: atividades de campo 64

3.6.1 Poda manual da porção aérea das plantas (roçagem) 64

3.6.2 Mensuração da força de arranquio das raízes 64

3.6.3 Arranquio das raízes 65

3.6.4 Separação das raízes (despinicamento) 66

3.6.5 Embarque manual das raízes em unidade móvel de transporte 66

3.7 Sistemas semi-mecanizado e mecanizado de colheita: aquisição de dados 67

3.8 Sistema semi-mecanizado: atividades de campo 68

3.8.1 Poda mecanizada da porção aérea (roçagem) 68

3.8.2 Desagregação mecanizada do solo (afofamento) 69

3.8.3 Arranquio e separação manual das raízes (despinicamento) 70

3.9 Sistema mecanizado: ações de campo 70

3.10 Índices operacionais das atividades que compuseram os sistemas de colheita de mandioca 72

3.10.1 Velocidade de deslocamento do conjunto trator e equipamento 72

3.10.2 Consumo horário de combustível 72

3.10.3 Consumo específico de combustível por unidade de produto colhido 73

3.10.4 Capacidades operacionais 73

3.10.5 Eficiência operacional 73

3.11 Custos operacionais dos sistemas de colheita 74

3.11.1 Custos fixos 74

3.11.2 Custos variáveis 76

3.12 Custos das ações nos sistemas de colheita 77

3.13 Demanda e análise energética dos sistemas de colheita 78

3.13.1 Energia de depreciação de máquinas 78

3.13.2 Demanda de energia de combustível e lubrificantes 79

3.13.3 Demanda de energia de mão-de-obra 79

3.13.4 Contabilidade energética nos sistemas de colheita .. 80

3.13.5 Balanço energético do sistema de colheita 80

3.13.6 Eficiência energética do Sistema 80

3.14 Produtividade da cultura 81

3.15 Qualidade da colheita 81

3.15.1 Impureza mineral e vegetal no material colhido 81

3.15.2 Integridade física do produto colhido 83

3.15.3 Perdas na colheita 85

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 85

5 CONCLUSÕES 104

REFERÊNCIAS 104

APÊNDICE 120

1 INTRODUÇÃO

A mandioca, *Manihot esculenta* Crantz, considerada uma das fontes de carboidrato mais acessíveis para as populações com menor poder aquisitivo vem despertando, nos últimos anos, interesse de setores da economia mundial, com destaque para a indústria de alimentos, cosmética e química, reforçando sua importância no cenário econômico das regiões produtoras.

Nas propriedades rurais de base familiar tem havido grande dificuldade em expandir a área cultivada, sendo este fato atribuído, principalmente, ao êxodo da mão de obra jovem do campo para cidade, pois a atividade agrícola é pouco atrativa e sem perspectiva de ascensão econômica e social.

A adoção de máquinas e equipamentos nas operações que compõem o sistema de produção de mandioca propicia maior capacidade operacional, reduz a dependência de mão-de-obra humana e devem tornar a atividade mais rentável. Porém, é necessário a avaliação criteriosa de todos os aspectos que compõem a utilização de sistemas mecanizados nas fazes de produção da cultura, principalmente, àqueles relacionados ao desempenho e custos das operações.

Nos plantios comerciais da cultura da mandioca há dificuldade de contratação de mão-de-obra para realização das atividades de colheita, que é predominantemente manual, caracterizada por ser pouco ergonômica, de intensa e desgastante atividade laboral.

Para tornar a mandiocultura brasileira mais eficiente, existem iniciativas públicas e privadas que vêm trabalhando no desenvolvimento de máquinas e procedimentos capazes de reduzir a intensidade do esforço físico desprendido nas operações de cultivo, principalmente, aquelas relacionadas a colheita, que pode ser considerada a operação de maior custo no sistema de produção da cultura.

O objetivo deste trabalho foi avaliar três sistemas de colheita de mandioca a partir do desempenho e custos operacionais, da análise energética e da qualidade da colheita.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

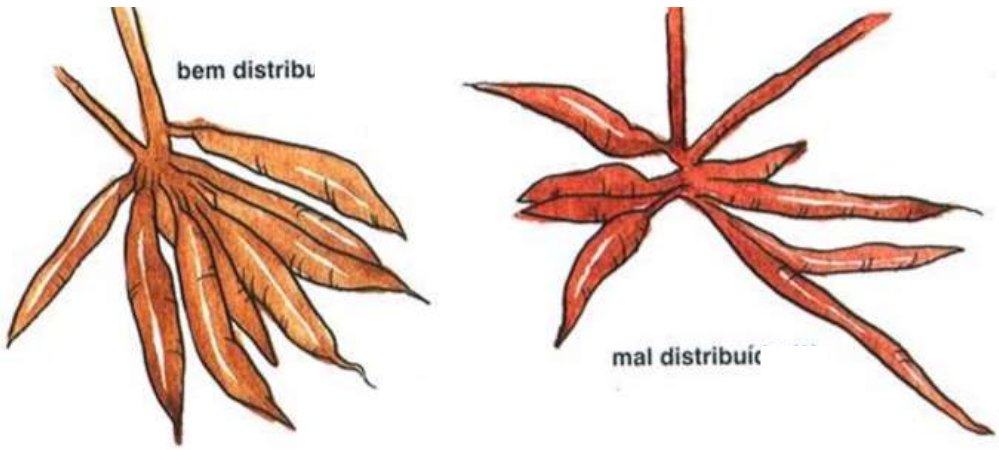
2.1 A cultura da mandioca: descrição botânica da planta, origem, condições edafoclimáticas e morfologia radicular

A mandioca, *Manihont esculenta Crantz*, é uma planta heliófila, perene, arbustiva, pertencente à família das euforbiáceas, cultivada há cerca de nove mil anos e tem origem no continente sul americano, provavelmente na Amazônia Brasileira (CARVALHO, 2006).

De acordo com Fialho (2011), as raízes, ainda no solo, podem ser classificadas como bem distribuídas, condição que ocorre quando boa parte das raízes desenvolvem-se convergindo para cepa ou mal distribuídas, quando as raízes se desenvolvem desordenadamente (Figura 1). Nesta última, dependendo do teor de água e argila do solo, pode ocorrer dificuldade na ação de arranquio das raízes, com possível quebra das mesmas.

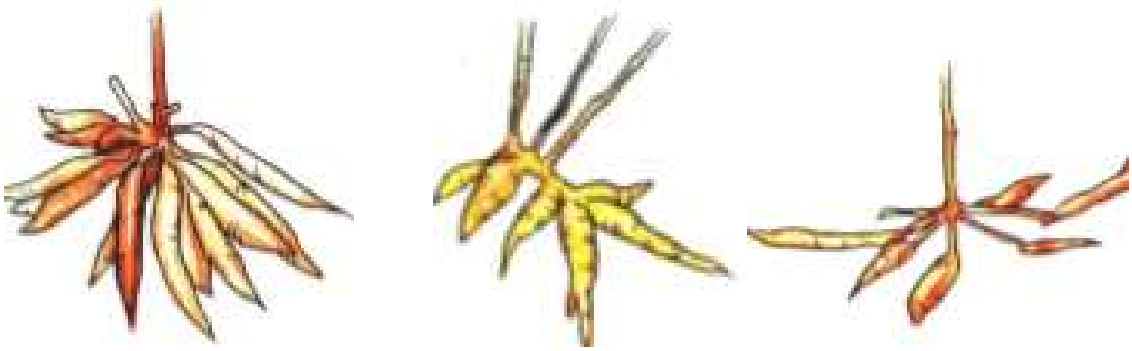
Estruturalmente, a planta da mandioca é composta pela porção aérea, cepa, que é a parte final da haste, pedúnculo e raízes. De acordo com Fialho (2011), o pedúnculo, que é o segmento que faz a ligação entre a raiz e a cepa, pode ser classificado em séssil, que é caracterizado pela inexistência de pedúnculo, curto, possuindo uma pequena porção peduncular e longo, possuindo uma longa porção peduncular (Figura 2), sendo que nos três casos, esta variação está em função da cultivar plantada.

Figura 1 - Arquitetura das raízes de mandioca



Fonte: Adaptado de Fialho (2011)

Figura 2 - Classificação das raízes de mandioca quanto ao tamanho do pedúnculo



Pedúnculo Séssil Pedúnculo curto Pedúnculo longo

Fonte: Fialho (2011)

O comprimento do pedúnculo pode influenciar nos níveis de perdas na colheita da mandioca. Para raízes com pedúnculos mais longos, dada a existência de maior área a ser cortada, existe a menor possibilidade do corte ser feito na porção aproveitável da raiz, o que representa menor perda de material colhido. Por outro lado, em raízes com pedúnculos mais curtos, o nível de perda pode ser maior, pois há menor espaço para realizar o corte que separará a raiz da cepa.

De acordo com Fukuda (2003), a mandioca, preferencialmente, é cultivada em regiões com altitude entre 600 e 800 metros, a temperatura média deve variar entre 20 a 27°C e a precipitação pluviométrica não deve ser superior a 1.500 mm anuais, bem distribuídos.

Uma das principais características da mandioca é a boa adaptação às diversas condições edafoclimáticas, principalmente, aquelas encontradas nos solos tropicais, que sejam drenados, profundos, de topografia plana, com declive de 5 a 10%, textura média a arenosa, pois solos com estas características facilitam a colheita e evitam a ocorrência de podridão das raízes.

De acordo com Fagundes et al. (2010) e Lago et al. (2011), a mandioca deve ser cultivada em solo com pH próximo a 6,5, condição que proporciona boa produtividade, mas os melhores resultados são obtidos em solos com baixos teores de nutrientes.

De acordo com Uarrota (2015), quando a cultivar é destinada ao consumo de mesa, possui de 25 a 30% de carboidratos, constituindo-se como um alimento energético.

2.2 Importância econômica

A população mundial que atualmente é de aproximadamente sete bilhões de habitantes, demanda maior quantidade de alimento, principalmente, aqueles que compõem os itens da cesta básica. Neste aspecto, os países produtores de mandioca, deram uma contribuição significativa para suprir esta demanda alimentar, produzindo no ano de 2013, mais de 275 milhões de toneladas de raízes de mandioca, sendo o Continente Africano responsável por 57,4 % da produção mundial (GROXKO, 2015).

No Brasil, a mandiocultura tem desempenho insatisfatório, o que pode ser associado ao modelo do sistema de cultivo adotado, que utiliza inadequadas práticas agrícolas e reduzida informação técnica. Mas, de acordo com Valle et al. (2008), em um curto espaço de tempo poderia ser modernizado, desde que fossem adotadas políticas públicas semelhantes àquelas que o governo brasileiro implementou para cultura da cana-de-açúcar, no início da década de setenta.

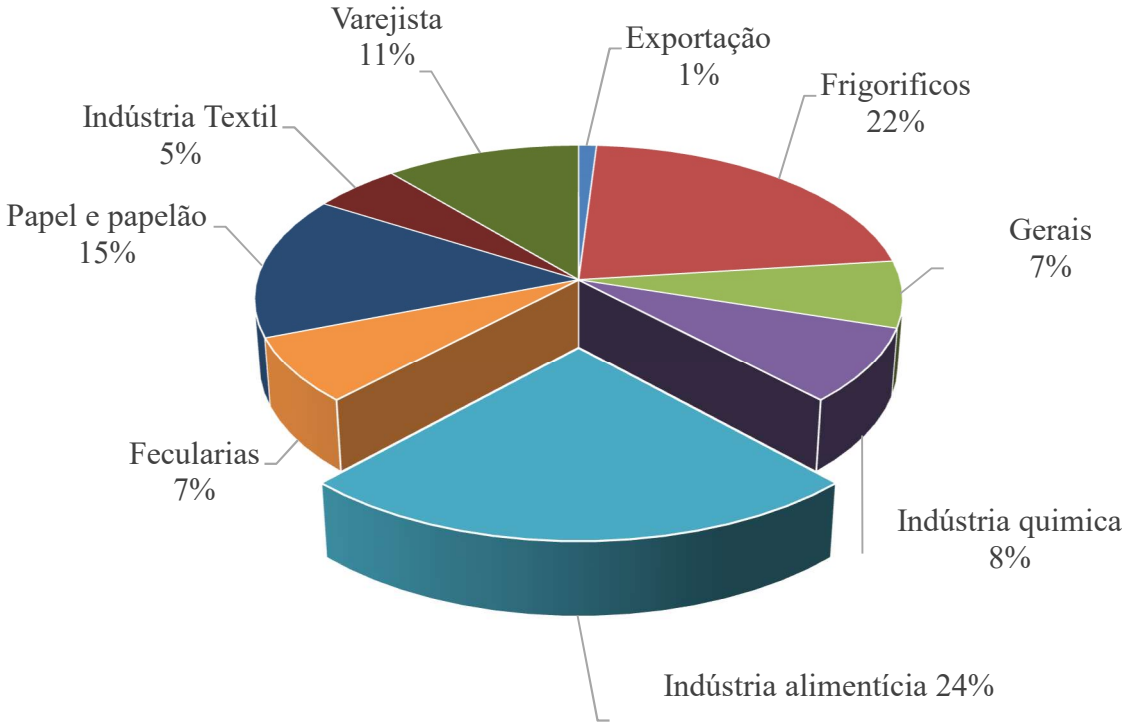
Estima-se que a partir das raízes da mandioca, possam ser elaborados mais de 600 produtos, e que toda a planta pode ser utilizada na alimentação de várias espécies de animais domésticos, de importância econômica, tais como, bovinos, peixes, bubalinos, aves e suínos (HISANO et al., 2008).

A produção da mandioca, amplamente difundida em todo território brasileiro, possui um custo de produção relativamente menor quando comparada a outras culturas (HISANO et al., 2008). De acordo com Nachiluk et al. (2009), sua importância comercial se dá, principalmente, à raiz, por ser uma das mais importantes fontes de calorias e, segundo EMBRAPA (2011), alimenta aproximadamente 500 milhões de pessoas em todo o mundo.

De acordo com FAO (2015), a mandioca constitui-se como uma das espécies mais confiáveis à segurança alimentar no mundo.

No Brasil, baseando-se em ABAM (2016) além do consumo *in natura*, na forma de mandioca de mesa, a cultura vem ganhando destaque como mandioca voltada para indústria, servido como matéria prima para as indústrias de transformação de inúmeros seguimentos econômicos (Figura 3).

Figura 3 - Destinação da produção da mandioca industrial brasileira no ano de 2013



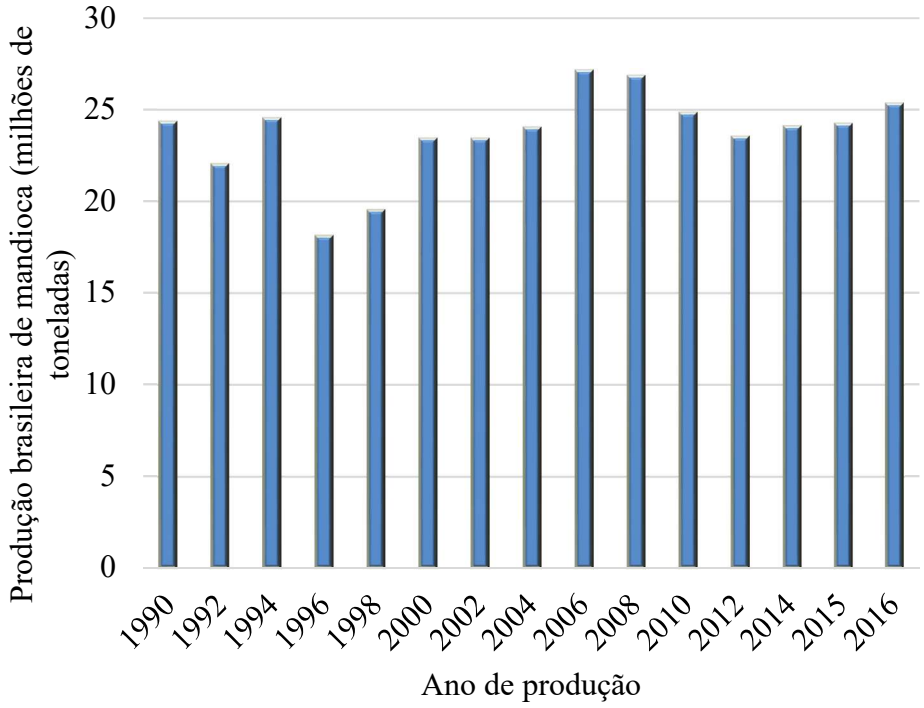
Fonte: ABAM (2016)

A produção de mandioca brasileira é de caráter cíclico, com picos e declínios ocasionados pela baixa representatividade no mercado externo, dificultando sua comercialização, principalmente, quando a produção aumenta, e o consumo interno não é capaz de absorver o excedente, forçando a imediata queda nos preços, reprimindo o tamanho da área plantada e a produção do ano seguinte (GROXKO, 2015).

De acordo com Streck et al. (2014), no ano de 2012, a safra brasileira de raízes de mandioca foi de 23 milhões de toneladas, o equivalente a 1,7 milhões de hectares plantados. De acordo com ABAM (2016), no ano de 2014, foram produzidas 24,2 milhões de toneladas de raízes, o que representou um aumento de 4,7% em relação ao ano de 2012. (Figura 4).

Baseando-se em CEPEA (2004), Cardoso et al. (2005) e Alves et al. (2009), o sistema de produção de mandioca tem se mostrado viável em diferentes regiões do Brasil, satisfazendo ao tripé da sustentabilidade da moderna agricultura, considerando os aspectos econômicos, ambientais e sociais (CARVALHO, 2009).

Figura 4 - Produção brasileira de mandioca entre os anos de 1990 e 2016



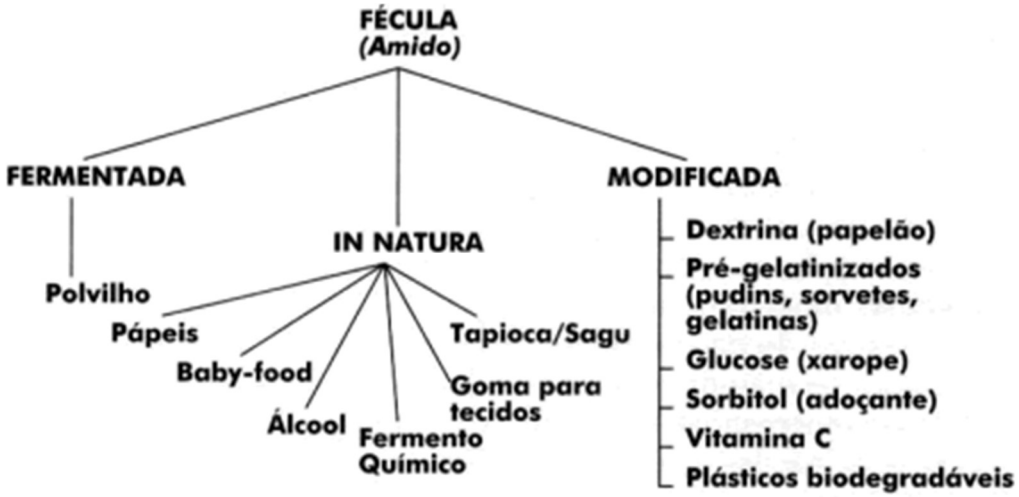
Fonte: ABAM (2016)

De acordo com a destinação da raiz, a EMBRAPA (2003) classificou a cultura em mandioca de “mesa”, tradicionalmente comercializada *in natura,* nas feiras livres ou supermercados e mandioca para a indústria (Figura 5).

O Pará, estado brasileiro com a maior produção da raiz, ainda realiza a atividade em caráter de subsistência. Os cultivos são conduzidos em área com tamanho médio de 1,5 hectare (SANTOS, et al., 2010), sendo que 90% dos plantios estão localizados em área de produção familiar (MODESTO JUNIOR et al., 2011) e têm produtividade média de 14 t ha^{-1} (ALVES et al., 2013), o que pode ser relacionado ao baixo nível tecnológico dos plantios.

As áreas produtoras de mandioca das regiões sulista e sudestina, onde a produção tem caráter industrial e caracterizam-se por adotarem práticas agronômicas mais adequadas que as regiões citadas anteriormente, têm produtividade média de 30 t ha^{-1}. A estrutura de beneficiamento é composta por mais de 40 unidades agroindústrias, de médio e grande porte, capazes de processar até seis milhões de toneladas de raízes por ano, com equilíbrio de produção entre farinha e amido (GROXKO, 2015).

Figura 5 - Organograma de destinação da raiz de mandioca industrial no Brasil



Fonte: ABAM (2016)

No Brasil, baseando-se em SEBRAE (2012) e Sala (2015), as unidades produtoras de mandioca são classificadas em doméstica, caracterizada por ser conduzida com baixo nível de mecanização, que raramente faz uso de insumos agrícolas e a produção destina-se ao consumo local; familiar, que faz uso de máquinas em parte do sistema de cultivo, possui desempenho agronômico razoável e tem inserção na cadeia produtiva da cultura, em nível local e regional e a unidade de produção empresarial, que faz uso de mão-de-obra contratada, realiza as operações de cultivo com uso de mecanização agrícola e tem inserção ativa junto às industriais de transformação.

2.3 Mecanização dos Sistemas de produção agrícola

No século XVIII, por influência direta da revolução industrial houve a substituição do trabalho manual por máquinas (FERNANDES, 2016). Esta condição obrigou que a maior parte da população mundial que vivia no campo, iniciasse o movimento migratório para as cidades.

O Brasil, na primeira metade do século XX possuía 41 milhões de habitantes, dos quais 30 milhões viviam na zona rural. No início do século XXI, essa população aumentou para 190,7 milhões de habitantes, sendo que deste total, apenas 29,9 milhões ainda residiam na zona rural (IBGE, 2010), portanto, ocorrendo o

esvaziamento da mão-de-obra no campo, dificultando sua contratação para realizar as atividades agrícolas.

Considerando a ocorrência da migração de boa parte da população do campo para cidade, é inevitável a redução da mão-de-obra disponível para realizar as atividades inerentes aos sistemas de produção agrícola, principalmente, aqueles em que existem operações mais laboriosas, como é o caso da colheita da mandioca, que em geral, é caracterizada por demandar intenso esforço físico e ser pouco ergonômica, condição que justifica a adoção de sistemas mecanizados na sua rotina de cultivo.

Por mecanização agrícola, entende-se o uso de máquinas na execução das tarefas de cultivo das espécies vegetais de valor econômico. Quando esta é utilizada de forma racional, possibilita maximizar a eficiência das operações de um sistema de cultivo, minimizando o dispêndio de energia, tempo e recursos financeiros, favorecendo o bem-estar social da população (SCALON FILHO, 2001). Da mesma forma, Ospina e Ceballos (2002) argumentaram que a mecanização da agricultura favorece a redução da mão-de-obra contratada, dos custos de produção e do tempo de trabalho por unidade de área, com reflexos diretos no custo final do produto.

A mecanização das atividades agrícolas e automação industrial são etapas comuns no desenvolvimento dos sistemas de produção capitalista. No setor canavieiro, a primeira etapa da mecanização apresentava como principal característica de inovação tecnológica a substituição da força motriz dos animais por caminhões, o braço do homem por guindastes e o emprego dos animais para a aração do solo por tratores (MORENO, 2011).

Na mandiocultura brasileira, o uso de mecanização agrícola iniciou-se nos anos de 1990, momento em que houve a significativa demanda de fécula pela indústria alimentícia, com notada evolução na operação de plantio (VALLE, 2008), sendo que as máquinas disponíveis para esta operação foram oriundas da indústria nacional, desenvolvidas por técnicos com conhecimento empírico, pesquisadores de instituições públicas em parceria com produtores rurais ou empresas privadas.

2.4 Sistemas de colheita de mandioca: desempenho, custos e características operacionais

Baseando-se em Mialhe (1974), quantitativamente, as atividades agrícolas realizadas com o uso de máquinas e implementos podem ser avaliadas a partir da quantidade de trabalho realizado por unidade de tempo.

