



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E  
INOVAÇÃO TECNOLÓGICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO SOCIEDADE, NATUREZA E  
DESENVOLVIMENTO**

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA FARINHA DE MANDIOCA  
AMARELA: SANTARÉM/PA E PARANAÍ/PR**

**HÉLIO CORRÊA FILHO**

**SANTARÉM, PA  
JANEIRO/2018**

HÉLIO CORRÊA FILHO

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA FARINHA DE MANDIOCA  
AMARELA: SANTARÉM/PA E PARANAÍ/PR**

Tese de Doutorado apresentada à Banca Examinadora como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais, junto ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento. Área de Concentração: Gestão do Conhecimento e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável, da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA.

Dr. MARCOS XIMENES PONTE

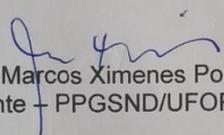
SANTARÉM, PA  
JANEIRO/2018

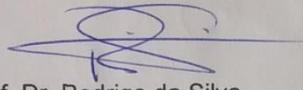
HÉLIO CORRÊA FILHO

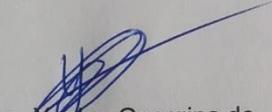
**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA FARINHA DE MANDIOCA AMARELA:  
SANTARÉM/PA E PARANAVÁI/PR**

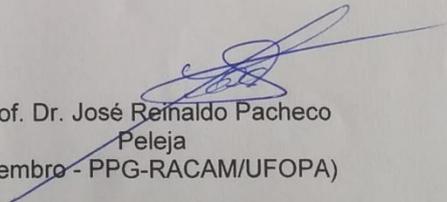
Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação *Stricto Sensu* Sociedade Natureza e Desenvolvimento, Área de Concentração Sociedade, Natureza e Desenvolvimento, da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

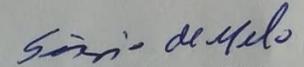
Aprovada em 30/01/2017, pela banca examinadora:

  
Prof. Dr. Marcos Ximenes Ponte  
(Presidente – PPGSND/UFOPA)

  
Prof. Dr. Rodrigo da Silva  
(Membro – PPGSND/UFOPA)

  
Profa. Dra. Angélica Georgina de  
Freitas Goch  
(Membro – PPG-RACAM/UFOPA)

  
Prof. Dr. José Reinaldo Pacheco  
Peleja  
(Membro - PPG-RACAM/UFOPA)

  
Prof. Dr. Sérgio de Melo  
(Membro – PPGSND/UFOPA)

Prof. Dr. Ricardo Bezerra Oliveira  
(Membro – PGRNA/UFOPA)

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

**Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA**

---

C824a Corrêa Filho, Hélio

Avaliação do ciclo de vida da farinha de mandioca amarela:  
Santarém/PA e Paranaíba/PR / Hélio Corrêa Filho. – Santarém, Pará, 2018.  
139 fls.: il.  
Inclui bibliografias.

Orientador Marcos Ximenes Ponte

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação Tecnológica, Programa de Pós-Graduação Doutorado em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento.

1. Farinha amarela. 2. Mandioca. 3. Avaliação – ciclo de vida. 4. Impacto ambiental. 5. Santarém, PA. 6. Paranaíba, PR. I. Ponte, Marcos Ximenes, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 633.68098115

**“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.”**

Antoine Lavoisier

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Dr. Marcos Ximenes Ponte, pela orientação, acompanhamento e revisão desta pesquisa.

Ao professor Dr. Sebastião Roberto Soares, pelos ensinamentos e apoio ao desenvolvimento da pesquisa no Grupo de Pesquisa em Avaliação de Ciclo de Vida – Ciclog/UFSC.

Ao senhor Joaquim e Dona Rosa, produtores de mandioca e de farinha de mandioca na Comunidade Boa Esperança, Santarém/PA, pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

A Farinheira Pioneira Ltda e a Amidos Mandelícia Ltda, Paranavaí/PR, pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

Aos produtores de mandioca Sandro Zanetti e Bruno Back por fornecer dados do cultivo da mandioca produzida no sistema industrial no Estado do Paraná.

Aos professores do Programa de Pós-graduação Sociedade Natureza e Desenvolvimento – PPGSND pelos ensinamentos.

Aos colegas professores do Programa de Computação da UFOPA, que colaboram para que eu pudesse desenvolver a pesquisa durante o período de afastamento.

A todos os funcionários da UFOPA por propiciar e manter os ambientes e serviços ao bom desenvolvimento das atividades.

À Universidade Federal do Oeste do Pará, por incentivar e apoiar à qualificação de seus docentes.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Avaliação de Ciclo de Vida – Ciclog/UFSC, em especial a Edivan Cherubini e Guilherme Zanghelini pelas contribuições ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Aos amigo(a)s Ester Rocha Assunção, Celina Emin Godinho e Geison Godinho pela amizade e pelo apoio.

À minha esposa Arlete Moraes, pelo o apoio e compreensão durante esta jornada.

À minha querida filha Ana Júlia por revigorar minhas energias com seu carinho e sorriso encantador.

À meus pais, Élio de Sousa Corrêa e Terezinha Barros Corrêa e minhas irmãs Mara Lúcia e Raquel pelo amor, ensinamentos e por mostrarem o caminho ao longo da minha vida quando necessário.

## RESUMO

A farinha de mandioca é o principal produto derivado da mandioca no Brasil. Um produto de segurança alimentar, geralmente, produzido em pequenas “casas de farinha” pouco tecnificadas, comumente encontradas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. Porém, nas regiões Sul, Sudeste e o Centro-oeste a produção de farinha encontra-se em processo de industrialização. Nos processos de produção de farinha de mandioca ocorrem impactos ambientais, distribuídos ao longo da cadeia produtiva que necessitam de explicações em uma abordagem holística. Neste sentido, a pesquisa teve como objetivo identificar e comparar os impactos ambientais e os custos energéticos na cadeia de produção da farinha de mandioca amarela, nos sistemas de produção tradicional (por agricultores familiares em Santarém/PA) e de produção industrial (em Paranaíba/PR). Utilizando-se da aplicação da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida, de acordo as normas ABNT NBR ISO 14040 (2009) e ABNT NBR ISO 14044 (2014), foram categorizados e calculados os impactos ambientais: Acidificação, Aquecimento Global, Uso do Solo e Demanda Total Acumulada de Energia (CED). Para tanto, foi usado o método CML 2001, atualizado como o IPCC 2007 e da CED, com o auxílio do *software* 8.2.3.0 e da base de dados ecoinvent 3.3. Os resultados mostraram que no sistema industrial 80,33% e 86,70% das emissões equivalentes são referentes ao potencial de Acidificação e ao Potencial de Aquecimento Global respectivamente, decorrentes do tratamento do volume de efluentes líquidos no biodigestor. Também, a CED equivalente teve como principal fonte de contribuição o tratamento dos efluentes líquidos no biodigestor com 64,60%. Os impactos ambientais referentes ao Uso da Terra predominaram no sistema tradicional de produção de farinha amarela, que necessitou de 121,77m<sup>2</sup>a (74,07%) para atender a unidade funcional, enquanto que no sistema industrial de produção de farinha amarela o valor obtido foi de 742,79m<sup>2</sup>a (25,93%), o qual se mostrou mais eficiente, devido a menor quantidade de área agrícola para atender a unidade funcional. A extrapolação do resultado obtido referente ao Uso da Terra no sistema industrial para a produção de farinha na Região Norte e no Estado do Pará, apresentou resultados, que se adotados, reduzirá áreas ocupadas com o cultivo da mandioca, liberando áreas agricultáveis a serem ocupadas com outras culturas, minimizando a necessidade de abertura de novas áreas de floresta nativa.

**Palavras-chave:** Farinha de mandioca amarela, Avaliação do ciclo de vida, Impacto ambiental, Santarém/PA, Paranaíba/PR.

## ABSTRACT

Cassava flour is the main product derived from cassava in Brazil. Cassava is a food security product, usually produced in small, low-tech "flour houses" commonly found in the North and Northeast regions of Brazil. However, in the South, Southeast and Midwest, the production of flour is in the process of industrialization. In the processes of production of cassava flour environmental impacts occur which are distributed along the productive chain, and these impacts need to be described and quantified using a holistic approach. In this sense, the objective of this research was to identify and compare the environmental impacts and energy costs in the yellow cassava flour production chain, in traditional production systems (by family farmers in Santarém/PA) and in industrial production (in Paranaíba/PR). Using the Life Cycle Assessment methodology, according to the standards ISO 14040 (2009) and ABNT NBR ISO 14044 (2014), the following environmental impacts were categorized and calculated: Acidification, Global Warming, Land Use and Cumulative Total Energy Demand (CED). For this purpose, the CML 2001 method, updated as IPCC 2007 and CED, was used with the aid of SimaPro 8.2 software and the Ecoinvent 3.3 database. The results showed that in the industrial system 80.33% and 86.70% of the equivalent emissions refer to the Acidification potential and the Global Warming Potential, respectively, due to the treatment of the volume of liquid effluents in the biodigester. Also, the equivalent CED had as its main source of contribution the treatment of liquid effluents in the biodigester with 64.60%. The environmental impacts related to land use predominated in the traditional system of yellow flour production, which required 121.77m<sup>2</sup> a (74.07%) to meet the functional unit, while in the industrial system of yellow flour production the value obtained was 742.79m<sup>2</sup>a (25.93%), which was more efficient due to the smaller amount of agricultural area needed to attend the functional unit. The extrapolation of the result obtained regarding land use in the industrial system for the production of flour in the Northern Region and in the State of Pará presented results that, if adopted, will reduce areas occupied with the cultivation of cassava, liberating arable lands to be occupied with other cultures, minimizing the need to open new areas of native forest.

Key words: Yellow cassava flour, Life cycle assessment, Environmental impact, Santarém/PA, Paranaíba/PR.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	11
LISTA DE TABELAS .....	13
LISTA DE ABREVIATURAS.....	14
LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES .....	15
INTRODUÇÃO .....	17
1 Principais características da mandioca dO cultivo ao processamento .....	21
2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: REQUISITOS E NORMAS .....	29
2.1 A metodologia da ACV .....	32
2.1.1 Definição de objetivos e escopo .....	34
2.1.2 Sistema de produto.....	35
2.1.3 Função do produto.....	36
2.1.4 Unidade funcional .....	36
2.1.5 Fronteira do sistema de produto.....	36
2.2 Análise de inventário .....	37
2.2.1 Coleta de dados.....	39
2.2.2 Procedimentos de cálculo.....	39
2.2.3 Alocação.....	39
2.3 Avaliação de Impacto Ambiental .....	41
2.4 Interpretação do ciclo de vida .....	43
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E EXECUÇÃO DA ACV DA FARINHA AMARELA .....	46
3.1 Caracterização da área de pesquisa.....	46
3.2 Ciclo de vida da farinha de mandioca amarela .....	52
3.3 Função, unidade funcional, fronteira do sistema, objetivo e escopo .....	71
3.4 Ferramentas e métodos para AICV.....	75
3.5 Impacto ambiental.....	76
3.6 ACV da farinha de mandioca amarela no sistema tradicional.....	77