Para avaliar o desempenho das operações agrícolas são consideradas as capacidades Teórica- CT, Capacidade de Campo Efetiva- CCE e Capacidade de Campo Operacional-CCo. A capacidade teórica considera a largura de ação dos órgãos ativos da máquina ou implemento e a velocidade de operação da mesma em condições ótimas. A capacidade efetiva representa a quantidade de trabalho produzido nas condições de operação. Por outro lado, a capacidade de campo operacional, além do trabalho produzido, considera também as manobras, paradas para reabastecimento e alguns ajustes ao longo da ação.

Além dos parâmetros quantitativos descritos anteriormente, a norma ASAE (2009) estabeleceu como parâmetro qualitativo a eficiência operacional-EfO, que obtida a partir da relação entre o tempo efetivamente utilizado e o tempo total disponível para realizar a operação. O qual está relacionada com o não aproveitamento da largura total de trabalho da máquina, com os hábitos do operador, tempo de manobras e características da área (ARALDI et al., 2013), todos com influência direta nos custos de produção da cultura (SANTOS et al., 2014).

Na operação de colheita agrícola as ações que compõem a mesma, refletem diretamente nos custos de produção da cultura. A partir desta premissa, de acordo com Milan e Rosa (2015), os custos de uma máquina agrícola são classificados como fixos e variável. Os custos fixos, envolvem a perda do valor da máquina, o desgaste, a obsolência, os juros sobre o capital investido, as taxas de alojamento e o seguro do bem. Os custos variáveis estão relacionados aos gastos demandados para operacionalizar a máquina ou equipamento. Tais como, pagamento de mão-de-obra, consumo de combustível, manutenção e eventuais reparos.

Nos plantios de mandioca em escala industrial, a maior parte das fases da colheita, ainda são realizadas manualmente, o que de acordo com Alves et al. (2013), corresponde a 30% dos custos de produção da cultura. Portanto, bem superiores aos custos de colheita das culturas da soja e milho (RICHETTI, 2008b; CASTRO et al., 2006), que variam de 4% a 6% dos custos totais de produção destas culturas, respectivamente.

A colheita das culturas agrícolas consiste em retirar do campo a porção de importância econômica (fruto, semente, tubérculo, folhas, colmos) quando esta atinge

seu pleno desenvolvimento e maturidade fisiológica. Na cultura da mandioca para indústria, esta fase ocorre entre 15 e 20 meses após o plantio (EMBRAPA, 2003), mas também ser efetuada a partir dos 11 meses, o que visualmente é caracterizado pela redução da quantidade e tamanho dos lóbulos foliares da porção aérea da cultura, momento em que ocorre o pico de acúmulo de amido nas raízes.

Na cultura da mandioca, o prazo de colheita pode ser estendido em função dos aspectos relacionados aos fatores técnicos, ambientais e econômicos. Complementando isto, Benesi et al. (2008) e Ponte (2008) estudaram a época de colheita de mandioca e afirmaram que definir o período mais favorável para colheita é necessário, pois as raízes colhidas precocemente, perde-se em produtividade. Por outro lado, se colhidas tardiamente, ocorre a redução dos teores de amido, com o aumento do percentual de raízes fibrosas.

No Brasil, identificam-se três sistemas de colheita da cultura da mandioca, sendo eles, o sistema convencional, semi-mecanizado e mecanizado, todos caracterizados por um conjunto pré-definido de ações.

2.4.1 Sistema de colheita manual

No sistema convencional, as operações são realizadas, predominantemente, com o uso de ferramentas em todas as fases da operação (MATTOS, 2002) e têm como principal característica o intenso desgastante físico do trabalhador de campo.

As ações que constituem o sistema de colheita manual das raízes de mandioca são poda manual da porção aérea da cultura, arranquio manual das raízes, separação manual das raízes da cepa, seguido de amontoa manual para posterior carregamento manual em unidade de transporte.

Segundo Normanha (1976), para realizar a poda de 1 hectare de mandioca são demandados 10 homens dia^{-1}. Para o IPT (2009) que avaliou o desempenho operacional de atividades manuais, realizadas por trabalhadores de campo, obteve rendimento médio de 0,092 ha h^{-1} na operação de roçagem manual.

Mattos e Cardoso (2003) relatou que, dependendo do nível de infestação das ervas invasoras no plantio, um homem consegue colher entre 600 e 800 kg de raízes em uma jornada de oito horas, com possibilidade de chegar até 1 tonelada de raízes colhidas no mesmo período.

Silva e Santos (2016) relataram que os plantios de mandioca onde o solo é arenoso, sem infestação de ervas invasoras e o trabalhador possuir habilidade para realizar a operação, a capacidade de colheita de raízes pode variar entre 800 a 1.400 kg por dia de trabalho.

Por questões ergonômicas, Fernandes et al. (2014) e Iida (2012) citaram que a operação de arranquio de mandioca deve ser feita com o trabalhador flexionando a coluna vertebral no máximo a 70º com a vertical.

A partir da Lei Federal n° 18/2003, as operações manuais não devem expor a coluna vertebral deste trabalhador a um esforço superior a 30 kgf, o equivalente a 300 N, sob pena de incorrer em lesões à mesma.

Figueiredo et al. (2014) avaliaram o esforço físico dos trabalhadores de campo durante o arranquio de mandioca, com e sem desagregação do solo e obtiveram esforço médio de 350 N por planta de mandioca. Mas, dependendo da arquitetura espacial das raízes, do teor de água do solo no momento da operação, a força demandada pode ser ainda maior, podendo chegar até a 530 N.

Welter e Valdiero (2014) desenvolveram uma ferramenta capaz de realizar o arranquio das raízes e diminuir o esforço físico do trabalhador no momento da operação (Figura 6), proporcionando-lhes melhores condições de trabalho, permitindo colher até 1 t h^{-1} de raízes.

Para facilitar a logística de recolhimento do veículo transportador, as raízes são amontoadas em pontos estratégico na área de plantio. E, para garantir a qualidade do produto colhido, após o arranquio, as raízes não devem permanecer no campo por mais de 24 horas, sob pena de ocorrer deterioração fisiológica e microbiológica das mesmas (EMBRAPA, 2003).

Na área de produção de subsistência, o embarque é manual, com as raízes acondicionadas em recipientes denominados *“balaios”,* os quais são transportados até a unidade de beneficiamento sobre os ombros do trabalhador de campo ou dorso de animais de carga, geralmente, asininos, equinos ou muares, que segundo Oudman (2004), poderão transportar entre 40 e 80 kg por vez.

A mandiocultura praticada na área de produtor familiar rural, que possui infraestrutura de uma pequena empresa agrícola, realiza o transporte das raízes em carroça com capacidade para 3 a 5 toneladas, rebocada por trator ou com caminhão com capacidade de até 15 toneladas. Em ambos os casos, as unidades de transporte

deslocam-se aleatoriamente entre as linhas de plantio, posicionando-se ao lado dos lotes a serem embarcados.

Figura 6 - Ferramenta arranquio manual de mandioca

Fonte: Welter e Valdiero (2014)

Tachibana e Rigolin (2002) avaliaram a capacidade operacional de trabalhadores na colheita manual da laranja e obtiveram desempenho médio de 240 kg h^{-1}, 270 kg h^{-1} e 475 kg h^{-1}, condição que permitiu classifica-los em trabalhadores fraco, médio e forte, respectivamente. A partir estes resultados, os autores concluíram que o sistema de produção de laranja, se aplicado técnicas de logística e gerenciamento na execução da atividade, é possível conseguir ganhos consideráveis na eficiência de carregamento da cultura, condição que é perfeitamente aplicável na cultura da mandioca.

2.4.2 Sistema semi-mecanizado

A colheita semi-mecanizada da mandioca é composta pelo uso de equipamentos para poda da porção aérea, desagregação localizada do solo para “afrouxamento” das raízes, separação (despinicamento) manual entre as raízes e a cepa, concluindo-se com o embarque do produto colhido, podendo este ser realizado manual ou mecanizadamente.

De acordo com EMBRAPA (2006), a poda mecanizada é realizada com o uso da roçadora montada, regulada para trabalhar sobre o solo, com altura aproximada de 0,30 m, deslocando-se sobre a linha de plantio em marcha ré, para não causar o acamamento das plantas.

Silveira e Bernardi (2001) avaliaram uma roçadora acoplada a um trator de pneus e obtiveram eficiência operacional média de 73 %. Em trabalho semelhante, Vale (2011) avaliou os parâmetros operacionais de uma roçadora que possuía 1,8 m de largura de trabalho, acoplada a um trator de pneus com potência de 63 kW no motor, deslocando-se a 6 km h^{-1}, obteve consumo de combustível de 8,39 L ha^{-1}, capacidade de trabalho efetivo de 1,03 ha h^{-1} e eficiência de operação média de 75%.

Visando suprir a demanda de máquinas voltadas à mandiocultura, algumas empresas brasileiras, fabricantes máquinas e equipamentos agrícolas, desenvolveram um modelo de roçadora para ser atrelada na porção frontal do trator (Figura 7). A partir de ensaios preliminares, esta máquina apresentou melhor ergonomia operacional e maiores capacidade de campo e eficiência operacional, quando comparado ao modelo atrelado na traseira do trator.

Figura 7 - Roçadora frontal realizando poda da porção aérea em plantio de mandioca

Fonte: Visanorte equipamentos agrícolas (2016)

A fase de desagregação do solo é realizada com equipamento denominado desagregador, sendo este, de acordo com Takahashi e Gonçalo (2005) um equipamento de baixo custo de aquisição, de elevada eficiência operacional, que pode ser utilizado em tratores de baixa potência, comuns nas propriedades rurais que cultivam mandioca.

Scalon Filho et al. (2005) avaliaram o desempenho operacional de um equipamento de desagregação de solo e outro capaz de, simultaneamente, desagregar o solo e arrancar as raízes de mandioca. Neste caso, para a capacidade de campo efetiva, os resultados foram de 0,70 e 0,56 ha h^{-1}, desagregador e desagregador/arrancador, respectivamente.

Carvalho (2009) avaliou um implemento de desagregação do solo, deslocando-se a 2,9 km h^{-1} e uma arrancadora de tubérculos, deslocando-se a 1,8 km h^{-1}. Em ambos os casos, os mesmos foram atrelados a um trator de pneus 4x2 com TDA e obtiveram capacidade de campo operacional de 0,61 e 0,35 ha h^{-1}, respectivamente.

Além dos aspectos operacionais, o uso do desagregador de solo antes do arranquio das raízes de mandioca possui a vantagem de reduzir sensivelmente a demanda de esforço físico do trabalhador de campo, podendo reduzir o custo da operação em até 13% (RICHETTI, 2008a).

Cunha et al. (2011) avaliaram o sistema de colheita semi-mecanizada de batata e observaram que houve aumento da CCo dos trabalhadores de campo quando o recolhimento dos tubérculos ocorreu após a desagregação do solo. Nas condições avaliadas, a média da CCo foi de 0,032 ha h^{-1} e a eficiência operacional obtida foi de 86%, o equivalente à 1.200 kg de batatas a cada hora trabalhada.

No Brasil, observa-se a tendência de se fabricar equipamentos que possibilitem a realização simultânea de duas ou mais operações. Entre estes equipamentos, encontra-se fase de desenvolvimento uma máquina capaz de desagregar o solo e efetuar a poda da porção aérea das plantas (Figura 8). Neste caso, de acordo com o fabricante, em ensaios preliminares, esta máquina obteve capacidade operacional variado de 1,12 ha h^{-1} a 1,27 ha h^{-1}, o que pode representar menor demanda de hora-máquina, de energia e intensidade de tráfego sobre a área de cultivo.

Nos plantios destinados a indústria, os produtores efetuam o recolhimento das raízes do campo com auxilio de um guincho, com capacidade de levante de 700 a 2000 kg. Este, atrelado a um trator, desloca-se no campo recolhendo os recipientes tipo *big bag,* contendo raízes e deposita as mesmas na unidade móvel de transporte, e devem ser conduzidas para agroindústria no prazo máximo de 24 horas, pois de acordo com Uarrota (2015), após este período, ocorre degradação da qualidade do produto colhido.

Tachibana e Rigolin (2002) conduziram experimento na colheita semi-mecanizada de laranja e obtiveram capacidade de campo operacional que variou de

36,5 t h^{-1} a 42,8 t h^{-1}, eficiência operacional de 30% e 60%, conjunto caminhão equipado com braço mecânico e colhedora florestal, respectivamente, e concluíram que a viabilidade econômica do carregamento mecanizado depende da quantidade de produto colhido diariamente, o que está diretamente relacionado à logística empregada nas operações.

Figura 8 - Desagregador de solo com roçadora integrada

Fonte: Triumaq (2016)

Gameiro et al. (2009) efetuaram análise econômica dos sistemas de carregamento de citros para processamento industrial e identificaram a existência de oito sistemas de carregamento, os quais foram definidos como manual com quatro variações e mecanizado, também com quatro variações. Sob as condições avaliadas, o sistema mecanizado com transbordo auto carregável foi considerado o mais moderno e eficiente.

2.4.3 Sistema mecanizado

Na produção de grãos, Portella (2000) descreveu como colheita mecanizada a operação que recolhe do campo o material vegetal, separando-o das partes da planta sem importância econômica, com mínima perda e manutenção da integridade física e quimica.

A colheita mecanizada dos grãos é composta pelas ações de corte, trilha, separação e limpeza. Estas fases podem ser realizadas por máquinas distintas ou por uma única máquina. Neste último caso, denominada de colhedora automotriz, o que permite classificar a operação como colheita direta.

Testa (2014) conduziu ensaio de colhedora de cana-de-açúcar com a máquina deslocando-se 2,5 km h^{-1} e obteve CCE de 0,37 ha h^{-1}, o que representou 83,65 T h^{-1} de produto colhido, demandando 102,89 L ha^{-1} de combustível, o equivalente a 1,23 L t^{-1}.

Martins (2016) realizou ensaio de colhedora de cana-de-açúcar com a mesma deslocando-se na velocidade de 3 km h^{-1} e obteve CCE de 0,45 ha h^{-1}. O correspondente a 92,66 t h^{-1} de matéria prima recolhida, consumindo 98,22 L ha^{-1} de óleo Diesel, o que representou 1,06 L t^{-1}.

De acordo com as constatações de Takahashi e Gonçalo (2005), a mandiocultura brasileira tem o sistema de produção com um dos menores índices de mecanização, sendo apenas o plantio a operação com maior evolução, visto que houve o desenvolvimento de máquinas destinadas a este fim, capazes de realizar simultaneamente todas as fases da operação, possibilitando que a CCo desta operação chegasse até 5 ha dia^{-1}, bem superior a operação realizada manualmente, que tem CCo máxima de 1 ha dia^{-1}.

De acordo com Lorenzi et al. (2002), EMBRAPA (2006) e Carvalho (2009), existem algumas máquinas destinada à colheita de mandioca disponíveis no mercado brasileiro. Mas, estas possuem baixa eficiência operacional.

Takahashi e Gonçalo (2005) relataram que foi desenvolvida uma colhedora de mandioca na região centro sul brasileira, com custo aproximado de R$ 160 mil reais, atendendo a necessidade dos produtores daquela região. Em complemento a isto, este mesmo autores ainda relataram que a máquina apresentou perda de colheita próximo a 4% e custo o operacional variou entre R$ 3,50 e R$ 8,00 t^{-1} de produto colhido.

Tachibana e Rigolin (2002) realizaram análise das operações em cultivo de laranja e constataram que 44% dos custos totais de produção da cultura são oriundos da operação de colheita.

Nas culturas de milho e soja, a colheita que é totalmente mecanizada os custos da operação variam de 3% a 6%, respectivamente (RICHETTI, 2008b; CASTRO et al., 2006). Por outro lado, Richette (2008a) avaliou os custos de produção da cultura

da mandioca e concluiu que a operação de colheita representou entre 15 a 30% dos custos de produção da cultura.

De acordo com Scalon Filho et al. (2005) e Groxko (2015), vem ocorrendo pressão para adoção da colheita mecanizada da mandioca, devendo ser intensificado uso tecnologias no sistema de produção da cultura. Condição que justifica o trabalho de Figueiredo et al. (2014) os quais desenvolveram o protótipo de uma máquina automotriz capaz de agrupar as cinco fases da colheita da mandioca em somente um transcurso da máquina (Figura 9), o que pode representar economia de tempo e redução de custo com mão-de-obra para realizar a colheita da cultura.

Figura 9 - Protótipo de colhedora automotriz para cultura da mandioca

Fonte: Figueiredo et al. (2014)

2.5 Análise energética dos sistemas agrícolas

Um sistema pode ser conceituado como um conjunto de componentes que formam uma unidade. Os sistemas agrícolas, que estruturalmente são compostos por unidades artificiais e naturais, têm o objetivo de produzir alimento, biocombustíveis e fibras, integrando o meio natural, social, cultural, econômico e tecnológico.

A análise energética consiste basicamente na apuração do saldo das entradas versus as saídas energéticas de um sistema de produção qualquer (ALMEIDA, 2007).

Baseando-se no trabalho de Castanho Filho e Chabariberi (1983) para tornar ou manter um sistema agropecuário sustentável, assume-se como condição *sine qua non*

saber onde se gasta, quanto se gasta e produz de energia no mesmo, de sorte a serem implementadas estratégias capazes de otimizar as entradas e saídas de energias do sistema de produção.

Segundo Hinrichs e Kleinbach (2009), a energia é o principal componente utilizado na produção de bens e serviços, sendo assim, garantir a segurança energética é um dos grandes desafios do século XXI, pois, com o aumento da população mundial, há a necessidade de se implementar ações coordenadas e sustentáveis para suprir a demanda de alimento, sem comprometer a disponibilidade para as gerações futuras.

Assenheimer et al. (2009) e Mantoam (2011) afirmaram que a maior demanda de alimento dinamizou as pesquisas cientificas, principalmente, aquelas voltadas à produção agropecuária, refletindo em maior eficiência no campo.

Os sistemas agrícolas são compostos de entradas e saídas de energia, também denominado de *outputs e inputs, os quais,* avaliados adequadamente, possibilita a escolha da melhor fonte de matéria-prima para a produção de energia, bens ou serviços (SIQUEIRA et al., 1999; ROMANELLI et al., 2008; ROMANELLI, 2009a).

2.6 Classificação das energias

Do ponto de vista energético, de acordo com Ulbanere e Ferreira (1989), a energia é dividida em energia direta e indireta, sendo a energia direta aquela contida nos combustíveis e lubrificantes e a energia indireta contida em um dispositivo qualquer, que contribui na produção de um segundo bem ou serviço.

Pacheco (2006) e FAO (2015) conceituaram energia renovável como sendo aquela proveniente de ciclos naturais de conversão da radiação solar em biomassa, sem alteração no balanço térmico do planeta.

Entre as principais fontes renováveis, cita-se a madeira utilizada como combustível, e a energia elétrica, oriunda da energia solar, hídrica ou eólica. As energias não renováveis são representadas pelos combustíveis fósseis, com destaque para o carvão mineral, o petróleo, o gás natural, o xisto e os combustíveis nucleares.

Macedônio e Picchioni (1985) estabeleceram dois conceitos de energia, que denominaram de energia primária e secundária. No primeiro caso, o conceito perpassa pela visão de energia em seu estado original, ou seja, não passou por

nenhum processo físico químico para o uso. Por outro lado, a energia secundária, obrigatoriamente passou por processamento mínimo para sua utilização, como é o caso da gasolina advinda do petróleo.

Considerando a fonte originária da energia, Carmo e Comitre (1993) classificaram a energia em biológica, fóssil ou industrial. A energia de fonte biológica, compõem aquela desprendida através do trabalho humano ou de animais de tração, contida no esterco de animais ou nos resíduos das agroindústrias. A fonte de energia fóssil é representada pelos produtos e subprodutos do petróleo, os quais originam os combustíveis, graxas e lubrificantes. As fontes industriais são originadas a partir da energia imobilizada na estrutura física das máquinas e equipamentos.

2.7 Itinerário técnico

Na análise energética de um sistema de produção agro silvo pastoril, há uma inter-relação entre os elementos que o compõem. Neste aspecto, Prado (1999) argumentou que se a análise for composta por um conjunto lógico e ordenado de ações, serão denominados de itinerário técnico, o qual permite efetuar a análise energética do sistema de produção, com resultados bem próximos da realidade.

Para realizar a contabilidade da análise energética de sistemas agrícolas, Beber (1989) dividiu o itinerário técnico nas seguintes classes: produto, sistema de produção, propriedade e tamanho de propriedade.

Risoud (1999) propôs efetuar a análise energética da produção agropecuária em escala espacial, realizando a mesma em nível de um país, de uma cadeia alimentar específica, chegando ao nível de produto.

Associado ao itinerário técnico, Almeida (2007) e Romero (2009) apontaram para uma análise conjunta dos aspectos energéticos e econômicos que compõem o sistema de produção agropecuário, condição que permite uma análise mais profunda do mesmo, possibilitando tomar decisões gerenciais mais assertivas.

2.8 Coeficiente energético e energia consumida

Na análise energética no meio agrícola, o coeficiente energético expressa a quantidade de energia contida em cada unidade do produto e permite contabilizar as entradas e saídas no sistema de produção de uma cultura.

Na quantificação da energia consumida em um sistema agrícola, pode ser utilizada a metodologia descrita por Comitre (1993). Nesta, contempla-se na estrutura de dispêndio, a energia demandada pela mão-de-obra, a energia de depreciação das máquinas e equipamentos agrícolas, a energia fóssil contida nos combustíveis, lubrificantes ou pneus e a energia contida no produto colhido.

2.8.1 Demanda energética de mão-de-obra

Todos os organismos vivos gastam energia para manter o equilíbrio homeostático, que está relacionado diretamente com a taxa metabólica basal, índice que mede a quantidade mínima de energia necessária para manter as funções fisiológicas em repouso, fundamental na determinação das necessidades calóricas do organismo.

A demanda diária de energia em humanos é proveniente do consumo no repouso, do efeito térmico dos alimentos. Bem como, pela energia demandada nas atividades físicas (MELO et al., 2008).

Na agropecuária, dependendo da atividade a ser efetuada, a intensidade física da mão-de-obra utilizada demanda maior ou menor gasto energético. Para contabilizar esta energia, há a possibilidade de considerar apenas a energia consumida no período das atividades laborais ou durante o ciclo de 24 horas.

De acordo com Almeida (2007) e Carvalho et al. (2012), ao estimar o gasto energético nas atividades manuais, deve ser considerado o período de 24 h, que deve ser dividindo em três turnos. O primeiro turno deve ser dedicado às atividades de sono do trabalhador, visando reduzir a fadiga muscular pós atividade laboral, o segundo turno será destinado às atividades não laborais que incluem as ações de cunho social e o terceiro turno, destinado as atividades laborais. Somando ainda as informações biométricas do trabalhador.

Dentre as metodologias utilizadas para calcular a demanda energética nas atividades agropecuárias, existe pelo menos três, comumente utilizadas nas pesquisas que se destinam a este fim. Neste trabalho, foi utilizada a metodologia desenvolvida por Benedict e Harris (1918) e aos resultados obtidos, aplicado os valores contidos na tabela de AUB-DUBOIS ou TALBOT, conforme descreveu Almeida (2007).

Pimentel e Pimentel (1979) classificaram a demanda energética em atividades agrícolas não mecanizadas em atividades leves, com demanda energética média de 1,86 MJ h^{-1}; atividades de média intensidade laboral, com demanda média de 2,28 MJ h^{-1} e atividades laborais com intenso esforço físico, com demanda média de 2,70 MJ h^{-1}.

Castanho Filho e Chabaribery (1982) pesquisaram o perfil energético da agricultura paulista a partir de um turno de 8 horas de atividade laboral e obtiveram demanda média energética de 2,19 MJ h^{-1}, nível este bem acima dos 1,22 MJ h^{-1} definido por Comitre (1993).

2.8.2 Depreciação das máquinas e equipamentos agrícolas

Para quantificação da energia contida nas máquinas e equipamentos agrícolas, utiliza-se a metodologia de depreciação das máquinas, advinda da área econômica.

Macedônio e Picchioni (1985) relataram que para fabricação de colhedoras a demanda específica de energia foi de 69,9 MJ.kg^{-1}. Na fabricação de semeadoras de fluxo continuo este quantitativo poderia chegar a 57 MJ kg^{-1}.

Tsatsarelis (1993) realizou avaliação da demanda de energia para fabricação de máquinas agrícolas e contabilizou que seriam necessários 142,7 MJ por cada kg de material produzido. Este índice é bem superior ao informado por Mantoam (2011) que avaliou demanda energética na fabricação de colhedora de cana-de-açúcar e contabilizou 56,8 MJ kg^{-1}.

2.8.3 Energia fóssil: combustível, lubrificantes e pneus

No modelo de produção estabelecido a partir da revolução industrial, caracterizado pela migração da população do campo para cidade, houve a substituição da força manual pela oriunda dos motores de combustão, e após a II grande guerra, isto se consolidou com as máquinas equipadas com os motores movido a combustível de origem fóssil.

Na década de 70, com a crise mundial do petróleo, nos países não produtores, foram realizadas pesquisas visando reduzir a dependência dos combustíveis de origem fóssil. Entre estes o Brasil, no qual houve a implementação do Programa Nacional do Álcool- Pró Álcool, que visava produzir álcool a parir da cana-de-açúcar,

e objetivava atender a demanda dos automóveis da frota nacional da época, com algumas experiências em máquinas agrícolas (SHARP, 2015).

Na produção de energia a partir de fontes renováveis, tais como, a cana-de-açúcar, milho, beterraba açucareira e mandioca, é fundamental avaliar a relação benefício/custo, pois Urquiaga et al. (2005) e Salla (2008) relataram que o saldo energético positivo somente ocorre em culturas com grande produção de biomassa.

Nos sistemas agrícolas, a energia fóssil de maior demanda é proveniente do óleo Diesel, lubrificantes e graxas. Para efetuar a avaliação energética do sistema é necessário estabelecer os coeficientes energéticos para cada fonte utilizada.

De acordo com EPE (2015), o óleo Diesel apresentava Coeficiente Energético Específico- CEE de 49,16 MJ kg^{-1}.

Mantoam (2011) realizou análise energética na produção de colhedora de cana-de-açúcar e mencionou que os óleos lubrificantes possuem CEE de 37,28 MJ kg^{-1}, as graxas possuem CEE de 43,38 MJ kg^{-1} e a borracha derivada de petróleo, contida nos pneus agrícolas possui um CEE de 85,83 MJ kg^{-1}.

2.8.4 Energia contida no produto colhido

Cada cultura agrícola contém um determinado quantitativo de energia por unidade de massa, a qual se denomina de energia bruta- EB, que é o produto da produção física da cultura pelo CEE da mesma. Na cultura da mandioca, a raíz, no estado *in natura,* contém CEE de 7.302 MJ t^{-1} (HISANO, 2008). Se considerada a produtividade média nacional de 14 t ha^{-1}, a cultura terá energia bruta-EB de 89.815 MJ ha^{-1}. Por outro lado, na região centro sul brasileira, em que a produtividade média da cultura é de 25 t ha^{-1}, a EB pode chegar a 182.550 MJ ha^{-1}.

De acordo com Salla (2008), a operação de colheita da mandioca apresenta dispêndio energético de 2.025 MJ ha^{-1}, bem superior ao verificado nas culturas do milho e cana-de-açúcar, que demandam de 609,6 e 1.901 MJ ha^{-1}, respectivamente.

Quando se trata da soma total dos dispêndios energéticos demandado durante o ciclo de cultivo, a mandioca destaca-se por requerer menor quantidade de energia total para realização de suas operações, necessitando de 9.528 MJ ha^{-1}, contra 14.371 e 15.634 MJ ha^{-1}, da cana-de-açúcar e milho, respectivamente.

2.9 Índices energéticos

Baseando-se nos trabalhos de Risoud (2000), Bueno (2002), Almeida (2007), Salla (2008), Romero (2009) e Diotto (2013) realizaram análise energética de sistemas de produção agropecuária, pode-se afirmar que todos optaram por contabilizar as "entradas" e "saídas" energéticas. Para então, a partir dos resultados obtidos, avaliar e comparar um ou mais sistemas de produção agrícola, abordando seus aspectos econômicos, agronômicos e ecológicos.

Os principais índices energéticos utilizados na análise dos sistemas agropecuários estão o balanço energético, a eficiência energética e cultural, a produtividade cultural e energia cultural líquida. Neste trabalho, a partir do CEE e produtividade da cultura obtida na área experimental foram calculados o balanço e eficiência energética.

2.9.1 Balanço Energético

No sistema de produção agropecuário, o balanço energético pode ser entendido como uma ferramenta gerencial que contabiliza e qualifica o fluxo energético, considerando o total de energia contida no produto colhido e a demanda para sua produção.

De acordo com Oliveira et al. (2014), em plantios que o balanço energético é superior a 1, significa que a energia obtida é maior que a gasta para produzir a cultura, se o resultado for inferior a 1, se gasta mais energia para produzir o bem, do que a energia contida no mesmo, tornando-o inviável energética e ambientalmente.

Baseando-se em Almeida (2007), na produção de alimentos no Brasil, se gasta de 0,13 a 2,6 MJ, para produzir 0,0048 MJ de alimentos. O que está relacionado à demanda de combustíveis fósseis, necessidades de fosfatos e defensivos agrícolas.

Souza et al. (2008) avaliaram sistema de produção de hortaliças orgânicas, a qual demandou *input* energético de 22,25 MJ ha^{-1} e produziu *output* de 61,80 MJ ha^{-1} de energia oriundo do produto colhido, resultado em um balanço energético de 2,78. Portanto, os mesmos concluíram que os cultivos orgânicos de hortaliças são energeticamente sustentáveis.

Soares et. al. (2008) relataram que o balanço energético da produção de etanol a partir de 1 hectare de mandioca, contabilizaram a demanda energética de 24,71 GJ ha^{-1}. Considerando a produtividade média de 14 t ha^{-1}, que processada renderia 120

litros de etanol t^{-1} de produto colhido, ter-se-ia totalizado 37,46 GJ ha^{-1} de energia, gerando um balanço energético positivo de 1,52.

Riquetti et al. (2012) efetuaram análise energética em produção de milho hibrido transgênico e não transgênico, sob diferentes sistemas de preparo do solo e obtiveram balaço energético positivo em todos os tratamentos, com destaque para o tratamento que utilizou plantio direto e milho transgênico, que obteve 150,21 GJ ha^{-1} de energia liquida, contra 137,8 GJ ha^{-1} utilizando plantio convencional e milho não transgênico. Sendo esta diferença atribuída ao uso de herbicidas e fertilizantes, superando, inclusive, aquela energia oriunda do óleo combustível utilizado para movimentar os tratores.

Neste trabalho, o balanço energético foi efetuado a partir de Risoud (1999), a qual propõem que o cálculo seja realizado pela diferença entre a energia obtida com a produção e aquela que entrou no sistema, oriunda de fontes não renováveis.

2.9.2 Eficiência energética

Na análise energética de sistemas agropecuários, Risoud (2000) conceituou eficiência energética como sendo a relação entre o somatório da energia útil produzida pelas entradas de energias totais não renováveis, sendo o quociente maior que 1, considerado um sistema eficiente, pois contribuiu na redução de dióxido de carbono na atmosfera.

Ramos (2004) avaliou três sistemas de cultivo de batata doce e obteve eficiência energética de 4,19, 14,02 e 16,98, sistemas convencional, biodinâmico e orgânico, respectivamente. Portanto, energeticamente, todos foram eficientes, com destaque para os sistemas considerados não convencionais, que foram duas vezes mais eficientes que o convencional, dada a menor dependência de energia fóssil.

Campos et al. (2009) qualificaram e quantificaram a demanda energética em cultivo de soja sob plantio direto e obtiveram eficiência energética de 18,64 e atribuíram este resultado à redução das operações mecanizadas, ao uso de energia biológica do adubo orgânico, nas sementes e mão-de-obra utilizada. Constatando-se também que o mesmo é altamente dependente do uso da energia proveniente do petróleo, representada pelo consumo de óleo Diesel e herbicidas, que contabilizou 51,69% do total da energia consumida.

Almeida et al. (2010) efetuaram a análise energética da cultura do milho em quatro sistemas de produção e obtiveram eficiência energética que variou entre 38,27 e 53,84, sistema menos e mais eficiente, respectivamente. Ao sistema menos eficiente, os autores atribuíram o uso intenso de máquinas e equipamentos, sendo um indicativo da maior dependência de fontes não-renováveis no sistema em questão.

Furlaneto et al. (2014) efetuaram a análise energética da cultura do maracujá e constataram que houve forte dependência do sistema de produção da cultura por adubos químicos e defensivos, respondendo por 71% e 24%, energia indireta e industrial, respectivamente, tendo eficiência energética de 4,17, demostrando ser possível a produção do fruto de maneira sustentável.

Neste trabalho, igualmente Risoud (2000), optou-se por calcular a eficiência energética a partir da relação entre o somatório da energia útil produzida pelas entradas de energias totais não renováveis.

2.10 Qualidade da colheita

A colheita é a última operação do sistema de cultivo de qualquer cultura, cuja a finalidade é retirar o produto de valor econômico do campo, podendo ocorrer um pouco antes ou depois do ponto máximo de desenvolvimento fisiológico da cultura.

No cultivo da mandioca, além dos fatores agronômicos característicos da cultura, a decisão de qual será o momento adequado para se realizar a colheita, devem ser considerados os fatores extra culturais, principalmente, aqueles relacionados ao preço pago ao produto, demanda da indústria de beneficiamento, condições climáticas e a disponibilidade de mão-de-obra para realizar as ações inerentes a operação de colheita.

Considerando o fator máquina influenciando no processo de colheita, Mialhe (1984) argumentou que a mesma deve ocorrer com o menor índice de perdas, garantir a maior integridade física do produto, contendo a menor quantidade de material estranho na massa colhida.

2.10.1 Impureza mineral e vegetal no material colhido

Dem acordo com Silva (2009), o produto proveniente da área de cultivo, normalmente, apresenta teor de impureza superior ao recomendado para

armazenagem, processamento e comercialização, sendo que esta pode ser de origem biológica ou mineral. Para ambos os casos, existe a necessidade de se efetuar procedimentos que reduzam estas impurezas à níveis aceitáveis, caso contrário, o produto adiquiri aparência, cheiro ou sabor fora dos padrões estabelecidos pela legislação em vigor, prejudicando sua comercialização. Com isso, Benedini et al. (2009) estabeleceram três classes e três níveis de impurezas mineral e vegetal para cana-de-açúcar colhida no Brasil (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação e nível de impureza mineral e vegetal aceitáveis em colheita de cana-de-açúcar.

Classificação da impureza	Nível de impureza	
	mineral	vegetal
	(%)	
Baixo	< 0,3	< 3
Médio	0,4 a 0,6	4 a 6
Alto	>0,6	> 7

Adaptado de Benedini et al. (2009)

Ripoli e Ripoli (2004) relataram que na colheita mecanizada da cultura da a cana-de-açúcar, as colhedoras realizam a operação com o mecanismo de recolhimento trabalhando próximo ao solo. Condição que favorece a admissão de solo durante o processo de corte e recolhimento dos colmos. Mas, que pode ser minimizada com o aperfeiçoamento das práticas agronômicas que garantam a uniformidade da superfície da área de plantio (SALVI, 2006).

Schmidt Junior (2011) ensaiou um protótipo de colhedora de cana-de-açúcar e relatou que obteve percentual de impureza vegetal de até 15,21%, indicando que em cada condição de plantio essas variações possuem amplitudes que merecem atenção no sentido de mantê-las em níveis aceitáveis.

Na colheita mecanizada da cultura do feijão, a quantidade de material estranho contido no produto colhido pode ter influência direta da velocidade de operação associada ao micro relevo do plantio. Este problema pode ser agravado se as primeiras vargens estiverem inseridas na porção mais baixa da planta, obrigando que

se opere a máquina com a plataforma de recolhimento próximo ao solo, causando recolhimento das impurezas (SILVA et al., 2009).

Segundo MAPA (2008), na cultura do feijão, para obter classificação adequada para ser comercializado, o produto colhido não pode conter mais de 4% de material estranho. Considerando isto, Souza et al. (2010) avaliaram a qualidade da colheita semi-mecanizada de feijão e obtiveram níveis de impurezas no produto colhido que variaram de 0,2% a 4,86%, condição que inviabilizaria sua comercialização.

Marcondes et al. (2010) avaliaram colheita mecanizada de soja em função do sistema de trilha e período de colheita, e obtiveram resultados para nível de impureza no material colhido que variou de 3,45% a 7,78%, resultados estes, que segundo os autores pode ser reflexo da arquitetura do sistema de limpeza da colhedora, que por ação da distribuição uniforme do fluxo de ar ao longo da área de limpeza das peneiras, resultou em material colhido mais limpo.

Silva et al. (2013) avaliaram perdas qualitativas na colheita mecanizada de soja em função do ano e velocidade de deslocamento da colhedora e obtiveram redução no percentual de material inerte de 5,3% para 3,9%, quando a velocidade aumentou de 4 km h^{-1} para 7 km h^{-1}.

Na cultura do milho, algumas empresas consideram como impurezas os restos culturais, a palha, os pedaços de colmos e partículas de solos. Todos oriundos da má regulagem do sistema de limpeza da máquina (VENEGAS et al., 2012). Sendo assim, dos resultados obtidos no experimento realizado por estes autores, que avaliaram colheita mecanizada de milho, considerando a rotação do cilindro trilhador, obtiveram níveis de impurezas que variaram de 0,9% a 17,86%, com maior percentual atribuído ao mecanismo de trilha, quando este funcionou a 1000 rpm.

2.10.2 Integridade física do produto colhido

A qualidade do produto colhido depende da preservação de suas características físicas durante toda a fase de cultivo, beneficiamento e comercialização. Em geral, essa perda de qualidade inicia-se no campo, as vezes antes da colheita, ocasionado por ataque de pragas ou ação mecânica das ferramentas ou máquinas de cultivo e colheita, e perdura até o destino final: a mesa do consumidor.

De acordo com Aristizabal e Sanchez (2007), em culturas em que o principal produto é a raiz, os fatores que tornam-as susceptíveis aos danos mecânicos, podem

estar relacionados a cultivar plantada, a idade do plantio, a época de colheita, as condições edafoclimáticas e as práticas culturais adotadas na condução do plantio.

Para as raízes da mandioca, a perda da qualidade física ou química pode ocorrer tanto por ação dos órgãos ativos da ferramenta de eliminação das ervas invasoras, que mal regulados danificam o córtex da raiz, tornado o local injuriado fibroso e menos palatável, quanto pela quebra das mesmas no momento do arraquio. Neste último, o local torna-se porta de entrada para o ataque de fungos do gênero *Penicellium, Aspergillus, Rhisofus e Fusarim* e as bactérias do gênero *Bassilus, Pseudomonas e Corynebacterium* (ALCALÁ e CASTILLO, 2006).

Bahnas (2006) avaliou a colheita mecanizada de beterraba com a colhedora deslocando-se a velocidade de 1,23 km h^{-1} e os órgãos de recolhimento regulados para trabalharem a 0,3 m de profundidade do solo e obteve danos mecânicos na ordem de 1,12%, atribuindo este resultado, principalmente, à velocidade de deslocamento da máquina.

Lima et al. (2008) ensaiaram colhedora de milho semi-montada, deslocando-se a 2,1 km h^{-1}, 3,06 km h^{-1} e 5,47 km h^{-1}, colheram o produto com 16% de umidade e obtiveram danos mecânicos de 11,67%, 11,59% e 14,02%, respectivamente. Nas mesmas velocidades, mas com os grãos com 22% de umidade, os danos mecânicos foram de 18%, 13,39% e 13,39%, respectivamente, concluindo que colheita com os grãos com menor teor de umidade, o nível de dano mecânico será menor.

Venegas et al. (2012) relataram que o dano mecânico no grão de milho, em colheita mecanizada, pode estar em função da regulagem da velocidade do mecanismo de trilha, pois quando o mecanismo trilhador funcionou acima de 900 rpm, proporcionou quebra dos grãos superior à 10%, o que pode estar relacionado ao aumento da intensidade de choque do grão contra os componentes internos da máquina.

Silva et al. (2009) avaliaram a qualidade de colheita mecanizada de feijão e obtiveram 0,84% de grãos quebrados, resultado que segundo estes autores, pode estar associado ao teor de água e a velocidade do cilindro trilhador da colhedora.

Tertuliano et al (2009) avaliou os níveis de dano mecânico em colheita de feijão quando a colhedora se deslocava a 10,8 km h^{-1} e o cilindro trilhador funcionava a 430 rpm, e obteve dano mecânico de 3,8%. Por outro lado, quando houve redução da velocidade da colhedora para 8 km h^{-1} e aumento da rotação do cilindro trilhador para 480 rpm, o dano mecânico foi de 10,4%, concluindo que o melhor resultado obtido foi

devido ao maior preenchimento do espaço entre cilindro e o côncavo com palhada, diminuindo o impacto direto das sementes com os componentes do sistema de trilha.

Silva et al. (2013) avaliaram a qualidade de colheita mecanizada de soja quando a velocidade de deslocamento da colhedora aumentou de 4 km h^{-1} para 7 km h^{-1}. Nestas condições, os mesmos obtiveram o aumento do percentual de quebra da semente de 14,5 % para 17,5%, o que segundo estes autores, pode ser relacionado ao aumento de energia cinética da semente no interior da máquina, aumentando a intensidade do choque do material colhido com as partes internas da máquina, provocando a separação dos cotilédones das mesmas.

2.10.3 Perdas na colheita

Perda na colheita é a condição temporária ou permanente que qualquer parte do vegetal (folha, caule, frutos, raízes e pseudocaule) sofre após a realização das ações inerentes ao processo. Considerando isto, de acordo com Nachiluk et al. (2009), na colheita mecanizada de culturas agrícolas as perdas chegam a 10% do produto colhido, podendo ser reduzido a níveis toleráveis, desde que sejam efetuadas as regulagens adequadas das máquinas e equipamentos que se destinam a este fim.

Silva e Fey (2015) conduziram experimento com colheita semi-mecanizada de mandioca e classificaram as perdas da colheita em visíveis, invisíveis, das cepas, de embarque e totais. As perdas totais que variaram de 5,6 t ha^{-1} a 6,6 t ha^{-1}. Deste total, entre 59 e 81% foram invisíveis, decorrentes da dificuldade de retirada das raízes do solo; as perdas visíveis, variaram de 2% a 10%; as perdas de carregamento variaram de 6% a 8%, as quais foram atribuídas ao descuido do trabalhador no momento de efetuar a operação e as perdas das cepas, que variaram de 11% a 23%, sendo associadas a imperícia do trabalhador no manuseio da ferramenta de corte.

Carvalho (2009) conduziu experimento para avaliar a colheita semi-mecanizada de mandioca e obteve perda de 3,7% quando o plantio foi realizado sobre canteiros e colhido com auxilio de máquina de arranquio. Quando o plantio foi realizado sem canteiro, colhido com o auxílio de desagregador de solo, seguido de arranquio manual, as perdas foram de 26%, sendo o melhor resultado atribuído ao fato das raízes desenvolverem-se próximas da superfície dos canteiros, condição que reduz a probabilidade destas não estarem ao alcance dos órgãos ativos do equipamento de colheita (MATTOS, 2002; OSPINA e CEBALLOS, 2002).

Gomes (2002) avaliou experimento de colheita de tubérculos de batata e relatou que as perdas têm relação direta com a textura do solo, pois solos mais argilosos as perdas são maiores, dada a maior resistência ao cisalhamento dos mesmos, podendo ser agravada quando o solo se encontra muito seco e compactado (ROBERSON, 2009).

Landgraf (2004) conduziu experimento de colheita mecanizada de soja e relatou que 80% das perdas acontecem em função da má regulagem dos componentes da colhedora. Concordando com essa aformativa, Campos et al. (2005) que avaliaram perdas na colheita mecanizada de soja, contabilizaram perdas que variaram de 24 a 126 kg ha^{-1}.

Caldas (2009) avaliou perdas em colheita mecanizada de soja e obteve resultado médio de 50,93 kg ha^{-1}, quantidade que segundo Schanoski et al. (2011) está dentro do nível aceitável para esta modalidade de colheita.

Na colheita de milho, Oliveira et al. (2005) relataram que são consideradas toleráveis perdas de até 4%. Nas regiões brasileiras, onde a colheita de grãos é mecanizada, as perdas variam de 8 a 10%, o que implica em aproximadamente 8 milhões de toneladas de produto perdido a cada safra (CAMOLESE et al., 2014).

Lima et al. (2008) em ensaio de colhedora de milho semi-montada, obtiveram perdas totais que variaram de 2,28% a 4,0%, com os maiores percentuais relacionados à maior velocidade impelidas à máquina no momento da operação. Argumentos estes, que estão em conformidade com os resultados de Mello (2006) e Lima et al. (2007).

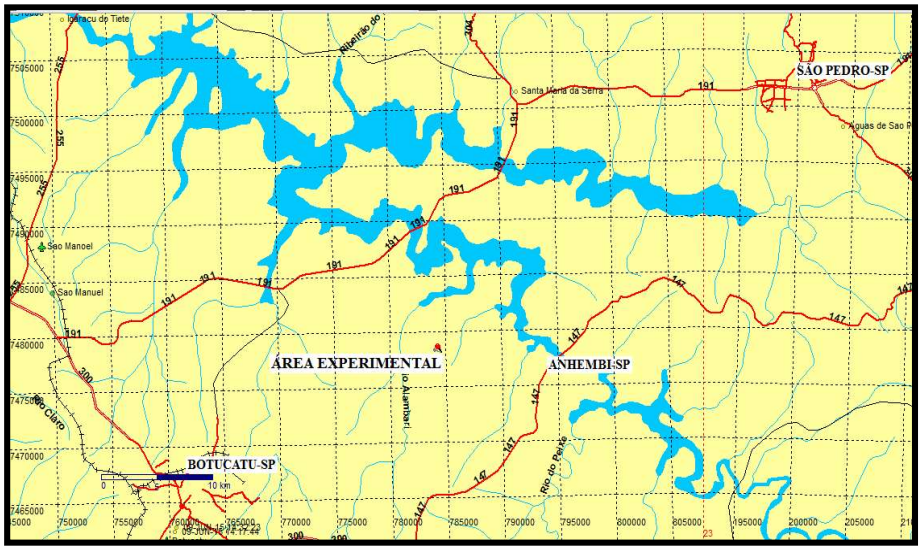
Santos et al. (2013) condiziram ensaio de colheita semi-mecanizada de amedoim e obtiveram perdas que variaram entre 1,6 e 4,6%. Estes autores atribuíram os resultados às condições de umidade do grão no momento da colheita da cultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido no ano agrícola de 2015, em campo de produção de mandioca, localizada no município de Anhembi-SP, com a área experimental sob as coordenadas UTM 784.140 m e 7.477.536 m Zona 22K (Figura 10).

Figura 10 - Croqui de localização da área experimental



Fonte: GPS TrackMaker Ver. 3.4

O clima do município de Anhembi, pertencente ao estado de São Paulo foi classificado segundo Köppen (1948), citado por CEPAGRI (2016) como Aw, com temperatura média anual de 22 º C e precipitação anual de 1300 mm.

Na área experimental, a partir da análise granulométrica realizada pela metodologia EMBRAPA (1997) o horizonte agrícola continha 93% de areia e 7 % de argila, classificando-o como solo de textura arenosa. O relevo possuia declividade média de 2% e altitude de 580 m acima do nível médio do mar.

3.2 Histórico de uso da área e instalação do experimento

A área experimental foi cultivada durante uma década com capim Colonião *Panicum maximum,* mas no ano de 2014 foi substituída pelo plantio de mandioca utilizando a cultivar IAC-90, caracterizada por apresentar porte médio, arquitetura ereta, de penduculo séssil e raízes bem distribuídas, plantada no espaçamento de 0,90 m x 0,90 m.