3.7	ACV da farinha de mandioca amarela no sistema industrial.....	91
4	AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL NO CICLO DE VIDA DA FARINHA AMARELA.....	106
4.1	O Potencial de acidificação (AP).....	109
4.2	O Potencial de aquecimento global (GWP100).....	110
4.3	O Uso da terra (LU).....	112
4.4	A Demanda total de energia acumulada (CED) .....	114
5	INTERPRETAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA FARINHA DE MANDIOCA AMARELA.....	117
	CONCLUSÃO.....	123
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	126
	ANEXOS .....	134
	ANEXO 1 – Dados de Precipitação em Paranavaí/PR e Santarém/PA .....	135
	ANEXO 2 - Relatório de análise de solo .....	136
	ANEXO 3 - Coordenadas geográficas da área colhida em Santarém/PA.....	137
	ANEXO 4 - Balanço de massa da farinha amarela tradicional.....	138
	ANEXO 5 – Consumo de energia elétrica na produção da farinha amarela tradicional.....	139

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa indicando as possíveis localizações de origem da mandioca .....	21
Figura 2 - Produção de mandioca nos principais países produtores no período de 2014 a 2016 .....	23
Figura 3 – Produção de mandioca em área colhida (ha), no Brasil, no Pará e nas mesorregiões Paraenses .....	26
Figura 4 - Estrutura de avaliação de ciclo de vida .....	33
Figura 5 - Dimensões da ACV .....	34
Figura 6 - Sistema de produto para avaliação de ICV .....	35
Figura 7 – Estrutura simplificada para análise de inventário .....	38
Figura 8 - Relacionamento dos elementos da fase de interpretação com as demais fases da ACV .....	44
Figura 9. Fase de preparo do solo em sistema de corte e queima.....	54
Figura 10 - Fase de preparo do solo mecanizado .....	55
Figura 11 – Atividades necessários para o cultivo da mandioca .....	57
Figura 12 - Rotina empregada na colheita da mandioca .....	58
Figura 13 - Transporte das raízes da mandioca da lavoura a casa de farinha.....	58
Figura 14 - Descascamento manual.....	59
Figura 15 - Primeira lavagem das raízes de mandioca .....	60
Figura 16 - Processo de maceração das raízes de mandioca.....	60
Figura 17 - Processo de ralação das raízes de mandioca frescas e maceradas .....	61
Figura 18 - Processo de retirada de umidade da massa .....	62
Figura 19 - Processo de fragmentação de torrões de massa prensada.....	63
Figura 20 - Processo de grolagem da massa.....	64
Figura 21 - Processo de aquecimento da massa .....	65
Figura 22 - Processo de decantação da fécula .....	67
Figura 23 - Processo de picagem.....	67
Figura 24 - Processo de ralação .....	68
Figura 25 - Processo de prensagem da massa.....	68
Figura 26 - Processo de esfarelamento da massa .....	69
Figura 27 - Processo de peneiramento da massa.....	69
Figura 28 - Processo de secagem da massa .....	70
Figura 29 - Processo de classificação da farinha .....	71

Figura 30 - Delimitação da fronteira do sistema .....	72
Figura 31 - Fluxo simplificado da fronteira do sistema .....	74
Figura 32 - <i>Mindpoints</i> alvos: Aquecimento Global; Acidificação; Ocupação de Terra e Demanda Total Acumulada de Energia.....	75
Figura 33 - Colheita da mandioca em Santarém/PA .....	79
Figura 34 – Pesando a carga de raízes de mandioca em uma balança industrial ....	80
Figura 35 - Maceração das raízes de mandioca em caixa d’água e em gamela de madeira .....	81
Figura 36 - Prensagem da massa .....	82
Figura 37 - Peneiramento da massa .....	85
Figura 38 - Processo de torrefação da farinha amarela .....	87
Figura 39 - Retirada da farinha amarela do processo de torrefação .....	88
Figura 40 - Balanço de massa da farinha amarela no sistema tradicional .....	89
Figura 41 - Roçadeira e afofador acoplados ao trator .....	94
Figura 42 - Carregamento da caçamba a basculante .....	94
Figura 43 - Descarregamento das raízes de mandioca no silo .....	95
Figura 44. Separador mecânico de casquinha e água residual de lavagem das raízes .....	96
Figura 45 - Filtro prensa pneumático.....	98
Figura 46 - Fornos de grolagem e torrefação.....	100
Figura 47 - Peneiras de classificação da farinha.....	101
Figura 48 - Envasamento da farinha amarela .....	102
Figura 49 - Balanço de massa da farinha amarela produzida no sistema industrial. ....	103
Figura 50- Percentuais de contribuições por categoria de impacto.....	107
Figura 51 - Impactos ambientais por processo no sistema tradicional .....	108
Figura 52 - Impactos ambientais por processo no sistema industrial .....	109
Figura 53 - Comparação da ACV por categoria de impacto.....	115
Figura 54 - Influência do El Niño em 2015 na distribuição das chuvas em STM e PRV .....	120
Figura 55 - Influência do El Niño em 2016 na distribuição das chuvas em STM e PRV .....	120
Figura 56 - Histórico de precipitação de chuvas em Paranavaí/PR e Santarém/PA .....	121

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais Estados produtores de mandioca do Brasil e seu percentual de contribuição no cenário nacional .....	25
Tabela 2 - Os vinte municípios maiores produtores de mandioca do Brasil.....	27
Tabela 3 - Produtividade de biomassa de acordo com a idade da capoeira .....	54
Tabela 4 – Perfil físico-químico da manipueira em relação a adubação química NPK .....	84
Tabela 5 - composição físico-químico da manipueira e sua equivalência com fertilizantes comerciais .....	99
Tabela 6 - Consumo de farinha de mandioca na Região Norte e no Estado do Pará .....	113
Tabela 7 - Uso da Terra estimado para atender a produção de farinha na Região Norte e no Estado do Pará.....	113
Tabela 8 - Dados de produção de raízes de mandioca da Região Norte e do Estado do Pará.....	114
Tabela 9. Análise de sensibilidade da farinha tradicional.....	122
Tabela 10 - Dados da colheita da mandioca em Santarém/PA.....	138

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV *Avaliação do ciclo de vida*

AICV *Avaliação do impacto do ciclo de vida*

AP *Acidification Potential* - Potencial de Acidificação

CED *Cumulative Energy Demand* -Demanda de Energia Cumulativa

CICLOG - Grupo de Pesquisa em Avaliação do Ciclo de Vida

DAP - Declaração Ambiental de Produto

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FA\_Ind - Farinha amarela produzida no sistema industrial

FA\_Trad - Farinha amarela produzida no sistema tradicional

FA\_Trad\_AS - Análise de sensibilidade da farinha amarela tradicional

GEE - Gases de efeito estufa

GWP *Global Warm Potential* - Potencial de Aquecimento Global

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICV *Análise de inventário do ciclo de vida*

ILCD - *International Reference Life Cycle Data System*

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

ISO *International Organization for Standardization* - Organização Internacional para Padronização

SETAC *Society for Environmental Toxicology and Chemistry* - Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental

## LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

%	Porcentagem
1,4DB	<i>para</i> -Diclorobenzeno
C/N	Relação carbono/nitrogênio
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CO <sub>2</sub> eq.	Dióxido de carbono equivalente
Cu	Cobre
Fe	Ferro
$\sigma$	Desvio Padrão
g	Gramma
H <sub>2</sub> S	Ácido sulfídrico
i.e.	<i>id est</i> / isto é/ou seja
KCL	Cloreto de potássio
K <sub>2</sub> O	Óxido de potássio
Kg	Quilograma
Km	Quilometro
kWh	Kilowatt hora
L	Litro
m <sup>2</sup> a	Metro quadrado ano
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
M <sup>2</sup> eq	Metro quadrado equivalente
m	Metro
mg	Miligrama
Mg	magnésio
MJ	Megajoule
MJ eq	Megajoule equivalente
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NH <sub>3</sub>	Amônia
Nm <sup>3</sup> /h	"Normal" metro cúbico por hora

NO <sub>3</sub>	Nitrato
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrogênio
P	Fósforo
PO <sub>4</sub>	Fosfato
PO <sub>4</sub> eq.	Fosfato equivalente
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pentóxido de fósforo
SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre
SO <sub>2</sub> eq.	Dióxido de enxofre equivalente
tKm	Tonelada quilometro
Zn	Zinco

## INTRODUÇÃO

A domesticação da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) ocorreu em uma região do neotrópico americano. Embora o local específico do surgimento e da domesticação da mandioca não seja preciso, desde a sua domesticação por paleoíndios/ameríndios sul americanos a mandioca e seus derivados tem feito parte da alimentação destes povos. Com a chegada dos colonizadores portugueses ao continente sul americano, foi disseminada nas regiões tropicais e subtropicais do planeta. Atualmente, a mandioca fornece 9% do carboidrato consumido no mundo, o que a coloca em 5º lugar no ranque com relação ao consumo, depois do trigo, milho, arroz e batata.

Apesar da importância da mandioca e seus derivados na alimentação mundial, especialmente em regiões carentes em países de clima tropical e subtropical, nota-se uma lacuna de pesquisa dos principais produtos derivados da mandioca no Brasil, em especial a farinha de mandioca amarela<sup>1</sup>. Outras *commodities* possuem estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como ocorre com soja Cavalett (2008) e com o milho e soja para produção de biocombustíveis Kim e Dale (2005), nestas pesquisas demonstraram os impactos ambientais na cadeia produtiva.

Atualmente, há poucos estudos a respeito dos possíveis impactos ambientais e custos energéticos inerentes a produtos derivados de mandioca, em especial a farinha amarela. Neste sentido, a ACV, merece destaque dentre outras metodologias de avaliação de impacto ambiental, por sua abordagem holística.

Neste sentido, a aplicação da metodologia da ACV, em conformidade com as normas Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR ISO 14040 (2009) que se refere a Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura, e ABNT NBR ISO 14044 (2014) que trata da Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações, em uma abordagem holística dos processos que compreendem a cadeia produtiva da farinha amarela. A ACV possibilita

---

<sup>1</sup> A farinha de mandioca amarela, nesta pesquisa, refere-se a farinha d'água como é conhecida do Estado do Pará. Caracterizada por passar por processo de maceração em água. Sua coloração pode ser determinada pela utilização de variedades de mandioca que produzem raízes amareladas ou por adição de corante amarelo, artificiais ou naturais. A farinha amarela produzida industrialmente no Estado do Paraná não passa por processos de maceração e a coloração amarelada é resultante da adição de corante artificial. No decorrer do texto, a farinha de mandioca amarela será referida apenas como farinha amarela.

identificar etapas críticas responsáveis por gerar os maiores impactos ambientais e custos energéticos, evitando exportá-los para outros produtos (AZAPAGIC, 1999).

Com o intuito de contribuir para a elucidação de alguns dos problemas que afetam a cadeia produtiva da farinha amarela, surgiram os seguintes questionamentos:

a) Quais os impactos ambientais e os custos energéticos da cadeia de produção da farinha amarela proveniente do sistema de produção tradicional e do sistema industrial?

b) Em quais fases da cadeia produtiva da farinha amarela são admissíveis melhorias no decorrer do processo produtivo, por meio da redução dos custos ambientais e energéticos?

A avaliação do ciclo de vida da farinha amarela contribui para identificação e dimensionamento dos impactos ambientais e dos custos energéticos. Assim, com base em modelos de indicadores ambientais, empregando a ACV, de modo a quantificar e discutir o desempenho ambiental e energético em diferentes fases da cadeia produtiva e otimizar o processo produtivo, resultando em redução dos impactos ambientais e dos custos energéticos

Esta pesquisa tem como objetivo identificar e comparar os impactos ambientais e os custos energéticos na cadeia de produção da farinha amarela, nos sistemas de produção tradicional e de produção industrial, utilizando-se da aplicação da metodologia da ACV.

Utilizou-se, para tanto, de alguns objetivos específicos que nortearam a pesquisa na identificação dos elementos e atores na cadeia produtiva da mandioca e de seu derivado farinha amarela:

- Caracterizar e detalhar o processo da cadeia produtiva da farinha amarela;
- Identificar os indicadores ambientais inerentes à cadeia produtiva;
- Quantificar, categorizar e avaliar os impactos ambientais e custos energéticos da cadeia produtiva da farinha amarela;
- Comparar os impactos ambientais da farinha amarela com base em suas contribuições ambientais provenientes dos sistemas tradicional e industrial de produção;

A ACV desde o seu surgimento na década de 1960, tem passado por melhorias no seu processo metodológico ao longo dos anos, e assim, tornou-se uma importante ferramenta metodológica na avaliação ambiental dos mais diversos produtos,

processos ou atividades. Neste sentido, o Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO) publicou a Resolução no 04, de 15 de dezembro de 2010, que dispõe sobre a Aprovação do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV), entre outras prerrogativas:

...estabelece diretrizes no âmbito do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Sinmetro, para dar continuidade e sustentabilidade às ações de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no Brasil, com vistas a apoiar o desenvolvimento sustentável e a competitividade ambiental da produção industrial brasileira e a promover o acesso aos mercados interno e externo (BRASIL, 2010a).

É importante destacar que o PBACV deve estar em consonância com às políticas públicas ambientais e de sustentabilidade, por exemplo com o Plano Nacional de Consumo Sustentável e com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010a).

Devido a sua abrangência holística a ACV tem sido empregada na avaliação de impactos ambientais nos mais variados segmentos: materiais e componentes automotivos Ugaya (2001), biocombustíveis, avaliação do ciclo de vida do etanol de mandioca (Nguyen e Gheewala, 2008), avaliação do ciclo de vida do biodiesel do óleo de palma (Queiroz, França e Ponte, 2012), Cenários da produção de frango, na França, e no Brasil (Prudêncio da Silva, 2011), ACV social Wu et al, 2014), dentre outros.

Ao final desta pesquisa, os resultados da ACV da farinha amarela aponta os impactos ambientais inerentes ao produto, classificados por categoria de impacto, detalhado a nível de processos, relativo ao produto oriundo do sistema tradicional e do sistema industrial. Servindo como referência para melhorias de processos que apresentam impactos ambientais elevados, de modo a obter um produto mais limpo ambientalmente.

Esta tese está organizada da seguinte forma: 1) o capítulo 1, apresenta uma introdução do surgimento da mandioca e de seus derivados e sua importância na alimentação mundial. A ACV foi utilizada como ferramenta metodológica para explicar os impactos ambientais e os custos energéticos inerentes aos derivados de mandioca abordados nesta pesquisa, bem como, os questionamentos que norteiam a investigação visando atingir os objetivos gerais e específicos pré-determinados.

No capítulo 2, é descrita a metodologia da ACV de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR ISO 14040 (2009) que trata

da Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura, e ABNT NBR ISO 14044 (2014) que trata da Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações, apresentando sua estrutura organizacional, em uma estrutura incremental que norteou o desenvolvimento desta pesquisa.

No capítulo 3, descreve-se a metodologia utilizada no desenvolvimento da tese. Também, neste capítulo, realizou-se o tratamento dos dados, que resultou na Análise de Inventário do Ciclo de Vida (AICV).

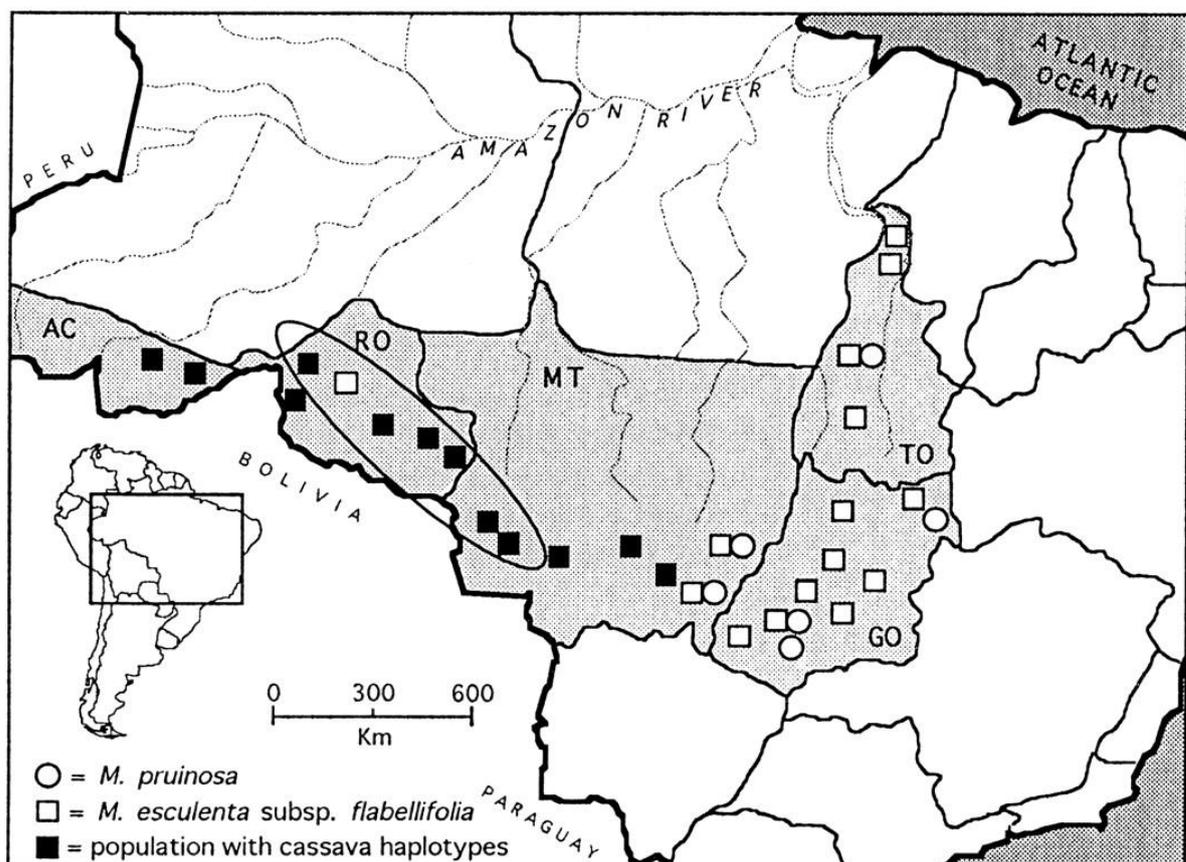
No capítulo 4, está contida a execução da ACV, a partir dos dados da AICV, com base no balanço de massa da farinha amarela, foram calculados e comparado os impactos ambientais e os custos energéticos atribuídos ao produto farinha amarela, com o uso do *software* SimaPro 8.2.3.0, da base de dados ecoinvent 3.3, dos métodos CML 2001, IPCC 2006 e Demanda Total Acumulada de Energia.

Também foi elaborada uma análise de sensibilidade a fim de determinar se o fenômeno climático El *Niño* que afetou a Amazônia nos últimos anos influenciou o resultado da ACV com base no balanço de massa.

No capítulo 5, foi realizada a interpretação dos resultados da ACV e a conclusão da pesquisa, respondendo de forma breve e sucinta os questionamentos e dissertando sobre os objetivos alcançados e não alcançados com suas respectivas justificativas. Bem como as principais contribuições desta pesquisa. E por fim são enumeradas algumas sugestões para trabalhos futuros que possam esclarecer com novos dados e informações, alguns pontos pouco explorados cientificamente.

# 1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA MANDIOCA DO CULTIVO AO PROCESSAMENTO

A origem e domesticação da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é incerta. Para Allem (1994), a mandioca surgiu em uma vasta região do neotrópico americano, que abrange o Brasil, Bolívia, Peru, Venezuela, Guiana e Suriname. Contudo, estudos apontam que a origem da mandioca está relacionada ao território onde hoje é o Brasil, mais especificamente em uma área que corresponde aos Estados de Tocantins, Goiás, Mato Grosso, Acre e Rondônia (Olsen e Schaal, 1999), conforme Figura 1. Porém, de acordo com Homma (2001), há registros do cultivo da mandioca que datam de cerca de 3.500 anos, feitos em cavernas por paleoíndios, onde atualmente é o município de Monte Alegre no Estado do Pará.



Fonte: Olsen e Schaal (1999)

**Figura 1 – Mapa indicando as possíveis localizações de origem da mandioca**

Com a chegada dos portugueses ao continente sul americano, a mandioca, fonte de alimento dos nativos, foi incorporada na alimentação e passou a ser cultivada nos arredores das vilas. Logo, a farinha de mandioca se tornou um importante alimento

nas viagens de navegação e nas expedições de exploração ao interior do continente, por ser fácil de transportar e por manter a qualidade do produto durante as viagens.

A partir do Brasil a mandioca foi disseminada no mundo pelos portugueses, inicialmente pela África e Ásia, e desde então, novas tecnologias de processamento de raízes de mandioca tem sido desenvolvidas e incorporadas, possibilitando produção em escala cada vez maiores (HOMMA, 2001). Os principais produtores mundiais de mandioca são a Nigéria, Tailândia, Brasil e Indonésia, o que denota a disseminação do cultivo da mandioca pelo mundo, com elevada produção em diferentes continentes.

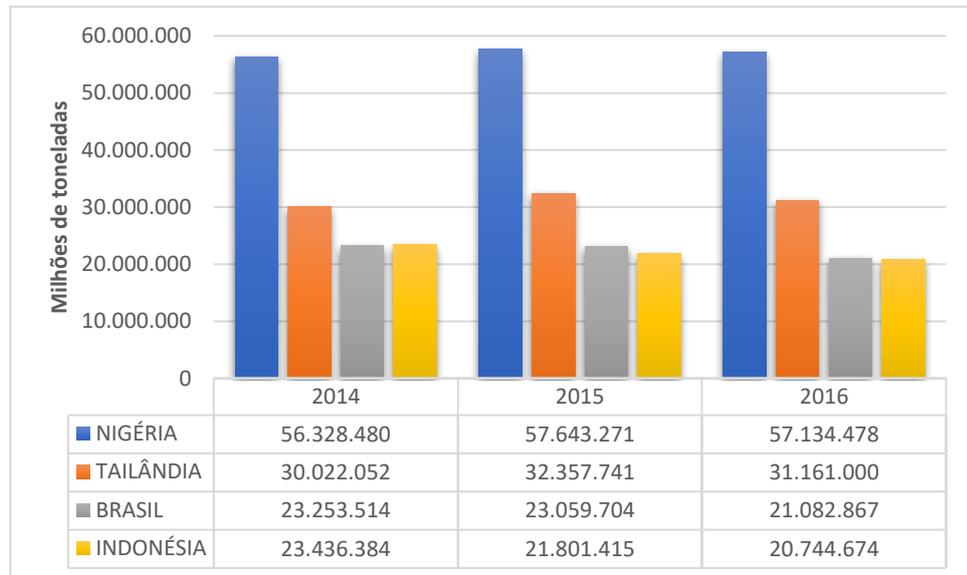
De acordo com dados da Faostat (2016), atualmente o Brasil ocupa a terceira posição no ranque mundial de produção de mandioca, sob a liderança da Nigéria com 57,13 milhões de toneladas, seguidos pela Tailândia com 31,16 milhões de toneladas, o Brasil com 21,08 milhões de toneladas e a Indonésia com 20,74 milhões de toneladas.