O espaço destinado a realizar o experimento mediu 78,3 x 160 metros, largura e comprimento, respectivamente, totalizando 1,25 hectares.

3.3 Caracterização dos tratamentos

O experimento foi composto por três tratamentos denominados de sistemas de colheita de mandioca, caracterizados pela sequência de ações, conforme segue:

Sistema de colheita manual (S1) poda manual da porção aérea da planta, arranquio manual das raízes, separação manual das raízes da cepa (despinicamento), amontoa manual das raízes e embarque manual das raízes em unidade móvel de transporte-UMT; Sistema de colheita semi-mecanizada (S2) poda mecanizada da porção aérea da planta, desagregação mecanizada do solo, arranquio manual das raízes, separação manual das raízes da cepa (despinicamento), amontoa manual das raízes e embarque manual das raízes em unidade móvel de transporte-UMT; Sistema de colheita mecanizada (S3) poda mecanizada da porção aérea da planta, desagregação mecanizada do solo, recolhimento mecanizado das raízes e embarque mecanizado das raízes em unidade móvel de transporte- U.M.T.

3.4 Delineamento experimental e análise estatística

Utilizou-se o delineamento em faixas, sendo que cada faixa mediu 26,1 x 110 metros (Figura 11), composta por 30 linhas de plantio, das quais foram escolhidos seis pares aleatórios, constituindo seis repetições. Para eliminar o efeito da bordadura, em cada faixa foram descartados cinco metros nas cabeceiras e dois metros nas laterais. Os dados foram submetidos à análise de variância e comparados por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figura 11 - Distribuição espacial dos tratamentos na área experimental

Fonte: Google Earth (2016)

3.5 Máquinas, equipamentos agrícolas e instrumentos utilizados

3.5.1 Tratores agrícolas

No acionamento da roçadora e recolhedora de raízes foi utilizado um trator agrícola de pneus marca/modelo MF 4275, 4x2 equipado com TDA e caixa de câmbio com super redutor, motor com potência nominal de 55 kW (75 cv) @ 2200 rpm e rodados diagonais 13.6-30-R1 e 12.4-24-R1, traseiros e dianteiros, respectivamente (Figura 12)

Figura 12 - Trator MF 4275 utilizado para atrelar e movimentar as máquinas de poda e recolhimento de mandioca

Para tracionar e acionar os equipamentos de desagregação do solo e embarque das raízes na U.M.T foi utilizado um trator agrícola de pneus, marca/modelo NH 7630, 4x2, equipado com TDA, potência nominal de 76 kW (103 cv) @ 2200 rpm no motor e rodados diagonais 18.4-30 R1 e 12.4-24 R1, traseiros e dianteiros, respectivamente (Figura 13).

Figura 13 - Trator NH 7630, similar ao utilizado nas operações de desagregação do solo e recolhimento de *big bags* no campo

Fonte: LEXICAR BRASIL (2017)

3.5.2 Equipamentos agrícolas

Para realizar a poda da porção aérea da cultura foi utilizada uma roçadora modificada. Esta possuía largura de trabalho de 1,5 m e foi atrelada no engate de três pontos do SLH do trator, ligada na tomada de potência-TDP do mesmo, operando a 540 rpm (Figura 14).

Figura 14 - Roçadora montada e modificada, similar a utilizada na poda da porção aérea da cultura da mandioca

Fonte: Metálus Implementos Agrícolas (2016)

Para realizar o recolhimento mecanizado das raízes foi utilizada uma máquina marca/modelo MIAC-2LR, com 4.800 kg de massa, atrelada na barra de tração do trator, de acionamento por bomba hidráulica, conectada a TDP do trator. A mesma possuia duas unidades de recolhimento de raízes e estava equipada com um par de rodados diagonais 12.4-24/R1 (Figura 15).

Figura 15 - Máquina utilizada no recolhimento mecanizado das raízes de mandioca

Fonte: MIAC Máquinas Agrícolas (2016)

Na operação de desagregação do solo foi utilizado um equipamento montado, dotado de haste central com de 1,5 m largura, roda guia e rodas limitadoras de profundidade (Figura 16).

Figura 16 - Desagregador de solo similar ao utilizado na colheita semi-mecanizada e mecanizada da cultura da mandioca

Fonte: MF Rural (2017)

No recolhimento dos *big bags* do campo foi utilizado um guincho, semi-montado, equipado com braço mecânico, com capacidade de levante de 1500 kg a 5,7 m de altura, acionado por cilindro hidráulico conectado ao sistema hidráulico do trator (Figura 17).

Figura 17 - Guincho similar ao utilizado para o embarque das raízes de mandioca na unidade de transporte

Fonte: Agrolink (2017)

3.5.3 Instrumentação utilizada para aquisição dos dados de campo

Para mensurar o consumo de combustível foi utilizado um par de fluxômetros eletromecânico, marca Oval, modelo- LSF45, com capacidade de vazão de 50 L h^{-1} e resolução de 10 mL $pulso^{-1}$ (Figura 18).

Figura 18 - Fluxômetro eletromecânico utilizado para medir o consumo de combustível nas ações mecanizadas de colheita de mandioca

No registro do consumo de combustível foi utilizado um Controlador Lógico Programável-CLP, marca Vison, modelo 230 (Figura 19).

Figura 19 - CLP utilizado para mensurar o consumo de combustível nos tratores

Para mensurar o tempo, velocidade de deslocamento e distância percorrida nas faixas experimentais foi utilizado um receptor de sinal de GPS marca Garmin, modelo 60 CX, de 12 canais, com erro nominal de ± 5 m no posicionamento horizontal, operado pela constelação de satélites NAVSTAR (Figura 20).

Figura 20 - Receptor de sinal de satélite utilizado para medir distância e tempo de deslocamento dos conjuntos de tratores e máquinas agrícolas

As pesagens de campo foram realizadas utilizado uma balança pendular digital, marca WeilHeng, modelo 128, com capacidade de leitura de até 50 kg e resolução de 0,001 kg (Figura 21).

Figura 21 - Balança pendular digital utilizada para realizar pesagens no campo

3.6 Sistema manual de colheita: atividades de campo

O sistema manual de colheita de raízes de mandioca foi constituído, sequencialmente, por poda da porção aérea da planta, mensuração da força de arranquio das raízes, arranquio, separação (despinicamento) e amontoa das raízes ao longo da linha de plantio, finalizando com o embarque destas em unidade móvel de transporte.

3.6.1 Poda manual da porção aérea das plantas (roçagem)

A ação foi realizada nas faixas experimentais utilizando ferramenta manual de corte (facão), com o trabalhador de campo deslocando-se sobre as linhas da cultura, rebaixando a porção aérea da mesma a 0,30 m acima do nível do solo (Figura 22).

Figura 22 - Poda manual da porção aérea da cultura da mandioca

3.6.2 Mensuração da força de arranquio das raízes

O esforço físico na operação de arranquio das raízes foi mensurado com o uso de uma célula de carga marca Transtec, modelo NA 330, com capacidade nominal de 1 tonelada e resolução de 1 kg, conectada ao controlador lógico programável- CLP.

No campo, a célula de carga foi atrelada a um cabo de nylon, e este foi amarrado ao restante da porção aérea da planta (Figura 23), que ao ser puxada, com movimento

vertical lento e progressivo, registrava-se a força demandada na operação de arranquio das raízes.

Figura 23 - Conjunto de célula de carga e CLP utilizados para mensurar a força de arranquio manual das raízes na cultura da mandioca

3.6.3 Arranquio das raízes

O arranquio foi realizado em área total, nas faixas experimentais, com o trabalhador de campo realizando movimentos horizontais e verticais coordenados, puxando as raízes até sua completa emersão. Na sequência da ação as mesmas foram amontoadas em lotes de 50 kg, espaçados entre 2 e 3 metros entre si (Figura 24).

Figura 24 - Disposição das raízes de mandioca nas linhas de plantio após o arranquio manual

3.6.4 Separação das raízes (despinicamento)

Para separar as raízes da cepa o trabalhador de campo deferia golpes com ferramenta de corte na inserção da raiz com o pedúnculo, deixando-as amontoadas ao longo da linha de plantio, em lotes contendo aproximadamente 50 kg, espaçados entre 2 e 3 metros entre si (Figura 25).

Figura 25 - Separação e amontoa manual das raízes da cultura da mandioca

3.6.5 Embarque manual das raízes em unidade móvel de transporte (U.M.T)

A ação foi realizada com a U.M.T posicionada ao lado dos lotes de raízes amontoadas, condição que permitiu ao trabalhador arremessar as mesmas sobre a carroceria do equipamento, até completar seu volume superior (Figura 26). Ao concluir o embarque do lote, a U.M.T e o trabalhador reposicionavam-se junto ao lote seguinte, dando prosseguimento na ação.

Figura 26 - Embarque manual das raízes de mandioca na unidade móvel de transporte (U.M.T)

Para determinar o desempenho de todas as ações que compuseram o sistema de colheita manual de mandioca foi preso ao corpo do trabalhador um receptor de sinal de GPS (Figura 27) e no início de cada ação, dentro de cada repetição da faixa experimental foi ligada a função cronômetro do instrumento, suspendendo a aquisição dos dados ao final do percurso, procedendo-se a leitura e registro do tempo em que o trabalhador se movimentou e permaneceu parado.

Figura 27 - Mensuração de tempo e distância com uso de receptor de sinal de GPS preso ao corpo do trabalhador de campo

3.7 Sistemas semi-mecanizado e mecanizado de colheita: aquisição de dados

No campo, as ações mecanizadas foram realizadas posicionando-se o conjunto trator e equipamento cinco metros antes do início de cada repetição, e na marcha, rotação e velocidade pré-definidos, deslocavam-se até o marco zero da repetição, momento em que se iniciava aquisição dos dados. Ao final do percurso parava-se a aquisição dos mesmos, procedendo a leitura e anotação do consumo de combustível e tempo gasto no trajeto, ambos registrados pelo CLP e receptor GPS.

Na determinação da eficiência das operações, posicionava-se o conjunto trator e equipamento no final da linha de plantio da cultura e deslocava-se o conjunto, simulando a realização da manobra de cabeceira, registrando-se o consumo e tempo demandados.

Para aquisição dos dados de consumo de combustível dos tratores que realizaram as ações mecanizadas foi utilizado um par de fluxômetro (Figura 28), sendo um instalado na tubulação de condução de combustível do tanque para bomba injetora e outro entre a tubulação de retorno de combustível do motor e o tanque de combustível do trator

Ambos os fluxômetros foram conectados ao CLP (Figura 28) que recebia os dados e calculava o consumo médio pela diferença média da entrada e saída de combustível.

Figura 28 - Trator instrumentado com CLP e fluxômetros para mensurar o consumo de combustível nas ações que compuseram os sistemas de colheita de mandioca

3.8 Sistema semi-mecanizado: atividades de campo

Neste sistema, sequencialmente foi realizada a poda mecanizada da porção aérea da planta, desagregação mecanizada do solo, arranquio manual das raízes, separação manual (despinicamento), amontoa das raízes e o embarque manual das mesmas em unidade móvel de transporte (U.M.T).

3.8.1 Poda mecanizada da porção aérea (roçagem)

A operação foi realizada utilizando um conjunto trator e roçadora, deslocando-se com velocidade média de 4 km h^{-1}, em marcha ré. Condição que evita o amassamento das plantas (Figura 29).

Figura 29 - Conjunto trator e roçadora deslocando-se de marcha ré para realizar a poda da porção aérea da cultura da mandioca

Para facilitar o arranquio das raízes, o equipamento de poda foi regulado para deixar 0,30 m de porção aérea da planta acima do nível do solo (Figura 30).

Figura 30- Aspecto da área do plantio de mandioca após a poda mecanizada

3.8.2 Desagregação mecanizada do solo (afofamento)

O equipamento atrelado ao trator foi regulado para desagregar o solo a 0,40 metros abaixo da sua superfície. No deslocamento do conjunto trator e equipamento foi utilizada a combinação da 3ª marcha “L”, com o motor funcionado @ 1500 rpm, condição que proporcionou a velocidade média de 4 km h^{-1}.

A coleta de dados foi realizada posicionando o conjunto trator e equipamento sobre duas linhas de plantio deslocando-o sobre as mesmas, promovendo, simultaneamente, a desagregação do solo e raízes (Figura 31) seguido, posteriormente, pelo arranquio manual das raízes.

Figura 31 - Desagregação do solo e raízes realizados com o conjunto trator e equipamento

3.8.3 Arranquio e separação manual das raízes (despinicamento)

Para realizar o arranquio das raízes foram adotados os mesmos procedimentos utilizados no sistema manual, diferenciando-se pelo fato de demandar menor força para sua realização, pois a ação do equipamento desagregador promoveu ruptura do solo no perfil mobilizado, reduzindo a resistência das raízes ao arranquio.

Na sequência das ações foi realizada a separação (despinicamento) e amontoa das raízes em lotes de 50 kg, os quais ficavam distanciados de 2 a 3 metros entre sí. Para concluir a operação de colheita foi efetuado o embarque manual dos tubérculos na U.M.T.

3.9 Sistema mecanizado: ações de campo

As ações mecanizadas realizadas neste sistema de colheita foram a poda da porção aérea da planta, desagregação do solo, recolhimento e pré-armazenamento das raízes em recipientes plásticos (Figura 32). Na ação de recolhimento a máquina deslocando-se a 2 km h^{-1}, realizava simultaneamente o arranquio, despinicamento,

pré- limpeza e acondicionamento das raízes em recipientes plásticos, tipo *big bag* com capacidade nominal de 600 kg.

Figura 32 - Desembarque de *big bag* contendo raízes de mandioca recolhidas.

Fonte: MIAC Máquinas Agrícolas (2016)

Os recipientes contendo as raízes recolhidas deixados ao longo da linha de plantio foram transportados até a U.M.T, utilizado um conjunto de trator de pneus com guincho atrelado, o qual se deslocava nas entre linhas do plantio, com velocidade média de 3 km h^{-1} (Figura 33).

As velocidades das ações mecanizadas foram baseadas nos parâmetros informados por Silva (2009), conforme apêndice 1.

Figura 33 - Embarque das raízes na U.M.T com auxílio do guincho atrelado ao SLH do trator

3.10 Índices operacionais das atividades que compuseram os sistemas de colheita de mandioca

A partir das informações obtidas em cada fase da colheita nos sistemas propostos foi calculada a velocidade de deslocamento, consumo horário de combustível, consumo de combustível por unidade de produto colhido, capacidades operacionais, demanda de tempo específico e eficiência de operação.

3.10.1 Velocidade de deslocamento do conjunto trator e equipamento

A determinação da velocidade de deslocamento foi realizada através do tempo gasto para percorrer cada repetição. A velocidade média foi obtida pela Equação 1, conforme descrito e utilizado por Montanha (2012), Ramos (2013) e Martins (2016).

$$V = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{t}} * 3{,}6 \qquad (\mathrm{Eq.}\ 1)$$

Onde:

V= Velocidade de deslocamento (km h^{-1});

d= Distância percorrida na parcela (m);

t= Tempo para percorrer a parcela (s).

3,6= Fator de conversão de m s^{-1} para km h^{-1}

3.10.2 Consumo horário de combustível

O consumo horário de combustível foi calculado a partir da Equação 2, descrita e utilizada no trabalho de Leite et al. (2011).

$$\mathrm{CHC} = (\mathrm{Qpe} - \mathrm{Qps}) * \frac{3{,}6}{\Delta \mathrm{t}} \qquad (\mathrm{Eq.}\ 2)$$

Onde:

CHC= Consumo horário de combustível (L h^{-1});

Qpe= Quantidade de pulsos lidos no fluxômetros de entrada (unid.);

Qps= Quantidade de pulsos lidos no fluxômetros de saída (unid.);

Δt= Variação de tempo no percurso da parcela (s);

3,6=Fator de conversão de segundos para hora.

3.10.3 Consumo de combustível por unidade de área

O consumo de combustível por unidade de produto colhido foi calculado a partir da Equação 3, conforme descrito e utilizado por Testa (2014).

$$\mathrm{Cc} = \mathrm{CCt} * \mathrm{Te} \qquad (\mathrm{Eq.}\,3)$$

Onde:

Cc=Consumo de combustível por unidade de área (L ha^{-1});

CCt=Consumo de combustível por unidade de tempo (L h^{-1});

Te=Tempo especifico para operação (h ha^{-1}).

3.10.4 Capacidades operacionais

Baseando-se em Milan e Rosa (2015) foram calculadas as capacidades de campo efetiva-CCE e capacidade de campo operacional-CCo, do conjunto trator e equipamentos, utilizado as Equações 4 e 5, respectivamente.

$$\mathrm{CCE} = \frac{\mathrm{V} * \mathrm{L}}{10} \qquad (\mathrm{Eq.}\,4)$$

Onde:

CCE= Capacidade de campo efetiva (ha h^{-1});

V= Velocidade do conjunto trator e equipamento no campo (km h^{-1});

L= Largura de trabalho do equipamento (m).

$$\mathrm{CCo} = \mathrm{CCE} * \mathrm{EfO} \qquad (\mathrm{Eq.}\,5)$$

Onde:

CCo= Capacidade de campo operacional (ha h^{-1});

CCE= Capacidade de campo efetiva (ha h^{-1});

EfO= Eficiência operacional.

3.10.5 Eficiência operacional

Baseando-se em Mialhe (1974), a eficiência operacional das ações realizadas nos sistemas de colheita foi calculada utilizando Equação 6, com os dados oriundos das equações 4 e 5.

$$\mathrm{EfO} = \frac{\mathrm{CCo}}{\mathrm{CCE}} * 100 \qquad (\mathrm{Eq.}\,6)$$

Onde:

EfO=Eficiência de operação (%);

CCE= Capacidade de campo efetiva (ha h^{-1});

CCo= Capacidade de campo operacional (ha h^{-1}).

3.11 Custos operacionais dos sistemas de colheita

Os custos operacionais dos sistemas de colheita foram obtidos a partir dos custos fixos e variáveis, com cálculos realizados a partir das metodologias que seguem.

3.11.1 Custos fixos

Para obter os custos fixo foram adotadas as metodologias descritas por Mialhe (1974), ASABE (2006), Silva (2009), Jasper e Silva (2013), Denadai (2014), Silva et al. (2015), com os cálculos realizados a partir da somatória dos resultados utilizando a Equação 7, oriundos das equações 8, 9,10 e 11.

Equação 7, utilizada para calcular os custos fixos.

$$\mathrm{CF} = \mathrm{D} + \mathrm{J} + \mathrm{A} + \mathrm{S} \qquad (\mathrm{Eq.}\,7)$$

Onde:

CF= Custo fixo da operação (R$ h^{-1});

D= Depreciação do bem (R$ h^{-1});

J= Juros (R$ h^{-1});

A= Alojamento (R$ h^{-1});

S= Seguro (R$ h^{-1}).

Equação 8, utilizada para calcular depreciação do bem.

$$D = \frac{(Vi - Vs)}{VU} \qquad (Eq. 8)$$

Onde:

D=Depreciação do bem (R$ h^{-1});

Vi=Valor inicial do bem (R$);

VU=Vida útil do bem (h);

Vs=Valor de sucata do bem= 10% do Vi (R$).

Equação 9, utilizada para calcular os juros sobre o capital.

$$J = \frac{(Vi + Vf) * i)}{2 * UA} \qquad (Eq. 9)$$

Onde:

J=Juros (R$ h^{-1});

Vi=Valor inicial do bem (R$);

Vf=Valor final de sucata do bem (R$);

Tj= Taxa de Juros sobre o capital investido= 12% de Vi;

UA=Utilização anual (h).

Equação 10, utilizada para calcular os custos com alojamento.

$$A = \frac{(Vi * Tj)}{UA} \qquad (Eq. 10)$$

Onde:

Vi=Valor inicial do bem (R$);

Tj=Taxa de juros de alojamento= 0,5 % de Vi;

UA=Utilização anual (h).

Equação 11, utilizada para calcular os custos com seguro do bem.

$$SB = \frac{(Vi * Ts)}{UA} \qquad (Eq. 11)$$

Onde:

SB=Seguro do bem (R$);

Vi=Valor inicial do bem (R$);

Ts= Taxa de seguro do bem= 1% de Vi;

UA=Utilização anual (h).

3.11.2 Custos variáveis

Os custos variáveis foram obtidos utilizando a Equação 12, que tem como base a metodologia proposta por ASABE (2011), também utilizada por Souza (2012), efetuando os cálculos a partir da somatória dos resultados obtidos nas equações 13,14,15 e 16.

$$\mathrm{CV} = (\mathrm{CMo} + \mathrm{CComb} + \mathrm{CLub} + \mathrm{CMR}) \qquad (Eq.12)$$

Onde:

CV= Custo variável (R$)

CMo=Custo de mão-de-obra (R$);

CComb=Custo com combustível (R$);

CLub= Custo com lubrificantes (R$);

CMR= Custo com manutenção e reparos (R$)

O custo da mão-de-obra empregada foi obtido utilizando a Equação 13. O valor do salário mínimo adotado foi de R$ 788,00, conforme MTE (2015). Os encargos sociais considerados foram de 67% do salário mensal vigente na época da condução do experimento. A jornada de trabalho para os operadores de máquinas foi de 1000 h ano^{-1}. Para os demais trabalhadores foi adotada a jornada laboral de 2112 h ano^{-1}.

$$\mathrm{CMO} = \frac{(\mathrm{VSm} + \mathrm{ES})}{\mathrm{JTa}} \qquad (\mathrm{Eq.}\,13)$$

Onde:

CMO= Custo de mão de obra do trabalhador rural (R$ h^{-1});

VSm= Valor mensal do salário mínimo (R$);

ES= Encargos sociais= 67% de VSm;

JTa=Jornada de trabalho anual (h).

O custo de combustível consumido na operação foi calculado utilizando a Equação 14, adotando-se o preço de R$ 2,09 L^{-1}, vigente na época da condução do experimento, obtido nos postos de combustível do município de Anhembi-SP.

$$\mathrm{CCB} = \mathrm{CCH} * \mathrm{VC} \qquad (\mathrm{Eq.}\ 14)$$

Onde:

CCB=Custo com combustível (R$ h^{-1});

CCH=Consumo horário de combustível (L h^{-1});

VC= Valor do combustível (R$ L^{-1}).

O custo com lubrificantes foi calculado utilizando a Equação 15.

$$\mathrm{CLub} = 0{,}2 * \mathrm{CCB} \qquad (\mathrm{Eq.}\ 15)$$

Onde:

CLub= Custo com lubrificantes (R$ h^{-1});

CCB= Custos com combustível (R$ h^{-1});

0,2=fator relativo ao custo com combustível.

O custo de manutenção e reparos das máquinas e equipamentos foi calculado utilizando a Equação 16, com preços das máquinas baseando-se em Agriworld (2015).

$$\mathrm{CMR} = \frac{\mathrm{FMR} * \mathrm{Vi}}{\mathrm{VU}} \qquad (\mathrm{Eq.}\ 16)$$

Onde:

CMR= Custo de manutenção e reparos (R$ h^{-1});

FMR= Fator de manutenção e reparo (vide quadro do apêndice 2);

Vi= Valor inicial do bem (R$);

VU= Vida útil do bem (h).

3.12 Custos das ações nos sistemas de colheita

A partir dos dados de demanda de tempo específico, produtividade da cultura e dos custos fixo e variável foi calculado o custo por unidade de produto colhido de cada ação. Para tal, foi utilizada a Equação 17.

$$\mathrm{CPC} = \frac{[(\mathrm{CF} + \mathrm{CV}) * \mathrm{DTe}]}{\mathrm{p}} \qquad (\mathrm{Eq.}\ 17)$$

Onde:

CPC= Custo de produto colhido (R$ t^{-1});

CF= Custo fixo da operação (R$ h^{-1});

CV= Custo variável da operação (R$ h^{-1});

DTe= Demanda de tempo especifico para execução da operação (h ha^{-1});

p= Produtividade da cultura (t $.ha^{-1}$)

3.13 Demanda e análise energética dos sistemas de colheita

Nos três sistemas propostos, a análise energética foi efetuada contabilizando a energia de depreciação das máquinas e equipamentos, demandas de energia de combustível, lubrificantes e mão-de-obra. E, a partir dos resultados obtidos, foi calculado o balanço e eficiência energética dos sistemas de colheita, conforme metodologias e cálculos que seguem.