De acordo com Howeler, R. H., Lutaladio, N. B., Thomas, G (2013) e Oliveira et al. (2014), o Brasil chegou a produzir 30 milhões de toneladas de mandioca em 1970. No entanto, apesar do aumento da produtividade, motivada por investimentos em pesquisas na cultura da mandioca que resultaram em melhores técnicas de cultivo, a mandioca tem perdido mercado devido a mudanças do perfil de consumo da população humana que migrou do campo para as cidades onde incluiu novos alimentos à sua dieta. Também aumentou a concorrência para alimentação animal com a entrada de novos tipos de rações industrializadas.

Conforme dados do Faostat (2016) no período de 2014 a 2016, o Brasil apresentou pequenas variações na produção de mandioca, com 23,25 milhões de toneladas em 2014, 23,05 milhões de toneladas em 2015 e 21,08 milhões de toneladas em 2016, o que lhe garantiu a liderança na América Latina na produção. Porém, os dados disponíveis na Faostat (2016) são divergentes dos valores disponíveis em Brasil (2015a) referente a 2014 com 23,08 milhões de tonelada e em Brasil (2017a) referente a 2016 com 23,70 milhões de toneladas de raízes colhidas no Brasil.

A produção de raízes de mandioca na Nigéria tem como principal destinação a alimentação humana. E a produção brasileira tem destinação mista, 50,2% é destinada a alimentação animal, 33,9% na alimentação humana, 5,7% tem destinações diversas, 0,2% é exportado e 10% são de perdas (JÚNIOR e ALVES,

2013). A mandioca produzida na Tailândia e na Indonésia é destinada à indústria de fécula, de álcool e de *pellets* para exportação. Na Figura 2 consta a distribuição nas quatro primeiras posições do ranque mundial de países produtores de mandioca no período de 2014 a 2016.



Fonte: FAOSTAT (2016)

**Figura 2 - Produção de mandioca nos principais países produtores no período de 2014 a 2016**

A mandioca faz parte das cinco principais culturas responsáveis pela segurança alimentar mundial, em especial nos países em desenvolvimento, como principal fonte de carboidratos para 800 milhões de pessoas (VALLE e LORENZI, 2014).

O cultivo da mandioca ocorre nos países de clima tropical, e subtropical, onde fatores edafoclimáticos compreendem as faixas de latitudes de 30° N e 30° S, apresentando maior concentração de cultivo entre as latitudes 15° N e 15° S, pode ser cultivada a partir do nível do mar até 2.300m de altitude, preferindo altitudes de 600m a 800m. A temperatura ideal compreende a faixa de 20°C à 27°C de média anual. A faixa ideal de índice pluviométrico anual de 1.000mm à 1.500mm e insolação média anual de 12 horas (ALVARENGA et al., 2006; PASCOAL FILHO e SILVEIRA, 2012).

Os solos profundos e soltos, características encontradas em solos arenosos e de textura média, são ideais para o cultivo da mandioca por proporcionar o desenvolvimento das raízes, por evitar a retenção de água e facilitar a colheita. Os solos argilosos devem ser evitados por serem muito compactos, dificultando o crescimento das raízes e o arranquio durante a colheita, além de propensos a

encharcamento que causam o apodrecimento das raízes (ALVARENGA et al. 2006; e PASCOAL FILHO e SILVEIRA, 2012).

De acordo com Souza (2004), a mandioca é considerada um cultivar de tríplice aptidão devido ao potencial de aproveitamento total ou parcial na alimentação humana, na alimentação animal ou na indústria. Para Howeler, R. H et al. (2013), a mandioca é a cultura do século XXI por ser multiuso e atender a prioridades nutricionais em países em desenvolvimento, contribuindo com a economia global e colaborando com a mitigação da mudança climática. Pois, a versatilidade da mandioca, seja na forma de raízes ou derivados com seus subprodutos, é utilizada nas mais diversas indústrias tais como: alimentícia, papel, têxtil, farmacêutica, e biocombustíveis.

De acordo com Brasil (2012), a mandioca é cultivada em todo o território brasileiro e suas raízes tem forte presença na culinária nacional e na produção de farinhas e fécula empregadas na elaboração de pratos tradicionais. Para alimentação animal todas as partes da mandioca podem ser aproveitadas da raiz às folhas.

De acordo com Brasil (2017a), os oito principais Estados produtores de mandioca representam 76,36% da produção nacional, sob a liderança do Pará com 25,46%, Paraná com 15,8%, Bahia com 7,89%, Amazonas com 7,03, Maranhão com 5,53%, São Paulo com 5,14%, Acre com 4,84 e Rio Grande do Sul com 4,67%, conforme Tabela 1. As demais Unidades da Federação representam 23,64% da produção nacional. A produtividade por hectare é superior nos Estados que utilizam maior nível tecnológico no cultivo, diferindo da ordem da classificação por produção de raízes de mandioca. Neste cenário, o Acre lidera em produtividade por hectare, seguido por Paraná, São Paulo, Rio Grande do Sul, Pará, Bahia, Amazonas e Maranhão seguido pela média dos demais Estados da Federação (BRASIL, 2017a). A produção de mandioca nos Estados do Sul e do Sudeste tem como principal finalidade suprir a demanda de matéria prima para as fecularias. Nos Estados das regiões Norte e Nordeste, a produção de mandioca destina-se ao consumo de mesa ou como matéria prima utilizada em casas de farinhas de produção familiar (OLIVEIRA et al., 2014).

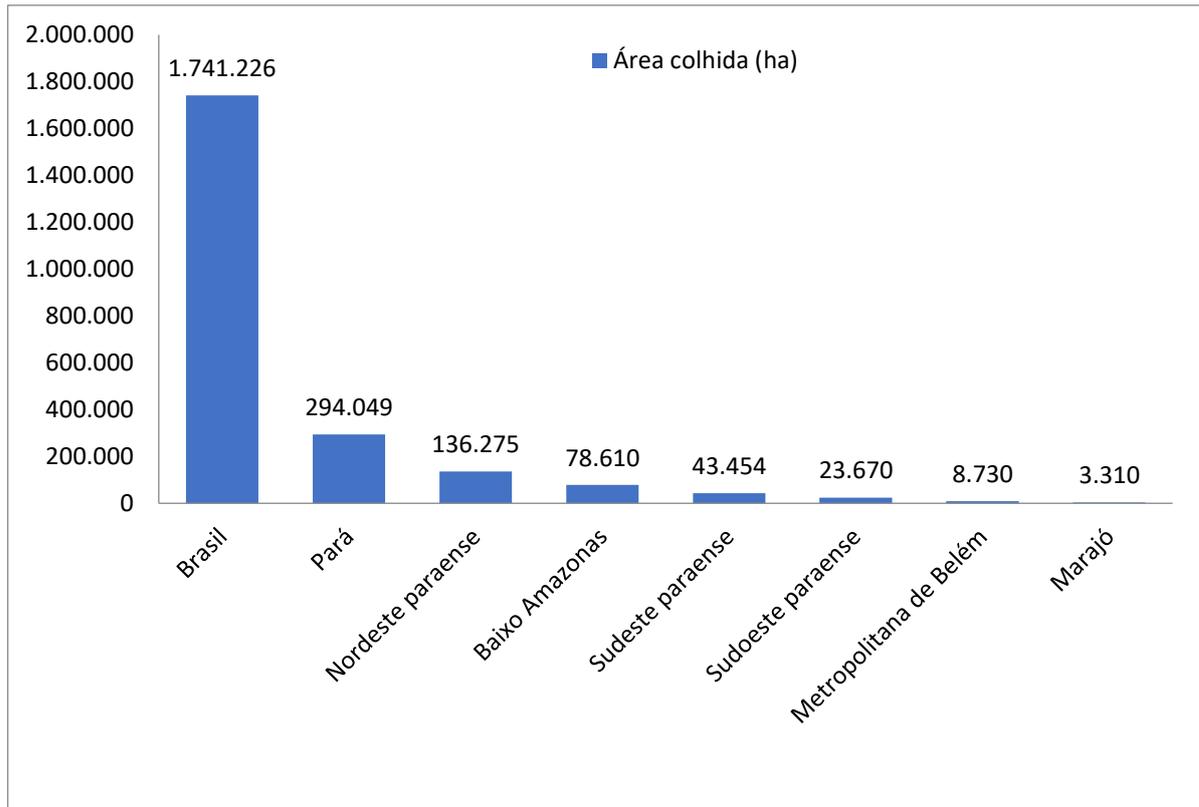
**Tabela 1 - Principais Estados produtores de mandioca do Brasil e seu percentual de contribuição no cenário nacional**

	<b>Produção (t)</b>	<b>Rendimento (kg/ha)</b>	<b>Nacional (%)</b>
<b>Pará</b>	6.034.713	17.221	25,46
<b>Paraná</b>	3.744.351	28.107	15,80
<b>Bahia</b>	1.870.000	11.000	7,89
<b>Amazonas</b>	1.665.434	9.622	7,03
<b>Maranhão</b>	1.311.814	8.333	5,53
<b>São Paulo</b>	1.219.610	24.842	5,14
<b>Acre</b>	1.147.596	28.964	4,84
<b>Rio Grande do Sul</b>	1.108.135	17.689	4,67
<b>Demais Ufs</b>	5.603.960		23,64

Fonte: Brasil (2017a)

De acordo com Oliveira et al. (2014), no Pará a distribuição geográfica da mandioca nas seis microrregiões é disforme, verificando-se maiores concentrações nos locais próximos às cidades e ao longo dos rios, onde a densidade populacional é maior, o que facilita a comercialização da mandioca de mesa e da farinha.

A região do Baixo Amazonas apresenta a segunda maior área colhida em hectares de mandioca no Pará, atrás da região Nordeste Paraense, seguida das demais microrregiões (BRASIL, 2012), conforme Figura 3. No entanto, por ser uma região isolada, distante dos mercados consumidores, o potencial do processo de modernização da produção de mandioca na região Oeste do Pará está defasado em relação à região Nordeste do Estado (VILPOUX, 2008).



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA *et al* (2014)

**Figura 3 – Produção de mandioca em área colhida (ha), no Brasil, no Pará e nas mesorregiões Paraenses**

De acordo com Brasil (2014), o município de Santarém/PA, localizado na região do Baixo Amazonas, ocupa a terceira posição no ranque nacional de produção de mandioca com 21.770 hectares de área colhida, com produção de 261.240 toneladas e produtividade média de 12 toneladas por hectare que correspondem a 1,12% da produção brasileira. Porém, a produtividade é considerada baixa, ao comparar a produtividade de 33.129t/ha obtida no município de Sena Madureira - AC, 33.891t/ha em Assis Chateaubriand - PR, 28.638t/ha em Cruzeiro do Sul – AC, e nos municípios paraenses de Alenquer e Santa Maria do Pará com produtividade de 20.000t/ha. Embora, tais produtividades estejam distantes do resultado obtido de 90t/ha, conforme Ciat (2001). Dentre os vinte municípios brasileiros maiores produtores de mandioca, 17 estão na Amazônia Legal, destes 13 são paraenses, conforme Tabela 2 (BRASIL, 2014).

**Tabela 2 - Os vinte municípios maiores produtores de mandioca do Brasil**

<b>Municípios</b>	<b>Área colhida (ha)</b>	<b>Quant. Produzida (t)</b>	<b>Produtividade (Kg/ha)</b>
Aracá - PA	25.200	379.000	15.040
Araruna - PR	8.000	264.000	33.000
Santarém - PA	21.770	261.240	12.000
Juriti - PA	30.000	240.000	8.000
Sena Madureira - AC	6.952	230.315	33.129
Manacapuru - AM	17.314	207.765	12.000
Bragança - PA	11.900	183.260	15.400
Alenquer - PA	9.000	180.000	20.000
Oriximiná - PA	15.000	180.000	12.000
Lagarto - SE	8.100	153.900	19.000
Belterra - PA	8.000	144.000	18.000
Itaituba - PA	8.000	144.000	18.000
Santa Maria do Pará - PA	7.000	140.000	20.000
Cruzeiro do Sul - AC	4.756	136.202	28.638
Ipixuna do Pará - PA	9.000	135.000	15.000
Assis Chateaubriand - PR	4.040	132.880	32.891
Mojú dos Campos - PA	9.330	124.740	13.370
Tefé - AM	10.000	120.000	12.000
Óbidos - PA	10.000	120.000	12.000
Tomé-Açu - PA	10.400	120.000	11.538

Fonte: Brasil (2017a)

A diferença de produtividade é atribuída ao nível tecnológico, com base no corte e queima, utilizado na produção da mandioca, aliado ao cultivo em solos de pouca fertilidade que também influenciam na quantidade de amido presente nas raízes, bem como o rendimento em farinha após o processamento.

A fase de processamento da mandioca tem início com a colheita das raízes que ocorre a partir do 8º ao 24º mês, dependendo da destinação das raízes e/ou necessidade do produtor. A colheita pode ser realizada mediante arranquio manual ou parcialmente mecanizada, em que parte do processo é realizado com a utilização de máquinas e implementos agrícolas, como a poda da parte aérea da planta e a escarificação do solo. Porém o arranquio, o desmembramento das raízes da cepa e o acondicionamento das raízes para o transporte são realizados manualmente.

Após a colheita, as raízes de mandioca são transportadas até o local de processamento de acordo com a capacidade operacional do produtor, ou seja, desde veículos de tração animal à caminhões basculantes adaptados são utilizados para esta finalidade.

Independentemente do modo de colheita e de transporte as raízes de mandioca, após o arranquio, devem ser processadas com a maior brevidade possível, não ultrapassando 36 horas sob pena de perda de qualidade devido a ocorrência de processos fermentativos (AMARAL, JAIGOBIND e JAISINGH, 2007).

O beneficiamento das raízes de mandioca para produção de farinha amarela consiste no descascamento/lavagem e maceração das raízes, no sistema tradicional. No entanto, a farinha amarela produzida no sistema industrial dispensa o processo de maceração. Em seguida, ocorre a ralação/moagem das raízes, a prensagem da massa, a desfragmentação/peneiramento da massa enxuta, a grolagem e torrefação da farinha. Então, a farinha amarela é acondicionada conforme a destinação do produto, com peso de 500 g ou 1Kg em sacos plásticos ou com 25 Kg ou 50 Kg em sacos de rafia, tais procedimentos se aplicam tanto para a farinha produzida no sistema tradicional quanto no sistema industrial.

No sistema tradicional, por ser de pequena escala, em geral não dispõem de locais apropriados para estocagem, por produzirem sob demanda. Já no sistema industrial a farinha é estocada em fardos ou em sacos de rafia empilhados sobre paletes de madeira em galpões construídos para atender essa finalidade, permitindo a mobilidade de empilhadeira e acesso de caminhões.

## 2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: REQUISITOS E NORMAS

O surgimento da ACV ocorreu nos Estados Unidos no final da década de 1960 e início da década de 1970, paralelamente ideias similares surgiam na Europa (GUINÉE, 2001). Período em que surgiu uma mudança de postura da sociedade, preocupada com os efeitos nocivos ao meio ambiente, decorrentes do processo de industrialização, em que o consumo de produtos manufaturados e o fornecimento de serviços afetavam de maneira antagônica o suprimento de recursos naturais e a qualidade do meio ambiente (SEO e KULAY, 2006).

Em 1969, a *Coca-Cola Company*, concebeu um estudo, por meio do *Midwest Research Institute* (RMI) que ficou conhecido com *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA) com o objetivo de quantificar a energia, os materiais e as consequências ambientais do ciclo de vida de uma embalagem, a partir da extração de matéria-prima até o descarte. Na avaliação foram comparadas uma série de questões, incluindo consequências ambientais pertinentes a produção e utilização das embalagens, embora não tenha considerado o consumo de energia como problema ecológico (GUINÉE, 2001).

A ACV continuou a se desenvolver lentamente, mas no final da década de 1980 uma série de estudos ganharam notoriedade ao competirem para demonstrar superioridade de seus respectivos produtos sobre a concorrência, motivando evoluções importantes no desenvolvimento da ACV, tais como: condições de fronteira, fonte de dados e unidade funcional.

A fim de mitigar preocupações por parte da indústria, do Governo e da população a ISO (*International Organization for Standardization*)<sup>2</sup>, criou em 1993, o Comitê Técnico conhecido como (TC-207) para desenvolver uma ferramenta de gestão ambiental, incluindo a ACV aplicável a nível mundial (FAVA, 2011).

De acordo com Andrews et al (2009), durante a década de 1980 e início da década de 1990 a Sociedade de Toxicologia Ambiental e Química (SETAC) motivada pela diversidade de produtos e métodos de ACV, elaborou documentos contendo as melhores práticas de ACV que foram publicados em 1993. Posteriormente, a ISO

---

<sup>2</sup> A ISO é uma organização privada mundial, composta por organismos nacionais de países desenvolvidos ou em desenvolvimento, com a finalidade de padronizar uma ampla gama de processos, produtos e serviços.

publicou quatro normas (ISO 14040, ISO 14041, ISO 14042 e ISO 14043) para gestão ambiental a fim de consolidar os procedimentos e métodos da ACV. Em 2006, as quatro normas foram substituídas pelas normas atuais ABNT NBR ISO 14040 (2009) e ABNT NBR ISO 14044 (2014) que contemplam as quatro fases da ACV, a saber: a definição de objetivo e escopo, a fase de análise de inventário do ciclo de vida, a fase de avaliação de impacto do ciclo de vida e a fase de interpretação do ciclo de vida.

De acordo com Guinée (2001) a ACV é o núcleo da gestão ambiental, mas ao longo de sua história passou por diferentes nomes como REPA (*Resource and Environmental Profile*) *Energy Analysis* *Product Ecobalance*, e contou com o apoio de instituições, como o SETAC, para o desenvolvimento da ACV.

O SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) foi o organismo internacional pioneiro a atuar no desenvolvimento científico da ACV, criando uma estrutura de “guarda-chuva”, com raízes na academia, na indústria e no Governo. Capaz de desenvolver uma plataforma confiável para a evolução científica da ACV, objetivando o desenvolvimento de pesquisas em áreas específicas e na aplicação dos resultados no gerenciamento ambiental. Atualmente, o SETAC figura como um dos principais fóruns de discussão referente à metodologia ACV em âmbito mundial.

A UNEP (*United Nations Environmental Program*) é uma organização internacional voltada para a difusão da ACV, principalmente em países em desenvolvimento. A SETAC e UNEP trabalham em conjunto através do programa *Life Cycle Initiative* com o objetivo de desenvolver e difundir ferramentas práticas para identificar oportunidades, riscos e compensações, relacionados aos produtos e serviços no decorrer das etapas do ciclo de vida (ANDREWS et al., 2009).

Para Vigon et al (1993); Azapagic (1999) e Azapagic e Clift (1999), a ACV é uma metodologia utilizada para identificar, quantificar e avaliar impactos ambientais de um produto, processo ou atividade, englobando a cadeia de produção desde a matéria prima até a disposição final, ou seja, em uma abordagem do “berço ao túmulo”. Também é possível restringir o escopo da ACV, mediante a delimitação de fronteira, em abordagens menores que podem ser do “berço ao berço”, do “berço ao portão da fábrica” e do portão da “fábrica ao portão da fábrica”.

Para Azapagic e Clift (1999), a ACV é um método empregado para determinação de custos ambientais de um produto, processo ou serviço. Durante as fases do processo é possível identificar e quantificar o uso de energia, materiais e descarga de resíduos permitindo avaliar os impactos causados pelos resíduos ao meio ambiente,

bem como avaliar oportunidades de melhorias ambientais no decorrer do ciclo de vida do produto, processo ou serviço.

A metodologia continuou em desenvolvimento durante as décadas seguintes atendendo as necessidades de empresas e auxiliando decisões políticas referentes a impactos ambientais.

Para US EPA (2006), a ACV pode ser definida como uma compilação das entradas e saídas e avaliações dos potenciais impactos ambientais decorrentes do sistema ou produto ao longo do seu ciclo de vida, contemplando todas as fases. Desde a extração da matéria prima, produção de materiais, partes do produto ou o produto em si até o gerenciamento do descarte do produto, que pode ser por meio de reutilização, reciclagem ou disposição final.

A utilização de ACV, na abordagem do berço ao túmulo, evita problemas de deslocamentos, contribuindo para que o *eco-designer* não resolva um problema ambiental apenas movendo-o para outra etapa do ciclo de vida do produto fora dos limites da fronteira. Como pode ser exemplificado no processo de fabricação de automóveis em que a substituição do aço pelo alumínio reduz o consumo de combustível. No entanto, o processo de produção do alumínio requer maior consumo de energia do que na produção do aço, de modo que somente após uma avaliação da ACV pode ser determinado se realmente a substituição do aço pelo alumínio na produção do carro é mais ecológica (US EPA, 2006).

Para Andrews et al (2009), a Avaliação do Ciclo de Vida traz vantagens ao considerar produtos e serviços em uma perspectiva sistêmica de desenvolvimento sustentável, com o intuito de aumentar o conhecimento sobre a óptica do desenvolvimento sustentável baseado nos 3Ps: Pessoas, Planeta e Lucro, e Prosperidade, em uma abordagem do berço ao túmulo, proporcionando informações confiáveis para subsidiar a tomada de decisão.

Com a evolução da ACV ao longo do tempo seu escopo foi ampliado para atender novas demandas, tais como consumo de energia, produção de resíduos sólidos, emissões de poluentes atmosféricos, contaminação da água, dentre outros.

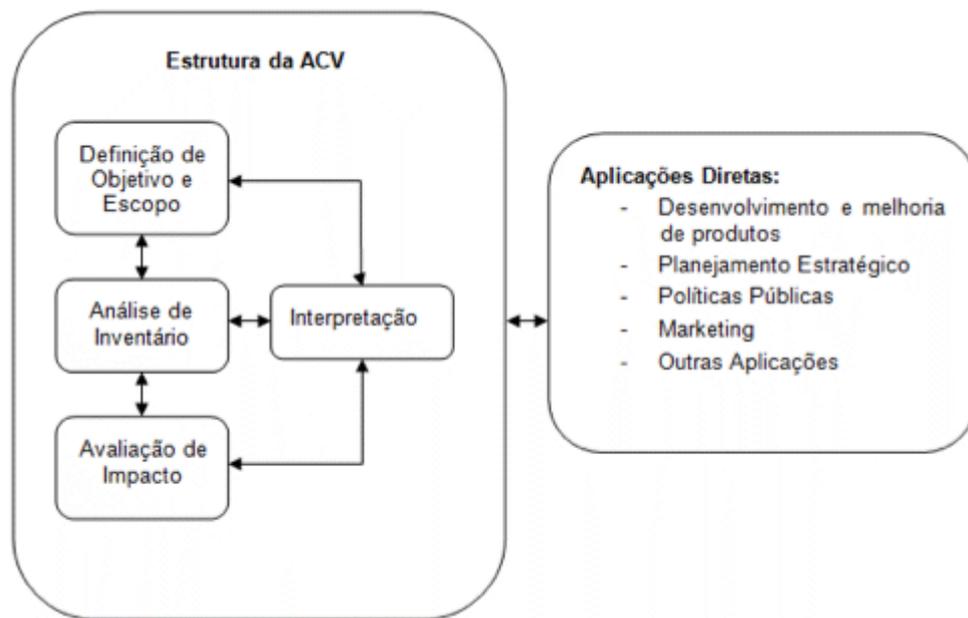
## 2.1 A metodologia da ACV

A abordagem da AVC é um instrumento científico qualitativo e quantitativo que tem como objetivo o levantamento, a avaliação e a interpretação dos aspectos dos potenciais impactos ambientais relacionados aos processos, produtos ou serviços.