3.13.1 Energia de depreciação de máquinas

A energia de depreciação de máquinas foi contabilizada a partir da metodologia proposta por Döering et al. (1977), a qual considera os coeficientes energéticos contidos no apêndice 2 e o cálculo foi realizado utilizando a Equação 18.

$$\mathrm{EDm} = \frac{(\mathrm{a} * \mathrm{b} + \mathrm{c} * \mathrm{d} + \mathrm{e})}{\mathrm{V.U}} * \mathrm{Te} \qquad (\mathrm{Eq.}\ 18)$$

Onde:

EDm= Energia de depreciação de máquinas (MJ ha^{-1});

a= Massa da máquina ou equipamento (kg);

b= Necessidade energética para produção da máquina (MJ kg^{-1});

c= Número de pneus contidos na máquina (unid.);

d= Necessidade energética para produção de pneu (MJ kg^{-1});

e= 12% de a*b+c*d (MJ);

Te= Tempo específico para operação (h ha^{-1});

VU= Vida da máquina ou implemento (h).

3.13.2 Demanda de energia de combustível e lubrificantes

Baseando-se em Romero (2009) a energia de combustível foi contabilizada a partir dos dados de coeficiente energético contidos no apêndice 2, do consumo horário de combustível e tempo especifico de operação. Para o cálculo da variável foi utilizanda a Equação 19.

$$\mathrm{EComb} = \mathrm{CHC} * \mathrm{EEC} * \mathrm{Te} \qquad (\mathrm{Eq.}\,19)$$

Onde:

EComb= Energia de combustível consumido (MJ ha^{-1});

CHC= Consumo horário de combustível (L h^{-1});

EEC= Energia específica do combustível (MJ L^{-1});

Te=Tempo específico de operação por unidade de área (h ha^{-1}).

3.13.3 Demanda de energia de mão-de-obra

A determinação da energia de mão-de-obra consumida baseou-se na metologia citada por Carvalho (2012) e está associada os dados da Tabela 2. Para o cálculo da variável foi utilizanda a Equação 20, desenvolvida por Benedict e Harris (1918).

Tabela 2 - Fração de dispêndio calórico humano nas atividades agrícolas realizadas manualmente, com base no metabolismo basal em cultivo de videira.

Operação	Dispêndio calórico humano com base no metabolismo basal
Operar trator ou colhedora	3/6
Efetuar colheita manual	9/6
Efetuar poda manual	7/6

Adaptado de Benedict e Harris (1918)

$$\mathrm{GER}\,♂(\mathrm{kcal/ha}) = (65{,}5 + (13{,}75 * \mathrm{M}) + (5{,}0 * \mathrm{A}) - (6{,}78 * \mathrm{I}) * \mathrm{Top})/\mathrm{p} \quad (\mathrm{Eq.}\,20)$$

Onde:

GER= Gasto energético no repouso (kcal ha^{-1});

M= Massa do trabalhador (kg);

A= Altura do trabalhador (cm);

I= Idade do trabalhador (a) em anos completos;

Top= Tempo especifico de operação por unidade de área (h ha^{-1}).

p= produtividade da cultura (t ha^{-1})

3.13.4 Contabilidade energética nos sistemas de colheita

A quantidade de energia demandada em cada sistema de colheita foi calculada utilizando a Equação 21, a qual considerou a somatória dos resultados obtidos nas Equações 18, 19 e 20**.**

$$\mathrm{EDo} = \mathrm{EDm} + \mathrm{EComb} + \mathrm{EMO} \qquad (\mathrm{Eq.}\,21)$$

Onde:

EDo= Energia demanda na operação (MJ t^{-1});

EDm= Energia de depreciação de máquinas (MJ t^{-1});

EComb= Energia de combustível consumido (MJ t^{-1});

EMO= Energia de mão de obra utilizada (MJ t^{-1}).

3.13.5 Balanço energético do sistema de colheita

O balanço energético em cada sistema de colheita foi calculado utilizando a Equação 22, baseando-se em Risoud (2000) citado por Almeida (2007).

$$\mathrm{BESc} = (\mathrm{CEEc} - \sum \mathrm{Enr}) \qquad (\mathrm{Eq.}\,22)$$

Onde:

BESc= Balanço energético do sistema de colheita (MJ t^{-1});

CEEc= Coeficiente Energético Especifico da cultura (MJ t^{-1});

∑Enr= Somatório das estradas de energias não renováveis (MJ t^{-1}).

3.13.6 Eficiência energética do sistema

A eficiência energética de cada sistema foi calculada utilizando a Equação 23, baseando-se em Risoud (2000).

$$\eta = \frac{\mathrm{CEEc}}{\sum \mathrm{Enr}} \qquad (\mathrm{Eq.}\ 23)$$

Onde:

η= Eficiência energética;

CEEc= Coeficiente Energético Especifico da cultura (MJ t^{-1});

∑Enr= Somatório de entrada de energia não renovável (MJ t^{-1}).

3.14 Produtividade da cultura

Para determinar a produtividade da cultura foi considerada a área de cada repetição e a massa de raízes colhidas nas mesmas. A partir dos resultados obtidos foi calculada a produtividade utilizando a Equação 24.

$$\mathrm{p} = \frac{\mathrm{Qrp}}{\mathrm{A}} \qquad (\mathrm{Eq.}\ 24)$$

Onde:

p=produtividade da cultura (t ha^{-1});

Qrp= Quantidade de raízes colhidas na parcela experimental (t);

A=área da parcela experimental (ha).

3.15 Qualidade da colheita

A qualificação dos sistemas de colheita foi realizada através da coleta e pesagem das impurezas mineral e vegetal contidas no produto colhido, da integridade física do produto colhido e das perdas na colheita. Todas utilizando metodologias conforme seguem.

3.15.1 Impureza mineral e vegetal no material colhido

Na determinação da quantidade de impurezas orgânica e mineral nos sistemas de colheita manual e semi-mecanizado foram utilizados os resíduos de mandioca devolvidos pela agroindústria ao campo (Figura 34). Para cada tratamento foram coletadas seis amostras de 20 L deste material em lotes distintos. Baseando-se na metodologia de análise de solos da EMBRAPA (1997), o material coletado foi

submetido a lavagem, seguido de peneiramento para separação da fração orgânica e mineral. Para obtenção da massa constante das frações orgânica e mineral, as amostras das mesmas foram submetidas a secagem ao ar durante 15 dias.

Figura 34 - Lote de material devolvido pela agroindústria de mandioca

A quantificação da impureza mineral contida produto colhido, no sistema mecanizado, foi realizada retirando 60 kg de raízes da porção superior, média e inferior dos seis *big bags* que constituíram cada repetição do tratamento. E, baseando-se em Ramos (2013) as raízes foram submetidas ao escovamento para retirada do material mineral aderido as mesmas. Para obter a massa constante, a fração mineral foi submetida a secagem ao ar durante 15 dias.

Na mensuração da quantidade de impureza orgânica do sistema mecanizado foram recolhidos os restos culturais que se deslocavam sobre a esteira de limpeza da colhedora (Figura 35). Bem como, aqueles que estavam dentro dos *big bags*.

Figura 35 - Detalhe do material orgânico retirado da esteira de limpeza da recolhedora de mandioca

A partir da produtividade da cultura e massa dos materiais mineral e orgânico, recolhidos nas amostras dos três sistemas de colheita foram calculados os percentuais das impurezas mineral e orgânica, sendo utilizadas as Equações 25 e 26, com a classificação realizada a partir de Benedini et al. (2009).

$$\mathrm{MMpc} = \frac{\mathrm{Qmm}}{\mathrm{p}} * 100 \qquad (\mathrm{Eq.}\,25)$$

Onde:

MMpc= material mineral contido no produto colhido (%);

Qmm= quantidade de material mineral contido na amostra (kg ha^{-1});

p= produtividade da cultura na parcela (kg ha^{-1});

100= fator de conversão.

$$\mathrm{MOpc} = \frac{\mathrm{Qmo}}{\mathrm{p}} * 100 \qquad (\mathrm{Eq.}\,26)$$

Onde:

MOpc=Material orgânico contido no produto colhido (%);

Qmo= Quantidade de material orgânico contido na amostra (kg ha^{-1});

p= Produtividade da cultura na parcela (kg ha^{-1});

100= fator de conversão.

3.15.2 Integridade física do produto colhido

Para análise da integridade física do material colhido nos sistemas manual e semi-mecanizado foram coletadas aleatoriamente seis amostras contendo 50 kg de raízes deixados ao longo das linhas de plantio.

No sistema mecanizado, a coleta foi realizada retirando-se todo o quantitativo de raízes contidas nos *big bags* correspondentes a cada repetição.

Após a ação de arranquio, as raízes colhidas que compuseram as repetições dos três sistemas de colheita foram submetidas à análise visual e classificadas em raízes integras e danificadas (Figuras 36 e 37), respectivamente.

Figura 36 - Condição das raízes integras após a colheita nos sistemas propostos

Figura 37 - Estado físico das raízes de mandioca danificadas colhidas nos sistemas propostos

A partir dos resultados obtidos foram calculados os percentuais de raízes integras e danificadas utilizando as Equações 27 e 28.

$$\mathrm{Ri} = \frac{\mathrm{Qri}}{\mathrm{p}} * 100 \qquad (\mathrm{Eq.}\,27)$$

Onde:

Ri= raízes integras (%);

Qri= quantidade de raízes integras (kg);

p= Produtividade da cultura na parcela (kg ha^{-1});

100= fator de conversão.

$$\mathrm{R.d} = \frac{\mathrm{Qrd}}{\mathrm{p}} * 100 \qquad (\mathrm{Eq.}\,28)$$

Onde:

Rd= raízes danificadas (%);

Qrd= quantidade de raízes danificadas (kg ha^{-1});

p= produtividade da cultura na parcela (kg ha^{-1});

100= fator de conversão.

3.15.3 Perdas na colheita

Baseando-se na metodologia de Silva e Fey (2015), após os procedimentos da colheita nos sistemas propostos foi realizado o recolhimento e pesagem do material remanescente nas faixas experimentais de cada sistema avaliado, com os cálculos realizados a partir da Equação 29, obtendo-se o percentual de raízes não colhidas.

$$\mathrm{RNC} = \frac{\mathrm{Rnc}}{\mathrm{p}} * 100 \qquad (\mathrm{Eq.}\,29)$$

Onde:

RNC= raízes não colhidas (%);

Rnc= quantidade de raízes não colhidas na faixa experimental (kg ha^{-1});

p= produtividade da cultura na parcela (kg ha^{-1});

100= fator de conversão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido a incipente quantidade de trabalhos científicos que abordassem a operação de colheita de mandioca, os dados deta tese, em parte, foram analisados a luz dos resultados de pesquisas correlatas, mas obtidos com diferentes culturas agrícolas.

A capacidade de campo operacional da poda da porção aérea da cultura, obteve diferença estatística significativa entre o tratamento S1 e os demais sistemas, com o trabalhador de campo conseguindo podar o equivalente a 0,09 ha h^{-1} de área plantada,

o que representou uma CCo seis vezes menor que a obtida nos sistemas S2 e S3 (Tabela 3)

O resultado da CCo no sistema S1 foi semelhante aos resultados obtidos por Normanha (1976) e IPT (2009) que realizaram operação similar e obtiveram capacidade operacional de aproximadamente 0,1 ha h^{-1}. Esse resultado pode ser atribuido ao reduzido comprimento da ferramenta utilizada na ação. Associado a isto, existe o progressivo desgaste físico do trabalhador ao longo da jornada laboral.

Na ação de poda mecanizada da porção aérea com o conjunto trator e roçadora, deslocando-se em marcha a ré, obteve-se CCo de 0,52 e 0,55 ha h^{-1}, sistemas S2 e S3, respectivamente (Tabela 3). Estes resultados estão abaixo daqueles mencionados por Silveira e Bernadi (2001) e Vale (2011) que ensaiaram roçadoras deslocando-se em marcha a frente e obtiveram CCo acima de 1 ha h^{-1}. Mas, de acordo com EMBRAPA (2006), os resultados aqui obtidos são aceitáveis pois, mesmo que a CCo da ação esteja abaixo do recomendado, é necessário que esta seja realizada desta forma para evitar o acamamento das plantas pela parte frontal do trator, fato que segundo Silva e Fey (2015), poderia aumentar as perdas invisíveis na colheita.

Como alternativa para melhorar a capacidade de campo operacional da ação de poda mecanizada na cultura da mandioca, existem algumas fábricas brasileiras de máquinas agrícolas que desenvolveram alguns modelos de roçadoras de atrelamento frontal que, ao contrário do modelo tradicional, poderão ser operadas em velocidade superior a utilizada neste experimento, propiciando maior capacidade operacional e melhor posição ergonômica de operação ao trabalhador.

A análise estatística da CCo para ação de arranquio das raízes apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos, com resultados variando de 0,02 a 0,12 ha h^{-1}, sistema S1 e S2, respectivamente (Tabela 3).

O resultado obtido no sistema S2, pode ser associado ao fato de que a área foi submetida à desagregação do solo, condição que facilitou o desprendimento das raízes do solo, confirmando as observações de Figueiredo et al. (2014) de que a adoção desta prática promove o aumento da CCo e reduz o esforço físico do trabalhador durante a ação.

Para a ação de desagregação do solo, não houve diferença estatística significativa para CCo, com resultados variando de 0,56 a 0,55 ha h^{-1} sistema S2 e S3, respectivamente (Tabela 3). Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Scalon Filho et al. (2005) e Carvalho (2009) que utilizaram um desagregador de solo

na colheita semi-mecanizada de mandioca e obtiveram CCo média de 0,70 ha h^{-1} e 0,61 ha h^{-1}, respectivamente.

Tabela 3 - Média dos resultados da capacidade operacional- CCo em ha h^{-1} para as ações que compuseram os sistemas de colheita de mandioca.

	Capacidade de campo operacional			
	ha h^{-1}			
Sistema de colheita	Poda da porção aérea	Desagregação do solo	Arranquio	Recolhimento mecanizado
S1	0,09B	-	0,02B	-
S2	0,52A	0,56A	0,12A	-
S3	0,55A	0,55A	-	0,30

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey com p≤ 0,05. S1= Sistema manual, S2= Sistema semi-mecanizado, S3= Sistema mecanizado.

Os resultados aqui obtidos poderiam ser melhorados, à medida que se aumentasse a largura de trabalho do equipamento de desagregação do solo, resguardando os aspectos relacionados à demanda de energia e características da unidade de potência utilizada.

Para a CCo da operação de arranquio houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, com os resultados variando de 0,62 t h^{-1} a 1,12 t ha^{-1} sistema S1 e S2, respectivamente (Tabela 4).

A CCo de arranquio do sistema S1, obteve resultado um pouco abaixo daquele citado por Cardoso et al. (2005) que na colheita manual de mandioca, sob condições semelhantes deste trabalho, obtiveram 0,8 t h^{-1} de produto colhido. Mas, de acordo com Silva e Santos (2016), este resultado pode chegar até 1,4 t h^{-1}, se o solo da área de plantio contiver baixo teor de argila.

O mesmo comportamento do sistema S2 observado na CCo do arranquio em ha h^{-1} se repetiu na CCo em t h^{-1} (Tabela 3 e Tabela 4), fato que pode está associado com a menor demanda de esforço físico demandado pelo trabalhador de campo no ato da ação que, nas condições experimentais deste trabalho foi de 235 N (Tabela 10), portanto, abaixo dos 300 N, permitido pela Legislação Federal Trabalhista Brasileira (SFB, 2005; IIDA, 2012 e FERNANDES et al., 2014).

Na análise da ação de despinicamento, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, com os resultados variando de 1,30 t h^{-1} a 1,46 t h^{-1}, sistema S1 e S2, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4 - Média dos resultados da capacidade de campo operacional em t h^{-1} para as ações que compuseram os sistemas de colheita de mandioca.

Sistema de colheita	Capacidade de campo operacional-CCo (t h^{-1})			
	Arranquio	Despinicamento	Recolhimento mecanizado	Embarque na U.M.T
S1	0,62B	1,30A	-	2,41B
S2	1,12A	1,46A	-	2,45B
S3	-	-	10,26	12,4A

*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey p≤ 0,05. S1= Sistema manual, S2= Sistema semi-mecanizado, S3= Sistema mecanizado. ** U.M.T= unidade móvel de transporte

Os resultados obtidos na ação de despinicamento ratificaram as observações de Mattos (2002) o qual argumentou que os plantios de mandioca brasileiro, na sua grande maioria, ainda utilizam procedimentos rudimentares nas operações de cultivo, os quais são caracterizados pela baixa capacidade operacional. Condição que, segundo Modesto Júnior et al. (2011), ocorre em 90% dos plantios, principalmente, em plantios situados em área de produtores rurais com exploração de caráter familiar.

Na ação de recolhimento mecanizado, a CCo da máquina utilizada foi de 10,26 t h^{-1} (Tabela 4). Este resultado, apesar de ser menor que os obtidos com outras máquinas destinadas a este fim, constitui-se como um avanço importante para mandiocultura, pois reduz a limitação da quantidade de raiz colhida diariamente, garantindo o abastecimento continuo da agroindústria com matéria prima.

Comparado a CCo de recolhimento do sistema S3 e aquelas obtidas nos sistemas S1 e S2. Então o sistema mecanizado foi 16,5 e 9,2 vezes superior ao sistema S1 e S2, respectivamente, havendo a possibilidade de substituição de ambos pelo sistema de colheita mecanizado.

Os resultados da CCo para ação de embarque das raízes foram em média de 2,41 t h^{-1}, 2,45 t h^{-1} e 12,4 t h^{-1}, sistemas S1, S2 e S3, respectivamente (Tabela 4),

sendo o sistema S3 o único a apresentar diferença estatística significativa entre os demais.

Os resultados de CCo do embarque manual dos sistemas S1 e S2 são aceitáveis, pois FUNDACENTRO (2014) e Faroldi et al. (2014) relataram que trabalhadores de campo, na colheita manual de abacaxi ou dendê, conseguem embarcar até 0,70 t h^{-1} destas culturas. Portanto, sendo 3,47 vezes inferior a CCo obtida neste trabalho.

O quantitativo de 12,4 t h^{-1} de raízes embarcadas pelo sistema S3, resultou em CCo cinco vezes superior aquela obtida no embarque manual dos demais sistemas avaliados. Mas, para efeito de comparação de processos, foi um resultado 1,69 vezes inferior ao citado por Miller (2008) que realizou colheita semi-mecanizada em cana-de-açúcar, obteve CCo de 21 t h^{-1}. Por outro lado, esta modalidade de embarque, além contribuir para colheita de maior quantidade diária de raízes, pode melhorar o fluxo continuo de abastecimento das agroindústrias, diminuir a permanência das raízes no campo, condição que aumenta a possibilidade de deterioração microbiana das mesmas (VENTURINI, 2015).

A eficiência operacional-EfO da ação de poda da porção aérea, em ordem crescente, foi de 62,8%, 76,9% e 79,1%, sistema S1, S3 e S2, respectivamente, com o sistema S1 obtendo diferença estatística significativa entre os demais (Tabela 5).

A partir das observações realizadas *in loco,* infere-se que a EfO obtida na ação de poda manual do sistema S1, tem relação direta com a intensa exposição do trabalhador a radiação solar, a qual causava-lhe intensa fatiga física, agravada pela postura inadequada que o mesmo adotava ao realizar a ação.

De acordo com ASABE (2009), os resultados de EfO para ação de poda mecanizada nos sistemas S2 e S3 estão dentro dos níveis definidos como aceitáveis (Tabela 5) e foram semelhantes aqueles citados por Silveira e Bernardi (2001) e Vale (2011) que sob condições similares a deste trabalho obtiveram 73% e 75%, respectivamente.

Mesmo estando dentro do nível aceitável, o resultado da EfO de poda mecanizada poderia melhorar, pois o equipamento de roçagem operado em marcha ré, além de dificultar a manutenção do trajeto em linha reta, obrigava o trabalhador, realizar a operação com o tórax torcionado, causando-lhe excessivo estress físico, diminuindo o nível de atenção do mesmo, com isso, aumentava-se a probabilidade de sobreposição das faixas de roçagem.

A eficiência operacional na ação de arranquio manual não diferiu estatisticamente entre os sistemas avaliados e o sistema S2 obteve resultado 5,2 % superior ao S1 (Tabela 5). Resultado que concorda com as observações de Cunha et al. (2011) os quais relataram que, em plantio de tuberosa, a eficiência operacional pode chegar até 86%, se o solo for desagregado antes da ação de arranquio.

Outro fator que pode ter contribuído para este resultado, pode estar relacionado com a textura do solo da área experimental que**,** segundo a análise granulométriaca, continha 93% de areia, propiciando a redução da resistência de arraquio das raízes.

Os resultados da EfO da desagregação do solo não diferiram estatisticamente entre si, com S2 e S3 obtendo 77,4% e 76,6%, respectivamente (Tabela 5). Em complemento a isto, baseando-se em Silva (2009), os resultados estão dentro do intervalo de 70% a 90%, considerado adequado para a ação. Mas, são superiores àqueles citados por Pereira (2010), Simões et al. (2011) e Barbosa et al. (2015) que conduziram experimentos com desagregação mecanizada de solo para fins florestal e obtiveram EfO de 51,93%, 61,35% e 45%, respectivamente.

Apesar do bom resultado de EfO para desagregação do solo nos sistemas S2 e S3, haveria a possibilidade de melhora-los, a medida que fossem corrigidos alguns procedimentos inadequados de operação. Entre estes, o hábito do operador realizar paradas para reposicionar o equipamento antes de continuar o deslocamento sobre a linha de plantio.

A EfO da ação de despinicamento dos sistemas S1 e S2, não obtiveram diferença estatística significativa entre sí, com os percentuais variando de 76,1 a 77,5%, respectivamente (Tabela 5). Mas são resultados considerados satisfatórios para uma atividade manual, realizada sob grande intensidade de movimentos repetitivos, marcada por intensa fatiga causada pela exposição do trabalhador de campo aos intemperes climáticos que a operação ao ar livre proporciona.

A eficiência operacional do recolhimento mecanizado do sistema S3 foi de 84,3% (Tabela 5). Considerando apenas o aspecto mecânico, comparativamente, o resultado obtido foi semelhante ao citado por Franco (2003) que avaliou o desempenho operacional de uma colhedora de palhiço de cana-de-açúcar e obteve EfO de 80,99%, sendo ambos superiores aqueles citados por Banchi et al. (2012) e Cunha et al. (2016) que realizaram ensaios com colhedoras de cana-de-açúcar e café e obtiveram EfO de 55% e 51,95%, respectivamente.

Na avaliação de EfO da ação de recolhimento mecanizado, baseando-se em EMBRAPA (2006), pode se inferir que as condições de relevo contribuíram na obtenção do resultado para a variável analisada. Argumento que concorda com Carvalho (2009) que relatou serem as limitações construtivas deste tipo de máquina, frente as condições de relevo, um dos principais entraves para adoção desta modalidade de colheita.

A EfO na ação de embarque do sistema S3, diferiu estatisticamente dos demais sistemas avaliados. Os percentuais da variável foram de 80%, 80,3% e 63,1%, nos sistemas S1, S2 e S3, respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5 - Média dos resultados da eficiência operacional-EfO, em % para as ações que compuseram os sistemas de colheita de mandioca.

	Eficiência operacional (%)					
Sistema de colheita	Poda da porção aérea	Arranquio	Desagre-gação do solo	Despinica-mento	Recolhimento mecanizado	Embarque na U.M.T
S1	62,8B	75,4A	-	76,1A	-	80,0A
S2	79,1A	79,3A	77,4A	77,5A	-	80,3A
S3	76,9A	-	76,6A	-	84,3	63,1B

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey p≤ 0,05. S1= Sistema manual, S2= Sistema semi-mecanizado, S3= Sistema mecanizado. ** U.M.T= unidade móvel de transporte.

Os resultados de EfO nos sistemas S1 e S2 podem ser considerandos adequados, se comparados com aquele obtidos por Catossi e Salvi (2015) que avaliaram a colheita de cana-de-açúcar e conseguiram eficiência operacional de 90%.

Os resultados de EfO podem ser atribuídos à agilidade do operador em depositar as raízes na U.M.T. Bem como, ao fato das raízes serem arranjadas sobre a linha de plantio, em lotes de 50 kg, distanciados a cada 3 metros entre sí, facilitando a realização da ação.

A partir das observações realizadas no momento da realização da ação de embarque mecanizado, pode se associar a eficiência de 63% (Tabela 5) a logística de recolhimento dos *big bags,* principalmente, no que se relaciona a aproximação e posicionamento do conjunto trator-guincho junto a UMT. Estes argumentos podem ser ratificados a partir de Tachibana e Rigolin (2002) que realizaram ensaios com embarque semi-mecanizado de laranja e obtiveram EfO de 60%, os quais associaram o resultado a logística aplicada na realização da operação.

O consumo de combustível demandado na ação de poda mecanizada não apresentou diferença estatística significativa entre sí, com resultados variando de 27,81 e 24,34 L ha^{-1}, sistemas S2 e S3, respectivamente (Tabela 6).

Para ambos sistemas, os resultados obtidos podem ser associados ao fato do conjunto trator-roçadora realizar a ação em marcha ré, obrigando que o motor da máquina seja operado em rotação acima da nominal, garantido ao conjunto a velocidade adequada para operação. Ao contrário disto, Vale (2011) e Bock et al. (2016) que realizaram ensaios para avaliar o desempenho operacional do conjunto trator-roçadora, deslocando-se marcha a frente, obtiveram consumo médio de 8,39 L ha^{-1} e 10,8 L ha^{-1}, respectivamente.

A desagregação do solo, que obteve consumo especifico que variou de 17,64 a 18,40 L ha^{-1}, sistema S3 e S2, respectivamente (Tabela 6), não diferiram estatisticamente entre sí.

No trabalho de Salvador et al. (2008) que avaliaram o consumo de combustível no preparo do solo com o uso de subsolador, obtiveram resultados que variaram de 22,48 a 26, 95 L ha^{-1} e associaram a este resultado a estabilidade física da superfície mobilizada e ao equipamento utilizado.

Gamero (2008) quando avaliou o desempenho operacional de um subsolador em função da velocidade de deslocamento e profundidades de trabalho, obteve

consumo específico de 30,6 L ha^{-1}, e associou este resultado a maior profundidade de operação, combinada com a menor velocidade de deslocamento do conjunto.

Ferreira Junior et al. (2014) avaliaram o desempenho operacional de um escarificador, obtiveram consumo especifico máximo de 7,2 L ha^{-1} e argumentaram que este resultado se relacionou com a redução da velocidade de deslocamento do conjunto.

A partir das observações de campo, da análise dos dados de consumo de combustível obtidos neste experimento e os resultados e argumentos dos autores citados anteriormente, pode se inferir que os mesmos têm influência direta dos fatores relacionados ao treinamento da mão-de-obra, adequação do conjunto trator-implemento ao tipo de operação e as condições de campo no momento da realização da ação mecanizada, componete da operação de colheita.

Tabela 6 - Média dos resultados do consumo de combustível em L ha^{-1} e L t^{-1} para as ações que compuseram os sistemas de colheita de mandioca.

	Consumo de combustível			
	L ha^{-1}		L t^{-1}	
Sistema de Colheita	Poda da porção aérea	Desagregação do solo	Recolhimento mecanizado	Embarque na U.M.T
S1	-	-	-	-
S2	27,81A	18,40A	-	-
S3	24,34A	17,64A	1,0	0,17

* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey com p≤ 0,05. S1= Sistema manual, S2= Sistema semi-mecanizado, S3= Sistema mecanizado. ** U.M.T= unidade móvel de transporte

O consumo específico na ação de recolhimento mecanizado foi de 1,0 L t^{-1} (Tabela 6). Esse resultado apesar de ser semelhante aqueles citados por Souza (2012), Testa (2014) e Martins (2016) que em colheita mecanizada de cana-de-açúcar obtiveram 1,23, 1,06 L t^{-1} e 1,02 L t^{-1}, respectivamente, poderia ser reduzido, pois a máquina recolhedora utilizada neste experimento, deslocou-se com velocidade limitada a 2 km h^{-1}, a qual, se excedida, promoveria o congestionamento de raizes na entrada do seu mecanismo de recolhimento, causando dano físico ao produto colhido.

O consumo específico da ação de embarque mecanizado do sistema S3 foi de 0,17 L t^{-1} (Tabela 6). Este, apesar deste ser baixo, obteve EfO de apenas de 63%

(Tabela 5), portanto, existe a possibilidade de aumentar esta última, a medida que ocorra a melhoria da logística da ação de recolhimento.

Na análise dos custos operacionais, para ação de poda, houve diferença estatística significativa somente no sistema S1, que obteve o custo de R$ 2,46 t^{-1}, com os demais tratamentos variando de R$ 4,48 a R$ 4,99 t^{-1}, sistema S2 e S3, respectivamente. Mas todos, superiores aqueles citados por Carvalho (2009) que realizou poda manual e mecanizada na cultura da mandioca e obteve custo de R$ 1,00 t^{-1} e R$ 2,00 t^{-1}.

A ação de arranquio manual demandou R$ 16,05 t^{-1} e R$ 2,22 t^{-1}, sistema S1 e S2, respectivamente (Tabela 7). Estes valores foram diferentes estatisticamente entre sí. Para o sistema S1, representou 52,48% dos custos totais e no sistema S2, representou apenas 10,30% (Tabela 7), condição que confirma os argumentos de Richetti (2008a) que relatou serem as operações manuais, neste tipo de cultura, mais onerosas que as efetuadas com auxilio mecanizado. Fato que pode ser associado a baixa CCo da ação, demandando maior tempo para que a mesma seja realizada.

Tabela 7 - Média dos resultados dos custos operacionais em R$ t^{-1} e %, para as ações que compuseram os sistemas de colheita de mandioca.

Ação	Sistema de colheita					
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
	R$ t^{-1}			%		
Poda da porção aérea	2,46B	4,48A	4,99A	8,04	20,80	12,47
Arranquio	16,05A	2,22B	-	52,48	10,30	-
Desagregação do solo	-	4,28A	4,46A	-	19,87	11,15
Despinicamento	8,08A	7,23A	-	26,42	33,57	-
Recolhimento mecanizado	-	-	25,58	-	-	63,93
Embarque na U.M.T	3,99B	3,33B	4,98A	13,06	15,46	12,45
Custo total	30,58B	21,54C	40,01A	100	100	100

*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey, p≤ 0,05; S1= Sistema manual; S2= Sistema semi-mecanizado; S3= Sistema mecanizado.

Os custos da desagregação mecanizada do solo não diferiram estatisticamente entre os tratamentos avaliados e variaram de R$ 4,28 t^{-1} a R$ 4,46 t^{-1}, representando percentuais de 19,87% e 11,15% do total dos custos contabilizados nos sistemas S2 e S3, respectivamente. Estes resultados estão próximo daquele citado por Carvalho (2009) que, em condições semelhantes, contabilizou R$ 3,00 t^{-1} de produto desagregado.

A desagregação do solo e o arranquio que são ações indissociável, no sistema S2, representaram um custo de R$ 6,50 t^{-1} de produto colhido (Tabela 7). Na comparação deste resultado com aquele obtido somente na ação de arranquio do sistema S1, existiu uma diferença de R$ 9,55 t^{-1} de produto colhido. Portanto, justificando a substituição da ação manual pelo par de ações semi-mecanizadas, principalmente, nas unidades de produção rural familiar que sofrem com a migração da mão-de-obra jovem para os centros urbanos, limitando os plantios a 1,5 hectare (SANTOS et al., 2010 e FAPESPA, 2015).

Os resultados dos custos operacionais de despinicamento entre os sistemas avaliados não diferiram estatisticamente entre sí, com os valores obtidos variando de R$ 8,08 t^{-1} a R$ 7,23 t^{-1}, o equivalente a 26,42% e 33,57% do total dos custos do sistema S1 e S2, respectivamente (Tabela 7).

O custo do recolhimento mecanizado foi de R$ 25,58 t^{-1}, e representou 63,93% dos custos totais do sistema S3 (Tabela 7). Este resultado foi 4,77 vezes maior que o valor citado por Carvalho (2009) que utilizou uma arrancadora mecanizada no recolhimento de mandioca e obteve custo de R$ 5,36 t^{-1} de produto. Mas é importante compreender que a máquina utilizada neste experimento realizou, simultaneamente, as ações de arranquio, despinicamento, pré-limpeza e acondicionamento das raízes no recipiente tipo *big bag,* representando economia de hora-máquina e combustível para realizar a colheita da cultura.

Na avaliação do custo total entre os sistemas de colheita houve diferença estatística significativa entre sí e os resultados em ordem crescente foram de R$ 21,84 t^{-1}, R$ 30,58 t^{-1} e R$ 40,01 t^{-1}, sistema S2, S1 e S3, respectivamente (Tabela 7).

Richetti (2008a) relatou que a colheita de mandioca representa em torno de 30% do custo total de produção da cultura. Em complemento a isto, Carvalho (2009) que avaliou sistemas de produção de mandioca com colheita manual e semi-mecanizada, contabilizou custos de R$ 34,59 t^{-1} e R$ 31,36 t^{-1} de produto colhido, sistema manual

e semi-mecanizado respectivamente. Resultados estes que estão próximo ao obtido no sistema S1.

O sistema S2, que contabilizou o custo total de R$ 21,84 t^{-1} de produto colhido (Tabela 7), do ponto de vista econômico, nas condições avaliadas, constituiu-se como a melhor opção de sistema de colheita da mandioca a ser adotado.

Alves et al. (2013) analisaram alguns aspectos relacionados a colheita de mandioca no município de Castanhal, estado do Pará e obtiveram custos de R$ 25,00 t^{-1} e R$ 30,00 t^{-1}, sistema de colheita manual e semi-mecanizada, respectivamente. Os custos do sistema manual foram atribuídos às ações de arranquio, despinicamento e transporte, absorvidos pela mão-de-obra familiar. Os custos do sistema semi-mecanizado forma gerados pela mão-de-obra contratada em complemento a familiar.

Frente aos demais sistemas, o maior custo total da operação de colheita obtido pelo sistema S3, torna-o economicamente impraticável. Este fato está diretamente relacionado ao maior custo contabilizado na operação de recolhimento, que por sua vez, esteve associado ao elevado valor inicial destinado a aquisição da recolhedora utilizada, que segundo o fabricante seria de R$ 300.000,00 (Apêndice 3) e a baixa CCo da mesma (Tabela 3 e 4).

Em uma condição hipotética, mesmo com a manutenção do preço inicial informado pelo fabricante, se houvesse a adição de quatro linhas de recolhimento na máquina utilizada, sua capacidade operacional poderia chegar até 0,90 ha h^{-1}, o equivalente a 30,78 t h^{-1}, reduzindo o custo total da operação de R$ 40,01 para R$ 23,00 t^{-1} de produto colhido, podendo resolver um dos gargalos da atividade, que segundo Groxko (2015), está na dificuldade de contratação de mão-de-obra para realizar a operação de colheita.

Na ação de embarque houve diferença estatística significativa apenas no sistema S3, e os custos operacionais em ordem crescente de R$ 3,33 t^{-1}, R$ 3,99 t^{-1} e R$ 4,98 t^{-1}, sistemas S1, S2 e S3, respectivamente (Tabela 7). Ao último resultado, infere-se a demora no descarregamento dos recipientes contendo raízes colhidas, na U.M.T, condição que lhe conferiu a menor eficiência entre as demais operações mecanizadas (Tabela 5).

Os custos de embarque no sistema S3 foram superiores aos obtidos por Tachibana e Rigolin (2002) que realizaram colheita semi-mecanizada de laranja, obtiveram custo que variaram de R$ 2,03 t^{-1} a R$ 2,35 t^{-1} e concluíram que há a

necessidade de se trabalhar o gerenciamento das ações utilizando metodologia da logistica para tornar o sistema de embarque mecanizado mais eficiente e competitivo.

No momento da realização do embarque mecanizado, observou-se que o equipamento de recolhimento utilizado precisaria passar por algumas melhorias, principalmente, aquelas que poderiam automatizar o processo, pois ainda havia a necessidade de se utilizar dois trabalhadores para auxiliar no recolhimento e descarregamento dos *big bags*.

Nos sistemas avaliados, a somatória da demanda energética contabilizou 2,35 MJ.t^{-1}, 61,61 MJ t^{-1} e 79,44 MJ t^{-1}, sistema S1, S2 e S3, respectivamente (Tabela 8), com o consumo de óleo Diesel, graxas e lubrificantes, representando 93% e 91,22% do total de enegia demandada pelos sistemas S2 e S3, respectivamente (Apêndice 4). Estes resultados foram bem superiores aos citados por Silva (2008) que efetuou análise energética na produção de mamona e constatou que entre 37% e 48% da energia demandada foi advinda de óleo Diesel.

Na análise energética dos sistemas de colheita mecanizada, as ações de maior demanda foram a poda mecanizada da porção aérea, que consumiu 35,08 MJ t^{-1} e 37,51 MJ t^{-1}, sistemas S2 e S3, respectivamente, e a ação de desagregação do solo, que contabilizou 26,51 MJ t^{-1} e 27,26 MJ t^{-1}, sistemas S2 e S3, respectivamente (Tabela 8).

Tabela 8 - Estrutura de dispêndio energético em cada ação que compôs os sistemas de colheita de mandioca avaliados.

	Demanda de energia						
	(MJ t^{-1})						
Sistema de colheita	Poda da porção aérea	Arranquio	Desagre-gação do solo	Despini-camento	Recolhi-mento mecanizado	Embarque na U.M.T	Total
S1	0,19	1,20	-	0,70	-	0,26	2,3
S2	35,08	0,17	26,51	0,60	-	0,25	62,6
S3	37,51	-	27,26	-	4,95	9,72	79,4

* S1= Sistema manual, S2= Sistema semi-mecanizado, S3= Sistema mecanizado.
** U.M.T= unidade móvel de transporte.

A maior demanda energética na poda mecanizada pode ter relação com o fato do trator ter sido operado em marcha à ré, utilizando rotação superior a nominal. Para ação de desagregação do solo, baseando-se em Gamero, mesmo sendo a ação superficial, realizada a 0,40 m de profundidade, assemelha-se a uma sobsolagem, que é caracterizada por exigir intenso esforço tratórico. Logo, demandando grande quantidade de energia na forma de combustível.

Nas ações mecanizadas, apenas 1,69% e 0,44%, foram oriundas da energia biológica da mão-de-obra, sistemas S2 e S3, respectivamente (Apêndice 4), condição que concorda com os resultados obtidos por Oliveira et al. (2008), Romero (2009), Diotto (2013) e Ferreira et al. (2014) que avaliaram a demanda energética de culturas agrícolas industriais e observaram que a energia de mão-de-obra contabilizou no máximo 0,3% do total de energia demandada nas operações mecanizadas.

Se por um lado a mecanização dos sistemas de produção agrícola torna-o fortemente dependente da energia dos combustíveis, por outro lado, aumenta a capacidade operacional das ações de cultivo, possibilitando o redirecionamento da energia da mã-de-obra para funções mais nobres.

Em uma segunda análise da demanda energética biológica, baseando-se em Santos e Lucas Junior (2004) e Veloso et al. (2012), é importante considerar o quantitativo desse tipo de energia, pois, dependendo da região geográfica, exerce grande relevância econômica, ambiental e social, pois atua diretamente na geração de emprego e renda para população agrária local.

A maior demanda de energia foi na forma de energia direta-E.D, contabilizando 100%, 94,74% e 91,66%, sistemas S1, S2 e S3, respectivamente (Tabela 9). Semelhantemente, Martins et al. (2015) efetuaram análise energética na colheita de milhoforrageiro e obtiveram 98,5% de demanda energética na forma de E.D. Por outro lado, Chechetto et al. (2010) efetuaram análise energética do sistema de produção de mamona e obtiveram maior demanda energética na forma de energia indireta- E.I nas operações de implantação da cultura. Inferindo-se que esta variação pode ser em função da intensidade de operações verificada em cada fase da cultura.

No que tange a distribuição de energia direta ou indireta, os resultados aqui obtidos, concordam com os argumentos apresentados no trabalho de Siqueira et al. (2008) que avaliaram o balanço energético de biodiesel e relataram que foi na forma de E.D, na fase da colheita, que houve a maior demanda energética, principalmente,

aquela advinda do esforço físico da mão-de-obra do trabalhador de campo ou das máquinas que utilizaram combustível fóssil para funcionarem.

A demanda energética-D.E dos sistemas de colheita foram de 2,35 MJ t^{-1}, 62,61 MJ t^{-1} e 79,44 MJ t^{-1}, sistemas S1, S2 e S3, respectivamente (Tabela 9), com a menor D.E no sistema S1, por utilizar somente energia da mão-de-obra. Este resultado foi semelhante ao resultado obtido por Almeida (2007) que efetuou análise energética na produção de milho e contabilizou D.E de 3,46 MJ t^{-1}. Mas, ambos foram inferiores ao mencionado por Romero (2009) que realizou análise energética da colheita manual do algodão e obteve D.E de 31,47 MJ t^{-1}de produto colhido, o que pode estar relacionado a maior densidade de produto a ser colhido por unidade de área.

Nos sistemas S2 e S3, os resultados de D.E para operação de colheita foram semelhantes ao obtido por Salla (2008) que analisou sistemas de produção de mandioca e contabilizou o equivalente a 61,33 MJ t^{-1}. Mas, bem inferior ao resultado obtido por Sá et al. (2013) que realizaram análise energética de produção agrícola com uso de sistema de plantio direto, contabilizaram D.E de 109,96 MJ t^{-1} e atribuíram o resultado à quantidade de operações mecanizadas.

Considerando apenas os *outputs* da colheita das raízes de mandioca e *os imputs* das energias não renováveis demandada nesta operação, os balanços energéticos-B.E foram de 7.239 MJ t^{-1} e 7.222 MJ t^{-1}, S2 e S3, respectivamente (Tabela 9). A partir destes resultados, considerando as observações de Oliveira et al. (2014), os sistemas avaliados contabilizaram saldo energético positivo. Portanto, são viáveis do ponto de vista ambiental, com pequena vantagem do sistema S2, provavelmente, em função da menor quantidade de energia fóssil demandada na operação.

Os resultados de B.E obtidos neste trabalho foram semelhantes ao citado por Salla (2008) que realizou análise energética da colheita semi-mecanizada de mandioca e obteve D.E de 63,61 MJ t^{-1} de produto colhido, resultado em um B.E de 7.240,63 MJ t^{-1}.

Os resultados obtidos para eficiência energética-*Ef.E*, sem subtrair os *inputs* das operações de cultivo foram de 92 e 116, sistemas S3 e S2, respectivamente (Tabela 9). O menor resultado de *Ef.E* obtido por S3, pode estar relacionado com a maior quantidade de hora máquina demandada para realizar as ações da operação de colheita. Ratificando este argumento a partir dos trabalhos de Campos et al. (2009), Almeida et al. (2010) e Sá et al. (2013) os quais relataram que a *Ef.E* também variou em função da intensidade do uso das máquinas agrícolas movidas a óleo Diesel.

Se for considerado as informações citadas no trabalho de Salla (2008) o qual relatou que o ciclo de cultivo da mandioca demanda aproximadamente 132,4 litros de óleo Diesel por hectare e a produtividade média da cultura da mandioca seja de 14 t ha^{-1} (LIMA et al., 2013), o B.E da cultura poderá ser no mínimo de 6.911,5 MJ t^{-1}, com *Ef.E* de 18,69. Portanto, considerando todas as fases de cultivo ou somente aquelas relacionadas a colheita, ainda assim, os sistemas avaliados serão energeticamente viáveis e eficientes.

Tabela 9 - Estrutura dos dispêndios energéticos por Tipo, fonte e forma em MJ t^{-1} e percentuais, nas ações que compuseram os sistemas de colheita da cultura da mandioca.

TIPO, fonte e forma	Entradas culturais					
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
	MJ t^{-1}			(%)		
ENERGIA DIRETA (a)	**2,35**	**59,32**	**72,82**	**100**	**94,74**	**91,66**
Biológica:						
Mão-de-obra	2,35	1,06	0,35	100	1,78	0,48
Fóssil:						
Comb. e Lubrificantes	0,00	58,26	72,47	0,0	98,21	99,51
ENERGIA INDIRETA (b)	**0,00**	**3,29**	**6,61**	**0,0**	**5,26**	**8,33**
Industrial:						
Máquinas	0,00	3,29	6,61	0,0	100	100
∑ (c)=a+b	2,35	62,61	79,44	100	100	100
CEE da cultura (d)	7.302	7.302	7.302			
B.E (e)= d-c	-	7.239	7.222			
Ef.E (f)= d/c	-	116	92			

S1= Sistema manual, S2= Sistema semi-mecanizado, S3= Sistema mecanizado
∑= somatória das energias demandadas, CEE= coeficiente energético especifico, B.E= balanço energético, *Ef.E*= eficiência energética.

Na avaliação da produtividade da cultura, não houve diferença estatística significativa e os resultados foram de 29 t ha^{-1}, 30,5 t ha^{-1} e 31 t ha^{-1}, sistema S3, S2 e S1, respectivamente (Tabela 10). Resultados estes que segundo Groxko (2015), pode estar relacionado ao nível tecnológico empregado nas áreas de plantio, principalmente, no que se refere ao uso de fertilizante químico ao longo do ciclo da cultura.

A impureza orgânica contida na massa de raízes colhidas foram de 0,70 e 0,73 e 3,84%, sistemas S2, S1 e S3, respectivamente (Tabela 10). Este último diferindo estatisticamente dos demais sistemas avaliados. Para os sistemas S1 e S2, o baixo percentual de impureza orgânica pode ser associado à eliminação natural desta durante a realização das ações de arranquio e embarque do produto colhido.

Apesar das impurezas orgânicas, no sistema S3, contabilizarem apenas 3,84%, é necessário esclarecer que se trata de um resultado induzido pois, na concepção de funcionamento da recolhedora é previsto a existência de dois trabalhadores de campo,

posicionados na plataforma de operação na máquina, para realizar a retirar o material orgânico que está em meio as raízes colhidas.

Para todos os tratamentos, o percentual de impureza orgânica foi menor que os resultados obtidos por Silva (2003), Belardo (2010) e Martins (2016), os quais realizaram colheita mecanizada na cana-de-açucar e obtiveram impurezas orgânicas na ordem de 7%, 5,0% e 7,3%, respectivamente.

Os percentuais de impurezas orgânicas obtidos neste trabalho, que foram inferiores a 4%, pelos critérios estabelecidos por Benedini, são classificados como baixos. No sistema S3, que obteve 3,84% de impurezas orgânicas, poderia ser reavaliada a necessidade de se manter ou não os dois trabalhadores retirando o material orgânico na esteira da máquina. Deixando esta ação, para ser efetuada apenas na agroindústria.

Para análise da impureza mineral, os resultados, em ordem crescente foram de 0,45%, 1,41% e 1,42%, sistemas S3, S2 e S1, respectivamente (Tabela 10), com diferença estatística significativa apenas no sistema S3, que obteve o menor percentual entre os sistemas avaliados.