A ACV pode ser aplicada no aprimoramento do processo produtivo, na quantificação e comparação do desempenho ambiental de produtos levando em conta a abordagem holística, no auxílio à tomada de decisões, no planejamento estratégico, na definição de prioridades, no subsídio de informações para elaboração de políticas públicas, no desenvolvimento de projetos e processos, além de fornecer informações sobre a utilização de recursos no consumo de energia e suas emissões e subsidiar estratégias de *marketing* com agregação de valor ao produto com a rotulagem ambiental (BARBOSA JÚNIOR et al., 2007).

Nesta pesquisa foi adotada a metodologia da avaliação do ciclo de vida, desenvolvida na década de 1990 pela SETAC que posteriormente foi adotada pela ISO e atualmente é um método reconhecido e aceito pela comunidade científica ABNT NBR ISO 14040 (2009) e ABNT NBR ISO 14044 (2014).

A metodologia ACV descrita nas normas ABNT NBR ISO 14040 (2009) e ABNT NBR ISO 14044 (2014) possui quatro fases interativas que descrevem o que deve conter em uma ACV, incluindo os itens obrigatórios e opcionais, conforme Figura 4, a saber:



Fonte: NBR ISO 14040 (2009)

**Figura 4 - Estrutura de avaliação de ciclo de vida**

Definição de objetivo e escopo da ACV, inclui a fronteira do sistema e o nível de detalhamento, depende do objeto e do uso pretendido para o estudo. A profundidade e a abrangência da ACV podem variar consideravelmente, dependendo do objetivo do estudo em particular.

Análise de inventário do ciclo de vida (ICV) é a segunda fase de uma ACV. Trata-se de um inventário dos dados de entrada/saída associados ao sistema em estudo. Essa fase envolve a coleta dos dados necessários para o alcance dos objetivos do estudo em questão.

Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) é a terceira fase da ACV. O objetivo da AICV é prover informações adicionais para ajudar na avaliação dos resultados do ICV de um sistema de produto, visando ao melhor entendimento de sua significância ambiental.

Interpretação do ciclo de vida é a fase final do procedimento de ACV, na qual os resultados de um ICV e/ou de uma AICV, ou de ambos, são sumarizados e discutidos com base para conclusões, recomendações e tomada de decisão de acordo com a definição de objetivo e escopo (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

### 2.1.1 Definição de objetivos e escopo

O primeiro passo para a realização de um estudo ACV consiste na definição dos objetivos do estudo e seu escopo, em que é definida a proposta do estudo, o produto esperado, as condições de fronteira, bem como as demais suposições que devem ser claramente definidas (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

O objetivo de um estudo da ACV deve definir de forma clara e concisa a aplicação pretendida, as motivações para conduzir o estudo e o público-alvo. Para quem se pretende comunicar os resultados do estudo (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

A definição do escopo de estudo de uma ACV deve considerar e descrever o sistema de produto, a função do produto ou serviço, a unidade funcional, o fluxo de referência, as fronteiras do sistema de produto, os procedimentos de alocação e os requisitos de qualidade de dados. Por ser de caráter interativo o escopo pode sofrer alterações, motivadas por informações adicionais no decorrer do estudo (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

O escopo de uma ACV deve ser bem definido de modo a assegurar o conteúdo mínimo considerando três dimensões, conforme Figura 5: extensão, largura e profundidade indicando o ponto inicial e de término, quanto e quais subsistemas deve incluir e o nível de detalhe da ACV (CHEHEBE, 1997).



Fonte: CHEHEBE, 1997.

Figura 5 - Dimensões da ACV

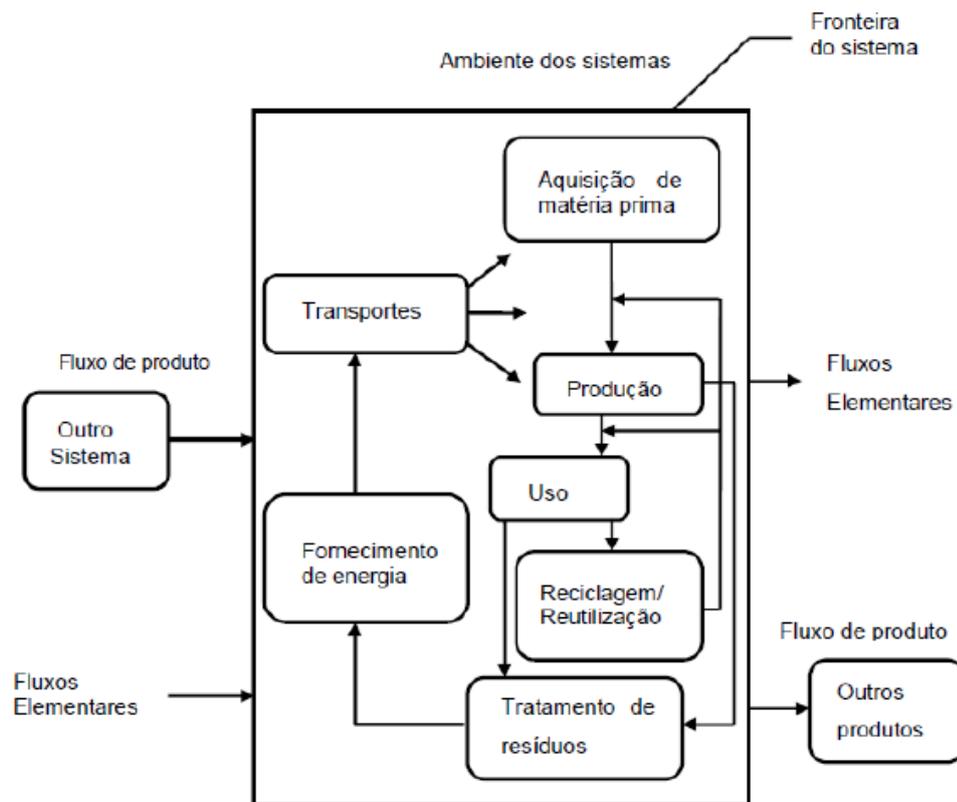
A ABNT NBR ISO 14040 (2009), estabelece que o escopo mínimo da ACV deve conter as três dimensões, isto é, onde começar e parar o estudo (extensão), quantos e quais subsistemas deverá conter (largura) e o grau de detalhamento do estudo (profundidade).

### 2.1.2 Sistema de produto

De acordo com a ABNT NBR ISO 14040 (2009), é conveniente que o sistema de produto seja descrito usando fluxogramas para mostrar os processos elementares com suas respectivas inter-relações que realizam uma ou mais funções definidas.

Convém definir, inicialmente, cada processo elementar em termos de entrada e saída de matéria-prima ou produtos intermediários, a natureza das transformações e as operações decorrente do processo elementar, em termos do destino dos produtos intermediários ou finais.

Para avaliar um sistema produto a fronteira do sistema deve estar bem especificada estabelecendo o limite entre o meio ambiente e o sistema de produto, conforme Figura 6.



Fonte: ABNT NBR ISO 14040 (2009)

**Figura 6 - Sistema de produto para avaliação de ICV**

Os processos elementares são interligados por meio de fluxos de produtos intermediários e/ou de resíduos destinado a tratamento, bem como a outros sistemas de produto por fluxos de produtos intermediários e ao meio ambiente por meio de fluxos elementares. Estes por sua vez, incluem o uso de recursos e as emissões para o ar, as emissões para a água e as emissões para o solo associados ao sistema.

### **2.1.3 Função do produto**

Na função produto é que se define a especificação do produto, incluindo características de desempenho. A seleção da função do produto é determinada pelo objetivo e escopo da ACV, de modo que, em estudos comparativos, os produtos avaliados devem exercer a mesma função (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

### **2.1.4 Unidade funcional**

De acordo com a ABNT NBR ISO 14040 (2009), na unidade funcional delimita-se uma unidade de referência com a finalidade de quantificar a função produto pré-definida, que permita normalizar, matematicamente, os dados de entrada e saída. Portanto, a demarcação da unidade funcional deve ser clara e mensurável.

Após decidir a unidade funcional é preciso descrever os fluxos de referências necessários nas comparações entre sistemas, com base nas respectivas funções, quantificadas nas mesmas unidades funcionais na forma de seus fluxos de referência (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

### **2.1.5 Fronteira do sistema de produto**

A fronteira do sistema delimita quais processos elementares farão parte da ACV, de modo que os limites da fronteira sejam coerentes com o objetivo do estudo, de forma que os critérios utilizados para determiná-la sejam identificados e explicitados.

Devem ser tomadas decisões com relação a quais processos elementares devem ser incluídos no estudo e o nível de detalhamento com que esses processos elementares devem ser estudados.