Os percentuais de impureza mineral, nos sistemas S1 e S2, foram próximo ao citado por Ramos (2013) que ensaiou uma colhedora de cana-de-açúcar e obteve percentual médio de 2,02%. Por outro lado, tanto os resultados deste experimento quanto o citado pelo autor anterior foram inferiores aos obtidos por Silva et al. (2009) e Marcondes et al. (2010), que na colheita mecanizada de feijão e soja, obtiveram percentual médio de impureza mineral que chegaram a 5,0% e 7,78%, respectivamente.

O sistema S3, apesar de ter o resultado abaixo daqueles obtidos nos demais sistemas avaliados, poderia ser melhorado, a medida que fosse instalado na

recolhedora um dispositivo de limpeza de produto colhido. Por outro lado, do ponto de vista econômico, haveria a necessidade de avaliar se a instalação do mesmo seria justificável, pois de acordo com Bezzerra (2006), em um carregamento de raízes de mandioca, o percentual de impureza que varia de 5% a 10%, é compulsoriamente descontado do total da carga enviada pelo produtor.

Tabela 10 - Média dos resultados dos indicadores de qualidade de colheita nos sistemas avaliados.

Sistema	Qualidade da colheita					
	Produtividade da cultura	Impurezas		Raízes		Força de arranquio
		orgânica	mineral	danificadas	não colhidas	
	(t ha^{-1})	(%)				(N)
S1	31,00A	0,73B	1,41A	11,50A	2,78B	235
S2	30,50A	0,70B	1,42A	10,15A	2,30B	-
S3	29,00A	3,84A	0,45B	7,20A	4,10A	-

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey com p≤ 0,05. S1= Sistema manual; S2= Sistema semi-mecanizado; S3= Sistema mecanizado.

Na avaliação da integridade física do produto colhido, os percentuais de raízes danificadas não obtiveram diferença estatística significativa entre sí, e em ordem crescente foram de 7,2%, 10,15% e 11,5%, sistema S3, S2 e S1, respectivamente (Tabela 10). Estes resultados foram superiores aos citados por Souza et al. (2003) que avaliaram a colheita mecanizada e manual da cultura da batata, obtiveram percentuais de 2,3% a 9,6%, respectivamente, e associaram os mesmos aos métodos de colheita utilizados.

No sistema S1, o maior percentual de dano mecânico pode ter ocorrido em função da área de plantio não ter recebido desagregação do solo, do mesmo conter apenas 6,5% de umidade na ocasião da colheita e existir touceiras que cresceram desordenadamente. Condições estas que favoreceram o aumento da resistência das raizes ao arranquio, causando a quebra do material a ser colhido ainda dentro do solo.

Os resultados para dano físico das raízes colhidas nos sistemas S2 e S3 foram semelhantes aos obtidos por Scalon Filho et al. (2005) que realizaram colheita semi-mecanizada de mandioca utilizando um desagregador de solo e uma arrancadora de raízes e obtiveram 10,49% e 11,47% de dano físico ao produto colhido, sistema S2 e S3, respectivamente.

No sistema S2, mesmo havendo a desagregação do solo antes da ação, o dano físico ao produto colhido, provavelmente, ocorreu porque o trabalhador de campo efetuava a ação puxando a cepa em direção ao maior volume de raízes, causando-lhes flexão e quebra.

No sistema S3, os danos mecânicos podem ser atribuídos ao ângulo de ataque dos órgãos de recolhimento da máquina em relação a parte final da porção aérea deixada após a poda da mesma.

Na avaliação dos percentuais de raízes não colhidas, em ordem crescente, os resultados obtidos foram de 2,30%, 2,78% e 4,1%, sistema S2, S1 e S3, respectivamente (Tabela 10) havendo diferença estatística significativa somente no tratamento S3. Estes resultados foram semelhantes ao citado por Carvalho (2009) que realizou colheita semi-mecanizada de mandioca e contabilizou perda média de 3,7%.

No trabalho de colhieita semi-mecanizada de amendoim, desenvolvido por Santos et al. (2013), os percentuais de perdas de raízes não colhidas variaram de 1,6 a 4,6%.

Nos sistemas S1 e S2, também houveram perdas que Silva e Fey (2015) classificaram como perdas de carregamento. Estas, provavelmente, ocorreram em virtude da falta de atenção do trabalhador no momento do embarque do material colhido na unidade de transporte.

O resultado de perda na colheita obtido no sistema S3, pode ser atribuído a limitação da capacidade operacional dos trabalhadores que se deslocavam atrás da máquina, recolhendo as raízes deixadas pela mesma.

A máquina utilizada neste experimento, estava equipada com órgãos de recolhimento adaptáveis ao relevo, mas observou-se que algumas plantas não foram recolhidas, o que pode ser atribuído à limitação de regulagem desses órgãos ao relevo da área de plantio, confirmando o argumento de Landgraf (2004) que relatou ser 80% das perdas na colheita mecanizada de soja estão em função da regulagem inadequada desses órgãos ativos, agravado pela qualidade da sistematização da área de plantio.

Apesar da necessidade de melhorias que contribuam no processo de colheita dos sistemas avaliados, principalmente, no sistema S3, baseando-se em Oliveira et al. (2005) e Camolese et al. (2014), é coerente afirmar que os resultados de perda de produto colhido obtidos neste experimento são aceitáveis, pois nas regiões brasileiras produtoras de milho, onde a colheita é mecanizada, portanto, altamente tecnificada, as perdas variam de 8 a 10%, o equivalente a 8 milhões de toneladas de produto perdido a cada safra.

5 CONCLUSÕES

O sistema de colheita manual caracterizou-se pela baixa capacidade operacional e intensa demanda de esforço físico para realização das ações.

O uso de máquinas para realizar a operação de colheita nos sistemas avaliados proporcionou a redução da demanda de esforço físico do trabalhador de campo, aumentou a capacidade operacional dos mesmos, com consequente redução dos custos para realização de algumas ações que os compõem.

O uso de uma máquina capaz de realizar, simultaneamente, três ações que compõem o sistema de colheita pode contribuir para redução da dependência da mão-de-obra manual no sistema de colheita da cultura.

Apesar de serem altamente dependentes de energia fóssil, na forma de óleo Diesel e lubrificantes, os sistemas de colheita semi-mecanizado e mecanizado são viáveis energeticamente, pois, obtiveram saldo e eficiência energética positivos.

Mesmo não sendo realizada nenhuma ação especifica para eliminação de material estranho da massa de produto colhido, os níveis de impureza orgânica e mineral foram satisfatórios em todos os sistemas avaliados.

REFERÊNCIAS

AGRIWORLD. Mercado de tratores usados. **Agriworld,** Bragança Paulista, n. 22, v. 6, p. 76-80, 2015.

AGROLINK. **Guincho agrícola Tatu**. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/agrovenda/anuncio/guincho-agricola-tatu_5847.html. Acesso em: 19 de ag. de 2017.

ALCALÁ, L. A.; CASTILLO, S.G. **Tecnologías para el manejo poscosecha del cultivode la yuca**. Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la

Investigación y Desarrollo de la Yuca**.** Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2006, 64 p.

ALMEIDA, L. C. F. de. **Avaliação energética econômica da cultura do milho em assentamento rural, Iperó-SP**. 2007. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)– Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

ALMEIDA, L. C. F. de et al. Avaliação energética econômica da cultura do milho em assentamento rural, Iperó-SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 2, p. 105-124, 2010.

ALVES, L. R. A. A. et al. Competitividade da produçãode mandioca no estado de São Paulo com culturas concorrentes em área: safra 05/06. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 13, 2009, Botucatu: Resumos..., Botucatu, UNESP, 2009. 1 CD-ROM.

ALVES, R. N. B. et al. Produção de mandioca (Manihot esculenta Crantz) em um sistema semi mecanizado no município de Castanhal-PA, In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 15. Salvador: **Anais...,** Salvador, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. ASABE Standards. St. Joseph, **Agricultural Machinery Management** ASABE EP496.3. 2006.

ARALDI, F. P. et al. Eficiência operacional na colheita mecanizada em lavouras de arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 3, p.445-451, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. ASAE EP 497.6 JUN09: Agricultural machinery management data. In: _____. **ASAE Standards** 2009: standards engineering practices data. St. Joseph, 2009. p. 350-357.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. ASABE Standards. St Joseph, **Agricultural Machinery Management** ASABE D497.7, p. 1, 2011.

ARISTIZABAL, J.; SANCHEZ, T. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. **Boletin de servicios agricolas de la FAO**, p. 134, 2007.
ASSENHEIMER, A. et al. Análise energética de sistemas de produção de soja convencional e orgânica. **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 5, n. 3, p. 443-455, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE AMIDO DE MANDIOCA. **Estatísticas - Mercado Consumidor. 2016.** Disponível em: http://abam.com.br/estatisticas-producao.php. Acesso em: 08 de jun. 2016.

BAHNAS, O. T. The mechanical sugar beet harvest requirements in the reclaimed lands. In.: ANNUAL CONFERENCE OF THE MISR SOCIETY OF AGICULTURE ENGENEER, 14th New Trends in Agricultural Engineering. **Anais...,** p. 903- 922, 2006.

BANCHI, Â. D. et al. Capacidade operacional de colhedoras de cana-de-açúcar – Modelagem Matemática em Função da Produtividade Agrícola e da Vida da Máquina. **Revista AgriMotor.** Pinheiros, p. 42-46. 2012.

BARBOSA, L. P. et al. Desempenho operacional e análise de custo do conjunto mecanizado no preparo do solo para plantio florestal. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21; p. 746-763, 2015.

BEBER, J. A. C. **Eficiência energética e processos de produção em pequenas propriedades rurais.** 1989. 295 f. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural)– Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 1989.
BELARDO, G. C. **Avaliação de desempenho efetivo de três colhedoras em cana-deaçúcar (Saccharum spp) sem queima**. 2010. 136 f. Dissertação (Mestrado em máquinas Agrícolas)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

BENEDICT, F. G. A.; HARRIS, J. A. Biometric Study of Human Basal Metabolism. **Physiology**, v. 4, p. 370-373. 1918.

BENEDINI, M. S et al. **Perdas e impurezas vegetais e minerais na colheita mecanizada.** Boletim técnico. Guariba, 2009. 7p. Disponível em: http://www.coplana.com/gxpsites/..%5Cgxpfiles%5Cws001%5Cdesign%5CDownload%5CCirculares%5CPerdas_na_colheita_mecanizada.pdf . Acesso em: 26 de jun. 2016.

BEZERRA, V. S. **Farinhas de mandioca seca e mista**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 44 p.

BENESI, I. R. M. et al. The effect of genotype, location and season on cassava starch extraction. **Euphytica**, v. 160, p. 59-74. 2008.

BRASIL, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA CNPS. **Manual de métodos de análise de solos**. 2° ed., Rio de Janeiro, 1997, 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1)

BRASIL, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA Mandioca e Fruticultura Sistemas de Produção, 7. **Cultivo da mandioca na região centro sul do Brasil**. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro: 2003, 212p.

BRASIL, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMBRAPA. Embrapa Mandioca e Fruticultura Sistemas de Produção, 11. **Cultivo da Mandioca para a Região dos Tabuleiros Costeiros. 2003.** Disponível em https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_tabcosteiros/colheita.htm. Acesso em: 27 de mar. 2016.

BRASIL, Senado Federal Brasileiro-SFB. Projeto de Lei do Senado nº 19, de 2003. Altera o art. 198 da Consolidação das Leis do Trabalho, aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, que dispõe sobre o peso máximo que um trabalhador pode remover individualmente. **Parecer n° 1.337, de 2005**. Brasilia, DF,

2005. 29 p. Disponível em http://www.senado.gov.br/atividade/Materia/getPDF.asp?t=35920. Acesso em: 09 de jun. 2016.

BRASIL, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMBRAPA. **Mandioca: o produtor pergunta, a EMBRAPA responde.** Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 176 p.

BRASIL. Ministério de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA. **Regulamento Técnico do Feijão**. Instrução Normativa nº 12. 2008. Publicado no Diário Oficial da União de 31 de março de 2008, Seção 1, p. 11-14.

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. **Censo Demográfico de 2010 Primeiros resultados População e Domicílios recenseados**. 2010. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000237.pdf. Acesso em: 12 de jul. 2016.

BRASIL, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMBRAPA. **Seleção participativa de Variedades de Mandioca na Agricultura Familiar**. Planaltina, DF: Embrapa cerrados, 2011.

BRASIL, Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho-FUNDACENTRO. **Análise coletiva do trabalho executado no cultivo do abacaxi no município de Guaraçaí**, São Paulo. São Paulo-SP: Fundacentro, 2014. 55 p.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética-EPE. **Balanço energético nacional 2015: ano base 2014- Relatório final**. Rio de janeiro - EPE, 2015. 292 p. Disponível em http://www.mme.gov.br/documents/10584/1143895/2.1+-+BEN+2015+-+Documento+Completo+em+Portugu%C3%AAs+-+Ingl%C3%AAs+(PDF)/22602d8c-a366-4d16-a15f-f29933e816ff?version=1.0. Acesso em: 22 de jul. 2016.

BOCK, R. et al. Consumo horário e operacional de um trator agrícola na operação de roçagem. In.: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO. 2016, Bagé. anais..., Bagé: UFP**.** v. 8, n. 2, 2016.

BUENO, O. de C. **Análise energética e eficiência cultural do milho em assentamento rural**, **Itaberá/SP**. 2002. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)– Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

CALDAS, J. D. **Perdas Na Colheita Mecanizada de Grãos Feijão, Soja e Milho.** 2009. 41 f. Monografia (Especialização em Gestão Agrária e Desenvolvimento Regional)- Faculdade de Ciências Exatas, Universidade de Tuiuti, Guarapuava, 2009.

CAMOLESE, da S. et al. Avaliação das perdas quantitativas e qualitativas de uma colhedora com trilha radial em função da umidade dos grãos de milho**. Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, n. 2, p. 208-215, 2014.

CAMPOS, M. A. O.; SILVA, R.P.; CARVALHO, A.F.; MESQUITA, H.C.B.; ZABANI, S. Perdas na colheita mecanizada de soja no Estado de Minas Gerais. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 207-213, 2005.

CAMPOS, A. T. et al. Análise energética da produção de soja em sistema plantio direto. **Global Science and Technology,** Rio Verde, v. 02, n. 2, p. 38-44. 2009.
CARVALHO, F. M. de. **Caracterização do Sistema de Produção de Mandioca (*Manihot Esculenta* Crantz) em Treze Municípios da Região Sudoeste da Bahia.** 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2006.

CARVALHO, F. M. de. **Análise econômica de sistemas de plantio e colheita de mandioca**. 2009. 67 f. Tese (Doutorado em Agronomia- Fitotecnia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

CARVALHO, F. G. de et al. Métodos de avaliação de necessidades nutricionais e consumo de energia em humanos. **Revista Simbio-Logias**, Botucatu, v. 5, n. 7, 2012.

CARDOSO, C. E. L. et al. Custo de produção de mandioca no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRODE MANDIOCA, 11, 2005. Campo Grande. Resumos..., Campo Grande: EMBRAPA, 2005. 1 CD-ROM.

CARMO, M. S.; COMITRE, V.; GABRIEL, L. R. A.; THEMEN, J. I. Eficiência energética na produção agrícola e do refino do óleo de amendoim. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 31., 1993, Ilhéus anais..., Campinas: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 1993. p. 17-605

CASTANHO FILHO, E. P.; CHABARIBERY, D. **Perfil energético da agricultura paulista.** São Paulo: IEA – Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Governo do Estado de São Paulo, 1982. 55p.

CASTANHO FILHO, E. P.; CHABARIBERY, D. Perfil econômico da agricultura Paulista. **Agricultura em São Paulo.** São Paulo, v. 30, n.12, p. 63-115, 1983.

CASTRO, S. H. de C. Custo de produção de soja cultivada sob sistema de plantio direto: estudo de multicasos no Oeste da Bahia. **Ciência e Agroecologia**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1146-1153, 2006.

CATOSSI, L.; SALVI, J. V. Análise da eficiência operacional em colheita de cana-de-açúcar. In. SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA SUCROENERGÉTICA E DE BIOCOMBUSTÍVEIS CIÊNCIA & TECNOLOGIA, 3, Jaboticabal. anais..., 2015, v. 7, 2015.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA-CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas: Resultados tabulares de Anhembí**. 2016. Disponivel em: http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_026.html. Acesso em: 22 de jul. 2016.

CHECHETTO, R. G. et al. Balanço energético para a produção de bioDiesel pela cultura da mamona (Ricinuscommunis L.). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 546-553, 2010.

COMITRE, V. **Avaliação energética e aspectos econômicos da filière soja na região de Ribeirão Preto – SP**. 1993. 132p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Planejamento Agropecuário) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

CUNHA, J. P. A. R. da et al. Operational performance of the mechanized and semi-mechanized potato harvest**. Engenharia Agrícola**. v. 31, n. 4, p. 826-834, Jaboticabal, 2011.
CUNHA, J. P. B. et al. Eficiência de campo em diferentes operações mecanizadas na cafeicultura. **Coffe Science**, Lavras, v.11, p. 76-86. 2016

DENADAI, M. S. **Avaliação do desempenho operacional e de custos entre enfardadoras no recolhimento de palhiço de cana-de-açúcar**. 2014. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

DIOTTO, A. V. **Demanda de energia no sistema de produção do pinhão manso (*Jatropha Curcas L.*) irrigado**. 2013. 99 f. tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem)- Escola Superior de Agricultura, Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba, 2013.

DÖERING, O. C. et al. Accounting for tillage equipment and other machinery in agricultural energy analysis. **Energy in Agriculture**. Agricultural Experiments Station. Purdue University. West Lafayette, Indiana. NSF/RA- 770128. 1977.

FAGUNDES, L. K. et al. Desenvolvimento, crescimento e produtividade de mandioca em diferentes datas de plantio em região subtropical. **Ciência Rural**, v. 40, p. 2460-2466, 2010.

FAO. **Soil is a non-renewable resource.** 2015**.** Disponível em: http://www.fao .org/3/a-i4373e.pdf. Acesso em: 02 de jul. 2016.

FAROLDI, M; et al. Dendê: do cultivo da palma à produção de bioDiesel. **Revista Monografias Ambientais**, v.13, n.5, p. 3800-3808, 2014

FERREIRA, F. de F. et al. Análise da matriz energética e econômica das culturas de arroz, soja e trigo em sistemas de produção tenrificados no Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 2, p.380-385, 2014.

FERNANDES, C. A. et al. Queixas musculoesqueléticas e a atividade de agricultura familiar. **Revista Digital**. Buenos Aires, v. 19, n. 193, 2014.

FERNANDES, C. **Revolução Industrial.** 2016. Disponível em: http://historiadomundo.uol.com.br/idade-moderna/revolucao-industrial.htm. Acesso em: 12 de jul. 2016.

FERREIRA JUNIOR, et al. Consumo em operações de escarificação. **Revista Cultivar Máquinas**, Santa Maria, v. 138, p. 27 - 29, 2014.

FERREIRA JUNIOR, O. GPS TrackMaker® e GTM Pro®. Ver 3.4. Belo Horizonte: Geo Studio Tecnologia Ltda, 2001. n° 1.

FIALHO, J. D. F. **Seleção participativa de variedades de mandioca na agricultura familiar**. Planaltina, Embrapa cerrados, 2011.

FIGUEIREDO, P. R. A. de F. et al. Projeto vencedor. **Revista Cultivar Máquinas**, Santa Maria, v. 12, n. 146, p. 28-30, 2014.

FRANCO, F. N. **Alguns aspectos de desempenho operacional de um sistema de recolhimento de palhiço de cana-de-açúcar (*Saccharum spp)* a granel**. 2003. 113 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

FURLANETO, F. de P. B. et al. Análise energética do novo sistema de produção de maracujá amarelo na região de Marília-SP. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 2, p. 235-240, 2014.

FUKUDA, W. M. G.; IGLESIAS, C.; SILVA, S. O. **Melhoramento de mandioca**. Cruz das Almas, Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2003. 53 p.

GAMERO, A. C. **Desempenho operacional de um subsolador de hastes com curvatura lateral ("paraplow"), em função de diferentes velocidades de deslocamento e profundidades de trabalho**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

GAMEIRO, A. H. et al. Análise Econômica dos Sistemas de Carregamento de Citros para Processamento Industrial. **Revista Administração**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p.74-86, 2009.

GOMES, J. A. **Desempenho operacional de colhedoras de batata (Solanum tuberosum L.)**. 2002. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Área de concentração Máquinas Agrícolas)- Universidade de Campinas, Campinas, 2002.

Google Earth Pro. Ver. 7.3.0. Disponível em https://www.google.com.br/intl/pt-PT/earth. Acesso em: 11 de jul. 2016.

GROXKO, M**. Análise da conjuntura agropecuária- Mandioca- Safra/2015-2016. 2015**. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral /Prognosticos/2016/mandioca_2015_16.pdf. Acesso em: 20 de jun. 2016.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente.** 3º ed. Tradução técnica VICHI, F.M.; MELLO L.F. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 543 p.

HISANO, H. et al. **Potencial da Utilização da Mandioca na Alimentação de Peixes**. 2008. 31 p. Documentos 94. EMBRAPA Agropecuária-Oeste. Dourados. 2008.

IIDA, I. **Ergonomia; projeto e produção**. São Paulo: Edgard Blucher, 2012.

INSTITUTO PRO TERRA- IPT, **Estudo do rendimento operacional em operações de restauração florestal em áreas de matas ciliares. São Paulo: Instituto Pró-Terra**, 2009. Disponível em: http://www.institutoproterra.org.br/attach/upload/ rendimentooperacionalpro-terra.pdf. Acesso em: 11 de jun. 2016.

JASPER, S. P et al. Análise energética da cultura do crambe (Crambe abyssinica Hochst) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 395-403, 2010.
JASPER, S. P.; SILVA, P. R. A. Estudo comparativo do custo operacional horário da mecanização agrícola utilizando duas metodologias para o estado de São Paulo. **Nucleus**, Ituverava, v. 10, n. 2, 2013.

LAGO, I. et al. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao déficit hídrico no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 1415-1423, 2011.

LANDGRAF, L. **Brasil deve desperdiçar 4% da safra de soja na colheita**. EMBRAPA, 2004. Disponível em: www.embrapa.br/emprensa/noticias/2004/marco/bn. Acesso em: 25 de jun. 2016.

LEITE, F. et al. Evaluation of tractive performance of four agricultural tractors in laterally inclined terrain**. Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 5, p. 923-929, 2011.

LEXICAR BRASIL. **Máquinas Agrícolas e Florestais**. Disponível em: http://www.lexicarbrasil.com.br/new-holland/. Acesso em: 19 de ag. 2017.

LIMA, C. M et al. Avaliação do desempenho de uma colhedora semi montada para colheita mecanizada direta de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito, anais..., Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2007. 1 CD-ROM.

LIMA, C. M. de et al. Desempenho de colhedoras semi-montadas para a colheita direta de milho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 720-729, 2008.

LORENZI, J. O. et al. Aspectos filotécnicos da mandioca em Mato Grosso do Sul. In: OTSUBO, A. A.; MERCANTE, F. M.; MARTINS, C. de S. (Coord.) **Aspectos do cultivo da mandioca em Mato Grosso do Sul.** Dourados: EMBRAPA/UNIDERP, 2002. p. 77-108.

MACEDÔNIO, A. C.; PICCHIONI, S. A. **Metodologia para o cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuária**. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura, 1985. v. 1, 95 p.

MANTOAM, E. J. **Incorporação de energia na vida útil de uma colhedora autopropelida de cana-de-açúcar.** 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MARCONDES, M. C. et al. Qualidade de sementes de soja em função do horário de colheita e do sistema de trilha de fluxo radial e axial, **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 315-321, 2010.

MARTINS, F. G. L. et al. Análise energética da produção de milho para silagem cultivado em diferentes espaçamentos. **Energ. Agric.**, Botucatu, v. 30, n. 4, p. 418-428, 2015.

MARTINS, M. B. **Desempenho efetivo e influência no sistema de limpeza da colheita mecanizada de cana-de-açúcar utilizando diferentes velocidades de deslocamento e rotações do extrator primário** 2016, 52 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2016.

MATTOS, P. L. P. de. Práticas culturais na cultura da mandioca. In: OTSUBO, A. A.; MERCANTE, F. M.; MARTINS, C. de S. (Coord.). **Aspectos do cultivoida mand ioca em Mato Grosso do Sul**. Dourados: EMBRAPA/UNIDERP, 2002. p. 127-146.

MATTOS, P. L. P. de; CARDOSO, E. M. R. **Cultivo da Mandioca para o Estado do Pará**. Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. Sistemas de Produção, 13.

MELLO, A. J. R. **Produtividade e perdas na colheita de dois cultivares híbridos de milho em função da velocidade de semeadura (Zea mays L.).** 2006. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Jaboticabal, 2006.

MELO, C. M. de et al. Gasto Energético Corporal: Conceitos, Formas de Avaliação e sua Relação com a Obesidade, **Arq Bras Endrocrinol Metab**, São Paulo, v. 52, n. 3, p. 452-464, 2008.

METÁLUS BONIN IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS. **Roçadora**. Disponível em www.metalus.com.br/prodd..php?linha=1. Acesso em: 17 de ag. 2016.

MF RURAL. **Afofadorsubsolador de mandioca**. Disponivel em: http://www.mfrural.com.br/detalhe/afofador-subsolador-de-mandioca-190067.aspx. Acesso em: 19 de ag. 2017.

MIAC MÁQUINAS AGRÍCOLAS. **Maniva 2 LR- Colhedora de mandioca**. Disponível em: www.miac.com.br/conteudo/maniva-2-lr-colhedora-de-mandioca.htlm. Acesso em: 10 de ag. 2016.

MILLER, L. C. **Tecnologia Agrícola para Exploração e Manejo Cultural da Cana-de-Açúcar.** Araras, SP, 2008. 82 p. Disponível em: http://www.sigacana.com.br/d_COLHEITA/4.PLANEJ_E_OPER_DA_COLHEITA_DE_CANA_INDUSTRIAL_atualiz.htm. Acesso em: 04 de mar. 2017.

MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1974. 301p.

MIALHE, L. G. **Máquinas para colher cereais**. Piracicaba: ESALQ, 1984. 66 p.

MILAN, M; ROSA, J.H.M. Corte, transbordo e transporte (CTT): Aspectos relevantes e uso da para modelagem para o CTT. In: Belardo, C.G et al. **Procesos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA, 2015. p. 415-428.

MODESTO JÚNIOR, M. de S. et al. Produtividade de mandioca obtida por agricultores familiares do município de Ipixuna do Pará, **Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v. 7, p. 12-23, 2011.

MORENO, L. M. **Transição da colheita da cana-de-açúcar manual para a mecanizada no Estado de São Paulo: cenários e perspectivas**. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MONTANHA, G. K. et al. Consumo de combustível de um trator agrícola em função do tipo de solo e da pressão de inflação nos pneus utilizando o equipamento canteirador. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 44-59, 2012.

NACHILUK, K. et al. Caracterização da colheita e pós-colheita da mandioca de mesa nas regionais agrícolas de Andradina e Araçatuba – SP, In. CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 13. Botucatu, SP. anais..., 2009, p. 1026-1031.

NORMANHA, E. S. **Colheita da mandioca. Curso Intensivo Nacional de Mandioca**. EMBRAPA, Cruz das Almas, 1976. p. 63-73.
OLIVEIRA, M. E. C. de. et al. Danificações em sementes de milho decorrente da debulha e teor de umidade na colheita. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Aracaju, v. 5, n. 2, 2005.

OLIVEIRA, M. D. M.; FREITAS, S. M.; FREDO, C. E. Análise energética da produção de oleaginosas no Estado de São Paulo. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, SP, v. 3, n. 6, 2008. Disponível em ftp://ftp.sp.gov.br/ftpiea/AIA/AIA-45-2008.pdf. Acesso em: 21 de mar. 2017.

OLIVEIRA, L. M. et al. Balanços energéticos da produção de etanol para diferentes fontes de matérias primas. **Geoambiente**, Jataí, n. 22, p. 39-52, 2014.

OSPINA, B.; CEBALLOS, H. **La Yuca en el tercer milenio: sistemas i modernos de producción procesamiento, utilización y comercialización**. Cali: CIAT, 2002. 586 p.

OUDMAN, L. **A utilização de burros para transporte e lavoura**. 2° ed. Wageningen: Digigrafi, 2004. 90 p.

PACHECO, F. Energias Renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento**, Salvador, n. 149, p. 4-11, 2006.

PARÁ, Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará- FAPESPA. **Boletim Agropecuário do Estado do Pará 2015**. Belém, n 1, 2015. 38 f.: il

PEREIRA, D. N. **Análise técnica e de custos de povoamento de eucalipto sob preparo manual e mecanizado do solo em área declivosa no Sul do Espírito Santo**. 2010. 112 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

PIMENTEL, D.; PIMENTEL, M. **Food energy and society**. London: Edward Arnold, 1979. 163 p.

PONTE, C. M. de A. **Épocas de colheita de variedades de mandioca**, 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia)- Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2008.
PORTELLA, J. A **Colheita de grãos mecanizada**. 1° Ed. Viçosa. 2000. 190 p.
PRADO, D. **Guia metodológico: diagnósticos de sistemas agrários**. Brasília: FAO/INCRA, 1999, 58 p. (Projeto de Cooperação Técnica).

RAMOS, R. F. **Comparações produtiva, econômica e energética de sistemas convencional, orgânico e biodinâmico de cultivo de batata-doce (*Ipomoea batatas*)**. Botucatu, 2004. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

RAMOS, C. R. G. **Desempenho operacional da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora.** Botucatu, 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

RICHETTI, A. **Estimativa do custo de produção de mandioca industrial safra 2008**. Dourados: EMBRAPA, 2008a. 6p. (comunicado técnico, n° 144).

RICHETTI, A. **Estimativa do custo de produção de milho para safra 2008/2009, no Mato Grosso do Sul**. Dourados: EMBRAPA, 2008b.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros e Marques, 2004. 302 p.

RIQUETTI, N. B. et al. Demanda energética em diferentes manejos de solo e híbridos de milho. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 76-85, 2012.

RISOUD, B. Développement durable et analyse énergétique d'exploitations agricoles. **Économie Rurale**, França, n. 252, p.16-27, 1999.

RISOUD, B. **Energy efficiency of various French farming systems: questions to sustainability**. INRA, 2000. Disponível em: <http://www.dijon.inra.fr/esr/documents /wp20009.pdf>. Acesso em: 30 de nov. 2016.

ROBERSON, G. T. Planting, harvesting, and curing peanuts. p.131-148. In: JORDAN, D. L. et al. **Peanut information 2010**. North Carolina Coop. Ext. Ser. Series AG-331. 2009.

ROMANELLI, T. L.; COHEN, M.J.; MILAN, M.; BROWN, M.T. Emergy Synthesis of Intensive Eucalyptus Cultivation in São Paolo, Brazil. **Forest Science**. v. 54, p. 228-241, 2008.

ROMANELLI, T. L. Sustentabilidade energética da cana-de-açúcar In: RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2 ed. Piracicaba: Autores, v. 1, p. 304-312, 2009a.

ROMERO, M. G. C. **Avaliação energética e econômica do agroecossistema algodão: uma abordagem entre sistemas familiares de produção do Paraguai e Brasil.** 2009. Botucatu, 183 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. 2009.

SÁ, J. M. et al. Balanço energético da produção de grãos, carne e biocombustíveis em sistemas especializados e mistos. **Pesq. Agropec. Bras**., Brasília, v. 48, n. 10, p. 1323-1331, 2013.

SALA, S. M. F. **Ergonomia aplicada a ferramentas manuais: o caso da ferramenta manual para descascamento de raízes de mandiocas**. 2015. 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SALLA, D. A. **Análise energética de sistema de produção de etanol a partir da mandioca, da cana de açúcar e do milho**. 2008. Botucatu-SP. 168 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. 2008.

SALVADOR, N. et al. Consumo de combustível na operação de subsolagem realizada antes e depois de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 256-262, 2008.

SALVI, J. V. **Qualidade do corte de base de colhedoras de cana-de-açúcar**. 2006. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2006.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JÚNIOR, J. Balanço energético em galpão de frango de corte**. Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 25-36, 2004.

SANTOS, R. de S et al. **Diagnóstico dos arranjos produtivos locais da cultura da mandioca e pecuária de leite no território da transamazônica**. Altamira-PA. 2010. Relatório técnico. 146 f. Altamira 2010.

SANTOS, E. P. dos. et al. Produtividade e perdas de amendoim em cinco diferentes datas de arranquio, **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 695-702, 2013.

SANTOS, N. B. et al. Simulação da eficiência de campo da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (saccharum spp.). **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29, n. 1, p. 09-13, 2014.

SÃO PAULO, CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA-CEPEA- Custo de produção de mandioca no estado de São Paulo: Mandioca industrial safra 2004. 2004. Disponível em: http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/analise_custo _2003_04.pdf . Acesso em: 14 de jun. 2016.

SCALON FILHO, H. **Avaliação de dois equipamentoss na colheita semi-mecanizada da cultura da mandioca (Manihot esculenta, Crantz).** 2001. 34 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Dourados, 2001.

SCALON FILHO, et al. Desempenho de dois equipamentos na colheita semi-mecanizada da cultura da mandioca. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 557-564, 2005.

SCHANOSKI, R. et al. Perdas na colheita mecanizada de soja (Glycine max) no município de Maripá – PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1206–1211, 2011.

SCHMIDT JUNIOR, J. C. **Avaliação do desempenho efetivo de colhedora de cana-de açúcar (saccharum spp.)**. 2011. 108 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas)– Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS-SEBRAE. **Mandioca (farinha e fécula**): série estudos mercadológicos. Brasília/DF: SEBRAE, 2012.

SHARP, B. **Motores a álcool em utilitários, caminhões e tratores**. 2015. Disponível em: http://www.autoentusiastas.com.br/2015/08/motores-a-alcool-em-utilitarios-caminhoes-e-tratores/. Acesso em: 30 de jun. 2016.

SILVA, R. A. **Aprimoramento de um despalhador de colmos inteiros de cana-de açúcar por rolos oscilantes com diferencial de velocidades**. 2003. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas)- Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2003.

SILVA, G. H. da. **Eficiência econômica e energética de sistemas de produção de mamona nos estados de Minas Gerais e Paraná**. 2008. 129 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2008.

SILVA, G. F. **da Análise de custos operacionais e eficiência gerencial para conjuntos trator-equipamentos em operações agrícolas**. 2009. 31 f. Monografia (Graduação em Engenharia Agronômica)- Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

SILVA, L. C. da. Da Semente ao consumo. **Revista Grãos Brasil**, v. 8, n, 34, p. 23-27, 2009.

SILVA, J. G. da et al. Colheita direta de feijão com colhedora automotriz axial. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 4, p. 371-379, 2009

SILVA, R. P. da et al. Perdas qualitativas na colheita mecanizada de sementes de soja**. Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 477-484. 2013.

SILVA, R. P. da et al. Qualidade da colheita mecanizada de feijão (Phaseolus vulgaris) em dois sistemas de preparo do solo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 61-69, 2013.

SILVA, H. W. da; FEY, E. Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação de perdas na colheita da mandioca**.** In.: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTIFICA, TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO 1: Londrina, anais..., UNIOESTE, 2015.

SILVA, P. R. A. et al. Rentabilidade na semeadura cruzada da cultura da soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, p. 293-297, 2015.

SILVA, A. D. da; SANTOS, E. O. **Folhetos explicativos da mandioca**. 2016. Disponível em: http://www.ipa.br/resp14.php. Acesso em: 16 de jul. 2016.

SILVEIRA, G. M.; BERNARDI, J. A. Estudo do consumo de energia por órgãos ativos de roçadora. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 245-252, 2001.

SIMÕES, D. et al. Desempenho operacional e custos da operação de subsolagem em área de implantação de eucalipto. **Biosci. J**., Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 692 – 700, 2011.

SIQUEIRA, R. et al. Balanço de energia na implantação e manejo de plantas de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 80-89, 1999.

SIQUEIRA, R. et al. Energetic balance from bioDiesel production of oil seed radish (*Raphanus sativus* L.). *In:* INTERNACIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 12., 2008, Foz do Iguaçu. anais..., Foz do Iguaçu. 1 CD-ROM.

SOARES, L. H. de B.; et al. Balanço energético da produção de bioetanol de mandioca (Manihot esculenta Crantz). **Circular técnica** 23, Embrapa Agrobiologia, 2008.

SOUZA, R. M. et al. Incidência de injúrias mecânicas em raízes de mandioquinha-salsa na cadeia de pós-colheita. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 712-718, 2003.

SOUZA, J. L. de. et al. Balanço e análise da sustentabilidade energética na produção orgânica de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 26, n. 4, p. 433-440. 2008.

SOUZA, C. M. A. de. Espacialização de perdas e da qualidade do feijão em colheita semi-mecanizada. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 201-208, 2010.

SOUZA, C. A Z. **Avaliação econômica e energética da colheita de forragem para alimentação suplementar bovina**. 2012. Piracicaba-SP. 78 f. Dissertação (Mestrado em máquinas agrícolas)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 2012.

STRECK, N. A. et al. Efeito do espaçamento de plantio no crescimento, desenvolvimento e produtividade da mandioca em ambiente subtropical. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 4, p.407-415, 2014.

TACHIBANA, A.; RIGOLIN, A. de T. Análise da produtividade das operações de colheita e carregamento mecanizado de laranja. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 23, n. 1, p.57-75, 2002.

TAKAHASHI, M.; GONÇALO, S. **A cultura da mandioca**. Paranavaí, 2005. 116 p.
TERTULIANO, P. C. et al. Qualidade de sementes de feijão colhidas por colhedora autopropelida em sistema semi mecanizado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 81-90, 2009.

TESTA, J. V. P. **Desempenho operacional e energético de colhedoras de cana-de-açúcar (saccharum spp.) para uma e duas linhas da cultura**. 2014. Botucatu-SP. 43 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. 2014.

TRIUMAQ Máquinas, Equipamentos e Soluções Agrícolas. Afofador com roçadeira Agiliza 2015, com desarme automático. Disponível em www.triumaq.com.br. Acesso em:17 de ag. 2016.

TSATSARELIS, C. A. Energy inputs and outputs for soft winter wheat production in Greece. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amesterdam, v. 43, p. 18-109, 1993.

UARROTA, V. G. **Análises metabólicas, enzimáticas e histológicas de raízes de Mandioca (Manihont esculenta CRANTZ), durante a deterioração fisiológica em pós colheita**. 2015. 174 f. Tese (Doutorado em Recurso Genéticos Vegetais)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

URQUIAGA, A. et al. Produção de biocombustíveis: A questão do balanço energético. **Política Agrícola**, Brasília, v. 14, n. 1, p. 42-46, 2005.

ULBANERE, R.C.; FERREIRA, W.A. Análise do balanço energético para a produção de milho no Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 4, n. 1, p. 35-42, 1989.

VALLE, T. L. et al. **Mandioca para a produção de etanol**. Instituto Agronômico (IAC) Campinas. 2008.

VALE, W. G. do. Desempenho operacional e energético de um trator agrícola durante a operação de roçagem. **Global Science and Technology,** Rio Verde, v. 4, n. 2, p.68 – 75. 2011.

VELOSO, A. V. et al. Energetic efficiency of a deep bed swine production system. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 6, p. 1068-1079, 2012.

VENEGAS, F.; et al. Determinação de perdas na colheita mecanizada do milho (*Zea mays L*.) utilizando diferentes regulagens de rotação do cilindro trilhador da colhedora. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde,** Valinhos, v. 16, n. 5, p. 43-55, 2012.

VENTURINI, M. T. **Ajustes metodológicos e seleção de fontes de tolerância à deterioração fisiológica pós-colheita em mandioca**. 2015, 124 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias)- Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2015.

VISANORTE IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS. **Roçadora Frontal**. Dispnível em: http://www.visanorte.com.br/vnsite/index.php/categoria-produto/rocadeira/. Acesso em 23 de set. 2016.

WELTER, T. R.; VALDIERO, A. C. Ferramenta para arrancar mandioca. In.: SALÃO DO CONHECIMENTO, 1: anais..., Ijuí: UNIJUÍ, 2014.

APÊNDICE

Apêndice 1. Velocidade e eficiência operacional de referência utilizadas nas operações das máquinas e equipamentos agrícolas.

Equipamento	Velocidade (km h^{-1})	Eficiência de operação (%)
Escarificador	5-8	70-85
Subsolador	4-7	70-90
Cultivador	3-5	70-90
Colhedora de arrasto	3-6	60-75
Colhedora combinada automotriz	3-6	65-80

Adaptado de Silva (2009)

Apêndice 2. Coeficientes energéticos específicos das fontes que compõem os sistemas de colheita da mandioca avaliados.

Fonte	Unidade	Coeficiente energético especifico	Referência autoral
Óleo Diesel	MJ kg^{-1}	49,16	EPE (2015)
Borracha dos pneus	MJ kg^{-1}	85,83	Castanho Filho e Chabaribery (1982); Comitre (1993); Jasper et al. (2010)
Trator de pneus	MJ kg^{-1}	56,80	Mantoam (2011)
Equipamentos agrícola	MJ kg^{-1}	10,80	Castanho Filho e Chabaribery (1982)
Raiz de mandioca	MJ t^{-1}	7.302	Hisano (2008)
Óleo lubrificante	MJ kg^{-1}	37,28	Mantoam (2011)
Graxa	MJ kg^{-1}	43,48	Mantoam (2011)

Apêndice 3. Dados econômicos das máquinas utilizadas na colheita mecanizada de mandioca no sistema S3

Máquina	Vida útil da máquina	Uso anual	Taxa de juros sobre o capital investido	Taxa de juros		Valor	
				de seguro	de alojamento	inicial do bem	de descarte
	(h)		(%)			(R$)	
Trator NH 7630	10.000	1.000	0,12	0,01	0,005	98.779	9.877
Trator MF 4275	10.000	1.000	0,12	0,01	0,005	91.365	9.136
Roçadora	5.000	1.000	0,12	0,01	0,005	6.000	600
Recolhedora	5.000	1.000	0,12	0,01	0,005	300.000	30.000
Afofador	5.000	1.000	0,12	0,01	0,005	6.000	600
Guincho	5.000	1.000	0,12	0,01	0,005	11.000	1.100

Apêndice 4. Média dos resultados da demanda de energia Fóssil, Industrial e Biológica em MJ t^{-1} para as ações que compuseram os sistemas de colheita de mandioca.

Sistema de colheita	**Energia fóssil** (MJ t^{-1})				
	Poda da porção aérea	Desagregação do solo	Recolhimento mecanizado	Embarque	Total
S1	-	-	-	-	-
S2	33,35	24,91	-	-	58,26
S3	35,76	25,55	3,78	7,38	72,47
	Energia Industrial				
	(MJ t^{-1})				
Sistema de colheita	Poda da porção aérea	Desagregação do solo	Recolhimento mecanizado	Embarque	Total
S1	-	-	-	-	-
S2	1,71	1,58	-	-	3,29
S3	1,73	1,69	0,94	2,26	6,61
	Energia Biológica				
	(MJ t^{-1})				

Sistema de colheita	Poda da porção aérea	Arranquio	Desagregação do solo	Despinica-mento	Recolhimento mecanizado	Embarque	Total
S1	0,19A	1,20	-	0,70	-	0,26	2,35
S2	0,02	0,17	0,02	0,60	-	0,25	1,06
S3	0,02	-	0,02	-	0,23	0,08	0,35

Apêndice 5. Parâmetros para cálculo de custos com reparos e manutenção de máquinas agrícolas.

Máquina ou Equipamento	Gasto total com reparos a partir do preço de aquisição (%)
Tratores	100
Escarificador	60
Subsolador	60
Cultivador	100
Colhedora de arrasto	90
Colhedora combinada automotriz	100

Adaptado de Silva (2009)

Apêndice 6. Custos operacional parcial e total em R$ ha^{-1} e R$ t^{-1} das ações que compuseram o sistema de colheita manual S1.

Poda da porção aérea		
Repetição	Custo operacional (R$ ha^{-1})	Custo operacional (R$ t^{-1})
R1	88,61	2,52
R2	70,28	2,20
R3	76,67	2,59
R4	68,06	2,52
R5	79,17	2,54
R6	74,17	2,38
	Arranquio	
	Custo operacional (R$ ha^{-1})	Custo operacional (R$ t^{-1})
R1	441,18	12,57
R2	415,89	13,01
R3	509,08	17,17
R4	558,32	20,66
R5	512,60	16,44
R6	512,60	16,44
	Despinicamento	
	Custo operacional (R$ ha^{-1})	Custo operacional (R$ t^{-1})
R1	208,34	5,94
R2	198,12	6,20
R3	263,11	8,87
R4	300,00	11,10
R5	253,60	8,13
R6	256,30	8,22
	Embarque manual	
	Custo operacional (R$ ha^{-1})	Custo operacional (R$ t^{-1})
R1	107,27	3,06
R2	115,28	3,61
R3	149,92	5,06
R4	122,78	4,54
R5	105,22	3,38
R6	134,70	4,32
	936,88	**30,58**

Apêndice 7. Custos operacional parcial e total em R$ ha^{-1} e R$ t^{-1} das ações que compuseram o sistema de colheita semi-mecanizada S2.

Poda da porção aérea		
Repetição	Custo operacional	Custo operacional
	(R$ ha^{-1})	(R$ t^{-1})
R1	144,22	4,48
R2	168,40	5,51
R3	118,10	3,99
R4	168,33	5,35
R5	146,47	4,79
R6	140,49	4,89
	Desagregação do solo	
	Custo operacional	Custo operacional
	(R$ ha^{-1})	(R$ t^{-1})
R1	138,65	4,30
R2	127,22	4,16
R3	136,61	4,61
R4	129,26	4,11
R5	126,25	4,13
R6	118,46	4,13
	Arranquio	
	Custo operacional	Custo operacional
	(R$ ha^{-1})	(R$ t^{-1})
R1	64,50	2,00
R2	58,00	1,90
R3	68,25	2,30
R4	68,50	2,18
R5	68,50	2,24
R6	75,00	2,61
	Despinicamento	
	Custo operacional	Custo operacional
	(R$ ha^{-1})	(R$ t^{-1})
R1	216,67	6,72
R2	214,59	7,02
R3	216,67	7,31
R4	219,59	6,98
R5	224,59	7,35
R6	229,17	7,98
	Embarque manual	
	Custo operacional	Custo operacional
	(R$ ha^{-1})	(R$ t^{-1})
R1	94,60	2,94
R2	108,42	3,55
R3	108,89	3,68
R4	97,01	3,08
R5	101,42	3,32
R6	98,74	3,44

Apêndice 8. Custos operacional parcial e total em R$ ha^{-1} e R$ t^{-1} das ações que compuseram o sistema de colheita mecanizada S3.

Poda da porção aérea		
Repetição	Custo operacional (R$ ha^{-1})	Custo operacional (R$ t^{-1})
R1	141,42	5,19
R2	150,08	5,10
R3	129,68	4,49
R4	150,99	5,18
R5	147,60	5,16
R6	136,59	4,82
	Desagregação do solo	
	Custo operacional (R$ ha^{-1})	Custo operacional (R$ t^{-1})
R1	124,50	4,57
R2	136,01	4,62
R3	124,86	4,32
R4	129,63	4,44
R5	125,35	4,38
R6	124,82	4,41
	Recolhimento mecanizado	
	Custo operacional (R$ ha^{-1})	Custo operacional (R$ t^{-1})
R1	670,92	24,65
R2	774,39	26,30
R3	796,25	27,56
R4	650,80	22,31
R5	780,65	27,28
R6	719,28	25,39
	Embarque mecanizado	
	Custo operacional (R$ ha^{-1})	Custo operacional (R$ t^{-1})
R1	145,69	5,35
R2	145,15	4,93
R3	143,15	4,96
R4	132,97	4,56
R5	139,99	4,89
R6	147,55	5,21