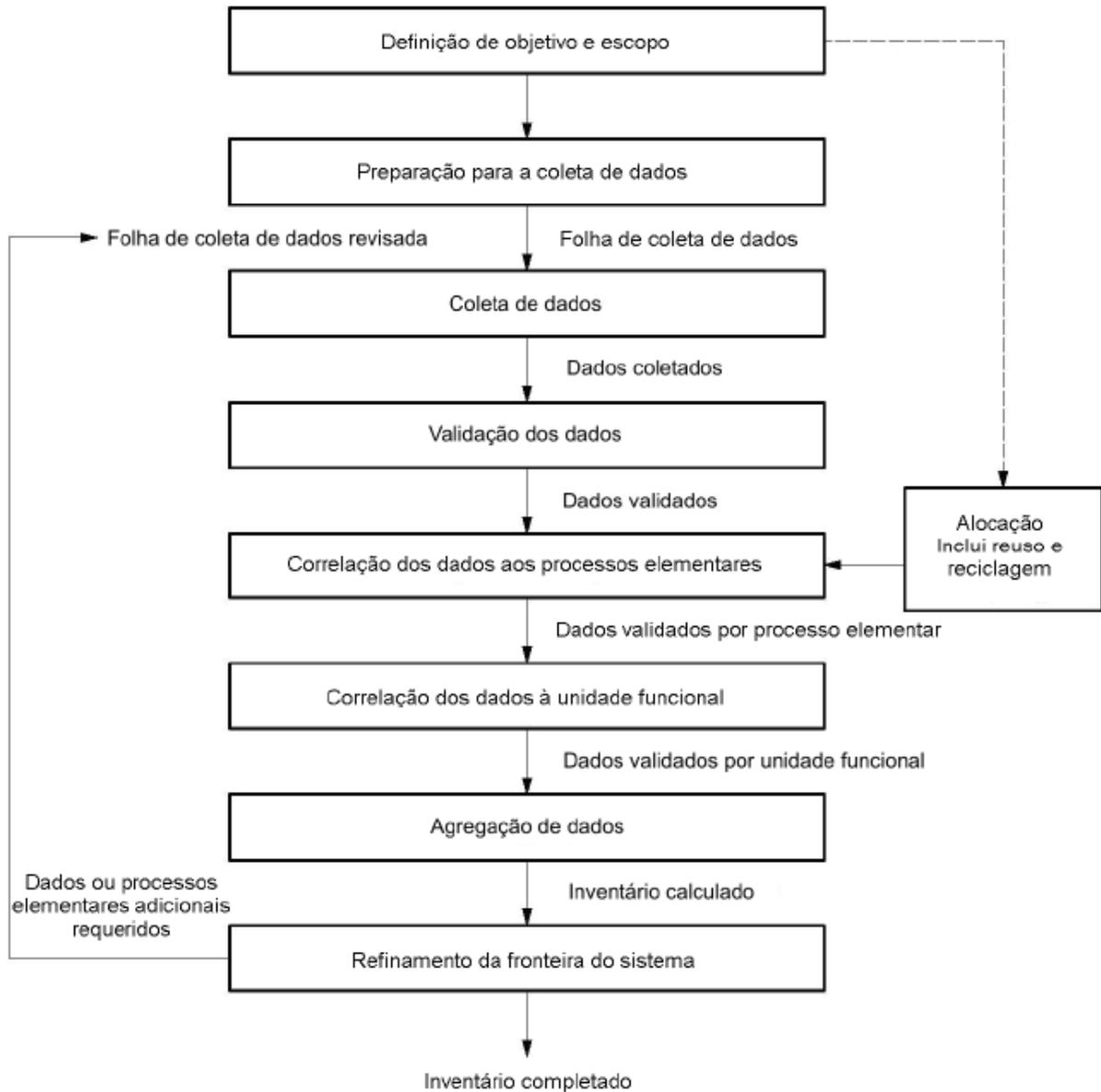
A exclusão de estágios do ciclo de vida, processos, entradas ou saídas só é permitida se isso não provocar uma mudança significativa nas conclusões gerais do estudo. Quaisquer decisões de se omitirem estágios do ciclo de vida, processos, entradas ou saídas devem ser registradas de forma clara e as razões e implicações de sua omissão devem ser explicadas (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

O meio ambiente envolve e interage com a fronteira de um sistema de produto abrangendo entradas de recursos naturais, energéticos e materiais. Assim, é possível utilizar uma variedade de critérios de corte na prática da ACV a fim de determinar quais entradas serão incluídas, tais como energia, massa e importância ambiental.

Do mesmo modo, se pode utilizar critérios de corte na identificação de saídas a serem rastreadas no meio ambiente ao incluir processos finais de tratamento de resíduos (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

## **2.2 Análise de inventário**

A análise de inventário consiste na coleta de dados quantitativos e qualitativos vinculado a cada processo dentro da fronteira do sistema (matéria-prima, energia, transporte, emissões para o ar, efluentes, resíduos, sólidos, etc.) decorrente do ciclo de vida de um produto, processo ou serviço. A coleta dos dados é realizada nos fluxos de entrada e saída, Figura 7 (ABNT NBR ISO 14040, 2009).



Fonte: ABNT NBR ISO 14044 (2014).

**Figura 7 – Estrutura simplificada para análise de inventário**

Na ABNT NBR ISO 14040 (2009), consta uma estrutura sequencial simplificada para análise de inventário, composta por definição de objetivo e escopo, preparação para a coleta de dados, coleta de dados, validação dos dados, correlação dos dados aos processos elementares, correlação dos dados à unidade funcional, agregação de dados e refinamento da fronteira do sistema. Além disso, a definição de objetivo e escopo poderá conter alocação, com a inclusão de reuso e reciclagem.

### **2.2.1 Coleta de dados**

Os dados qualitativos e quantitativos coletados, que compõem o inventário são compostos majoritariamente por dados primários coletados por meio de pesquisas de campo, com medições, observação dos fluxos de processos e entrevistas. Algumas lacunas as quais não foi possível obter dados primários, utilizou-se dados secundários encontrados na literatura especializada.

Dados provenientes de fontes secundárias estão devidamente referenciados, bem como informações adicionais detalhadas sobre os respectivos indicadores de qualidade (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

### **2.2.2 Procedimentos de cálculo**

Após a coleta dos dados é necessário documentar explicitamente os procedimentos de cálculo necessários para gerar os resultados do inventário. É importante utilizar os mesmos procedimentos de cálculo ao longo do estudo (ABNT NBR ISO, 14040, 2009).

Os fluxos elementares associados à produção devem ser determinados de modo a serem utilizados, quando possível, na estrutura de produção com o intuito de refletir os diversos tipos de recursos consumidos (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

### **2.2.3 Alocação**

Ocorre quando o ciclo de vida do produto, material ou serviço afeta outro ciclo de vida externo ao sistema em análise, necessitando aplicar regras de alocação, distribuindo a cada função do processo a sua quota-parte, de modo que este seja responsabilizado pelas cargas ambientais decorrentes do processo.

De acordo com Azapagic e Clift (1999a), alocação é um problema metodológico que persiste na ACV, referente ao problema de associar cargas ambientais, como esgotamento de recursos, emissões para o ar, para a água e resíduos sólidos, a cada entrada ou saída funcional de um sistema multifuncional.

Para ABNT NBR ISO 14040 (2009), as atribuições de entradas e saídas devem ser alocadas a diferentes produtos, de forma clara, conforme critérios pré-

estabelecidos e devem ser documentados e explicitados em conjunto com os procedimentos de alocação.

Em ABNT NBR ISO 14040 (2009), quando múltiplas alternativas de procedimentos de alocação parecem aplicáveis, faz-se necessária a realização de uma análise de sensibilidade a fim de expor as consequências da troca da abordagem selecionada. O estudo deve identificar os processos compartilhados com outros sistemas de produto e tratá-los conforme o procedimento descrito na norma (ABNT NBR ISO 14040, 2009):

**Passo 1:** Convém que a alocação seja evitada, sempre que possível, por meio de:

1) divisão dos processos elementares a serem alocados em dois ou mais subprocessos e coleta dos dados de entrada e saída relacionados a esses subprocessos;

2) expansão do sistema de produto de modo a incluir as funções adicionais relacionadas aos coprodutos, levando em consideração os requisitos.

**Passo 2:** Quando a alocação não puder ser evitada, convém que as entradas e saídas do sistema sejam subdivididas entre seus diferentes produtos ou funções, de maneira a refletir as relações físicas subjacentes entre eles; isto é, convém que seja refletida a maneira pela qual as entradas e saídas são alteradas por mudanças quantitativas nos produtos ou funções providas pelo sistema.

**Passo 3:** Quando uma relação física por si só não puder ser estabelecida ou usada como base para a alocação, convém que as entradas sejam alocadas entre os produtos e funções de uma maneira que reflita outras relações entre eles (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

Para Brander et al (2008), é crucial para o resultado da ACV definir o método a ser adotado na modelagem do sistema, o qual pode ser atribucional ou consequencial. A ACV atribucional caracteriza-se por fornecer informações acerca dos impactos oriundos de processos usados para produzir, consumir e eliminar um determinado produto sem considerar as implicações indiretas decorrentes na produção do produto. Ou seja, fornece informações sobre a unidade média do produto, o que favorece a aplicação deste método na execução de ACVs comparativas considerando os impactos diretos dos produtos, ideal para identificar oportunidades para minimizar tais impactos ao longo da cadeia produtiva do produto durante o seu ciclo de vida. A ACV consequencial fornece informações acerca das consequências ocasionadas por mudanças a nível de produção, consumo e disposição, do produto, considerando as consequências dentro e fora do ciclo de vida do produto (BRANDER et al., 2008)

Apesar do sistema utilizar os mesmos estágios do ciclo de vida, as diferenças são evidenciadas na definição da fronteira do sistema. No método da ACV atribucional

são considerados apenas os processos presentes em cada etapa do ciclo de vida, sem levar em conta seus efeitos indiretos. Enquanto, na ACV consequential são consideradas todas as mudanças nas emissões decorrentes de efeitos diretos ou indiretos provenientes de mudanças no nível de produção (BRANDER et al., 2008).

## 2.3 Avaliação de Impacto Ambiental

A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) fornece indicadores relacionados às contribuições potenciais das extrações provenientes de recursos e resíduos e/ou emissões relativas a um inventário para um número de potenciais impactos (REBITZER et al., 2004).

Nesta fase, os encargos ambientais provenientes de materiais e fluxos de energia são comparados visando uma melhor compreensão dos potenciais impactos ambientais. A AICV difere das demais técnicas como avaliação de desempenho ambiental, avaliação de impacto ambiental e a avaliação de risco, devido sua abordagem basear-se na unidade funcional. Mas, a AICV utiliza dados coletados com estas técnicas (ABNT NBR ISO 14040, 2009). A AICV é composta por elementos obrigatórios: a) seleção das categorias de impacto, b) classificação e c) caracterização, e de elementos opcionais: a normalização, o agrupamento, a ponderação e análise adicional da qualidade dos dados.

a) **Seleção das categorias de impactos** – deve ser ampla, de modo a abranger as questões ambientais importantes, com base no conhecimento científico dos processos e mecanismos ambientais que compõe o sistema. As categorias de impacto e indicadores de categoria devem conter nomes exatos e descritivos.

A seleção das categorias de impacto, indicadores de categoria e modelo de caracterização quando selecionado em uma ACV deve referenciar a informação e fontes utilizadas, e estar em conformidade com as preocupações ambientais identificadas na fase de objetivo e escopo do trabalho.

De acordo com Chehebe (1997); ABNT NBR ISO 14044 (2009); Hischer et al. (2010); Acero; Rodríguez e Citroth (2015) existem categorias de impacto ambiental que geralmente são utilizadas em estudos de ACV, conforme descrito a seguir:

- Depleção de recursos naturais: resultante da diminuição da quantidade de recursos naturais, renováveis e não renováveis decorrentes do consumo pelos seres humanos;
- Acidificação: categoria de impacto resultante do aumento do teor de acidez no ar, na água ou no solo, provocado pela disposição de rejeitos ácidos;
- Eutrofização (ou nutrificação): resultante do aumento da concentração de nutrientes na água e no solo provocado pela deposição de rejeitos e ocasionando, conseqüentemente, potencial aumento do número de espécies no ecossistema;
- Aquecimento Global: provocado pelo acúmulo de determinados gases na atmosfera que retêm parte da radiação infravermelha emitida pela terra, criando o efeito estufa, provocando o aumento das temperaturas médias globais;
- Depleção da camada de ozônio estratosférico: resulta da concentração de determinados gases na camada da ozonfera decorrentes de emissões atmosféricas provocadas por ações humanas, provocando a diminuição da capacidade de filtração da radiação ultravioleta, proveniente do sol;
- Toxicidade humana: Categoria de impacto ambiental resultante do aumento da concentração de agentes tóxicos provocado pela disposição de rejeitos, ocasionando, conseqüentemente, potenciais danos à saúde humana.
- Toxicidade aquática: decorrente do descarte de rejeitos tóxicos no meio ambiente, que em geral são consideradas em separado a toxicidade humana ou como ecotoxicidade, que pode ser aquática e terrestre;
- Formação fotoquímica de ozônio: devido a reações químicas nas camadas baixas da atmosfera, na presença da radiação ultravioleta solar;
- Uso da Terra: expressa a fração ou potencial de desaparecimento de espécies por  $m^2$  ou  $m^2a$ . Para finalmente calcular os impactos do Uso da Terra nos estudos de ACV, esses fatores de caracterização devem ser multiplicados pela ocupação da terra;
- Demanda total de energia acumulada: é uma forma de triagem para impactos ambientais, pois permite investigar o uso da energia ao longo do ciclo de vida do produto ou serviço, de forma direta ou indireta

b) **Classificação** – é a fase inicial de uma AICV em que as entradas e saídas inventariadas são classificadas em diversas categorias de impactos ambientais, que podem ser locais ou globais (ROSSELOT e ALLEN, 2000).

c) **Caracterização** – está relacionada ao cálculo dos resultados dos indicadores do AICV em unidades comuns de modo a agregar os resultados convertidos dentro da mesma categoria de impacto (ABNT NBR ISO 14040, 2009). Em geral, são atribuídos pesos relativos ou potências de acordo com os tipos de emissões, uso de energia e utilização de materiais buscando refletir a importância da contribuição do elemento de inventário para o impacto ambiental (ROSSELOT e ALLEN, 2000).

d) **Normalização** – é um cálculo utilizado para determinar a importância dos indicadores de categoria, comparando-o com alguma informação de referência que pode ser usada para verificar inconsistências, fornecer e comunicar esclarecimentos sobre a significância relativa dos resultados dos indicadores e preparar procedimentos adicionais (ABNT NBR ISO 14044, 2014).

e) **Agrupamento** – torna possível quando existe correlação das categorias de impacto em um ou mais conjuntos, de acordo com os critérios delimitados no objetivo e escopo, e abranger a agregação e/ou hierarquização (ABNT NBR ISO 14044, 2014).

f) **Ponderação** – os resultados de indicadores numéricos, geralmente normalizados, de diferentes categorias de impactos ou danos. São multiplicados individualmente por um fator de conversão específico, de modo a representar, relativamente, a importância das diferentes categorias de impacto.

## 2.4 Interpretação do ciclo de vida

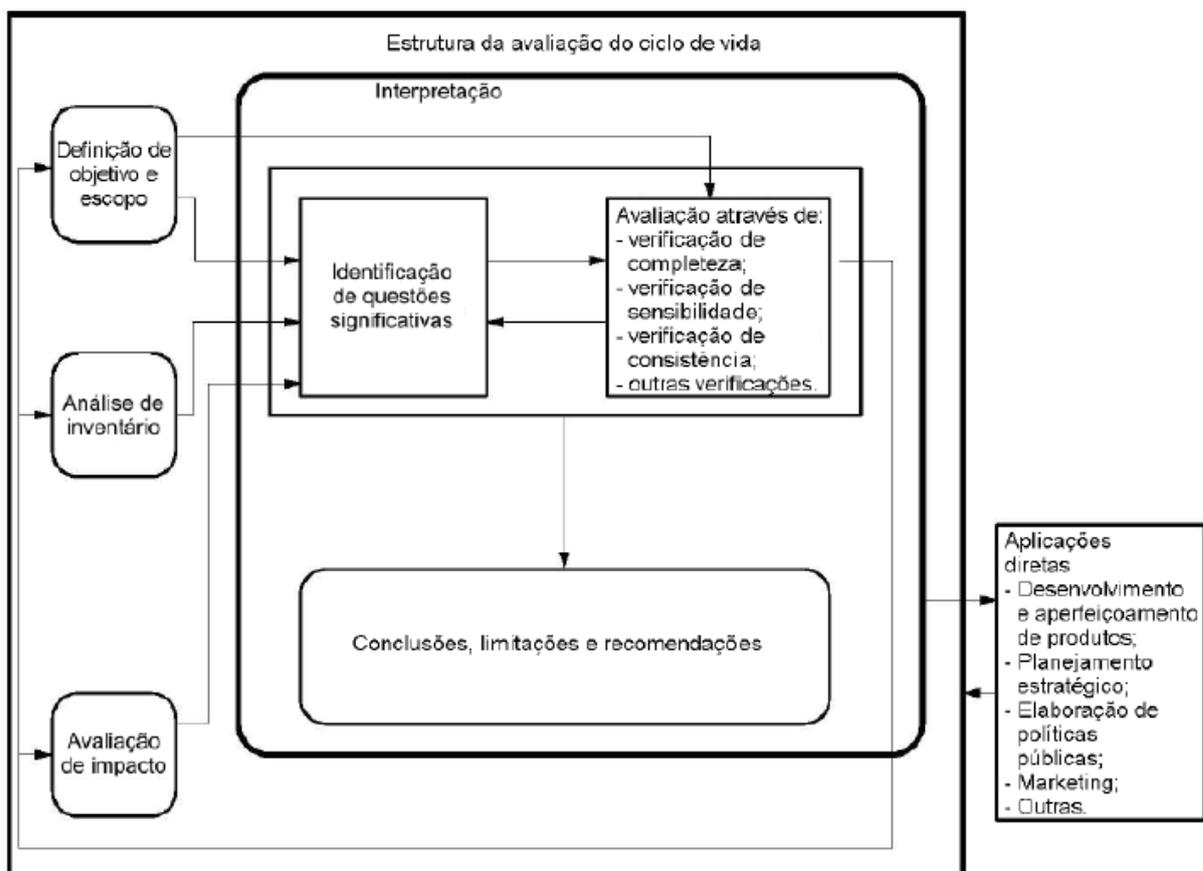
A fase de interpretação do ciclo de vida tem como objetivo analisar os resultados, tirar conclusões, explicar limitações e fazer recomendações para estudos de inventário de ciclo de vida ou mesmo uma análise completa do ciclo de vida (CHEHEBE, 1997). Nesta fase, em um estudo de ACV ou ICV contém vários elementos (Figura 8):

a) **Identificação das questões significativas** – este elemento tem como objetivo estruturar as fases de ICV ou AICV auxiliando no processo

de determinação das questões significativas, conforme a definição de objetivo e escopo, de forma interativa com o elemento.

b) **Avaliação do estudo** – tem como objetivo assegurar que as informações relevantes e os dados necessários estejam disponíveis e completos, e assim estabelecer e aumentar o grau de certeza e a confiabilidade dos resultados do estudo de ACV ou ICV, inclusive contendo questões significativas identificadas no primeiro elemento de interpretação.

c) **Conclusões, limitações e recomendações** – após a realização do estudo é possível chegar às conclusões e verificar se são coerentes com o objetivo e escopo do estudo, levando em consideração os requisitos de qualidade dos dados, suposições, valores pré-definidos, limitações metodológicas e estudo dos requisitos voltados à aplicação.



Fonte: ABNT NBR ISO 14044 (2014)

**Figura 8 - Relacionamento dos elementos da fase de interpretação com as demais fases da ACV**

Para análise da ICV é necessário utilizar alguns métodos, os quais são compostos por um conjunto de categorias de impacto organizados em famílias denominados de *midpoints* e *endpoints*. Na literatura é possível encontrar outros métodos, como os descritos por (Goedkoop e Spriensma, 2001) e (Hischier et al., 2010).

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E EXECUÇÃO DA ACV DA FARINHA AMARELA

Neste capítulo, está descrito o escopo da ACV da farinha amarela, de modo a atingir os objetivos, considerando a identificação do sistema de produto, as funções do sistema produto, a unidade funcional, os fluxos de referência, a fronteira do sistema produto e procedimentos de alocação, conforme ABNT NBR ISO 14040 (2009).

#### 3.1 Caracterização da área de pesquisa

A farinha amarela é caracterizada por dois sistemas de produção, descritos no: item 1) tradicional; e no item 2) industrial, em duas regiões do Brasil, Norte e Sul, analisadas no período de 2014 a 2016. Nesta pesquisa, não foram consideradas a planta da casa de farinha<sup>3</sup>, no sistema tradicional, e a planta da indústria de farinha, no sistema industrial, devido a limitações de informações sobre as mesmas.

Alguns cálculos são comuns aos dois sistemas de produção, tal como a contabilização do uso de trator na ACV, que foi calculada de acordo com Nemecek e Kagi (2007), contabilizado na unidade de massa, em quilograma, veja equação 01.

$$Kg\_trator = \frac{(Peso_{trator} \times Horas_{trabalhadas})}{Tempo_{vida}} \quad \text{[equação 01]}$$

Bem como, a conversão de unidades em volume para unidades de massa, realizada utilizando a equação 02,

$$Kg = Volume \times Densidade \quad \text{[equação 02]}$$

De modo a padronizar a conversão em quilograma, unidade de medida utilizada no *software* SimaPro 8.2.3.0, nesta pesquisa, a fim de facilitar as análises e comparações dos dados.

O consumo de diesel durante as operações agrícolas que demandaram uso de trator foi calculado com base em dados fornecidos pelos produtores de mandioca envolvidos na pesquisa, conforme equação 03,

---

<sup>3</sup> Pequenas fábricas de farinha ou “casas de farinha” como regionalmente são chamadas (GROXKO, 2016).

$$MJ\_Diesel[UnFuncional] = litrosDiesel\ consumido\ por\ UnFuncional * \\ DesnidadeDiesel * MJ\_litroDiesel \quad [equação\ 03]$$

Onde,

MJ\_Diesel[UF]: Megajoule de diesel consumido por unidade funcional

litrosDiesel consumido por UF: Total de diesel consumido por unidade funcional;

DensidadeDiesel: peso do diesel por litro de diesel em Kg/l = 0,865

MJ\_litroDiesel: Quantidade de megajoule contido em um litro de diesel = 42,93 (BRASIL, 2015b).

Para determinar a quantidade de diesel em mega joule (MJ) foi considerado a quantidade de diesel consumida em litros por hectare, multiplicado pelo o valor da densidade do diesel brasileiro de 0,865 Kg/l, e pelo valor de referência em MJ/l de diesel = 42,93, conforme Brasil (2015b).

Os serviços de transportes considerados na ACV são mensurados em toneladas por quilômetro transportado (tKm), de modo a permitir associar conjuntos de dados de transporte com os ciclos de vida de outros produtos (Spielmann et al, 2007) representado pela equação 04

$$tKm = DKP * TT \quad [equação\ 04]$$

Onde,

tKm: é o valor obtido em toneladas por quilômetro;

DKP: Distância em quilômetros percorridos;

TT: toneladas transportadas.

Desse modo, é possível quantificar as trocas ambientais relativo a serviços de transporte atrelados os ciclos de vida de outros produtos. Isto é, uma toneladas por quilômetro equivale ao transporte de uma tonelada de produto ao longo de um quilômetro (SPIELMANN et al., 2007).

As emissões estimadas de nitrogênio (N) adicionado ao solo, proveniente dos resíduos de cultivo, estão de acordo com a equação 11.6 do IPCC (2006) descritas no item 2.

Para calcular a precipitação anual nas regiões pesquisadas foram utilizados dados do Instituto Nacional de Metereologia – INMET, disponíveis no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP, Pesquisa estação convencional, série histórica de dados mensais, da Estação Meteorológica de Maringá - PR (OMM:

83767) e na Estação Meteorológica de Belterra - PA (OMM: 82246), no período de janeiro de 2011 a dezembro de 2016, Anexo 1.

No item 1, no sistema tradicional, a farinha amarela é produzida por processos semi industrial, conforme escrito por Bezerra (2006), similar a encontrada na casa de farinha pesquisada, localizada na comunidade Boa Esperança, no Km 43 da Rodovia Curuá-Una (PA-370), em Santarém, Oeste do Pará.

Na fase agrícola, as raízes de mandioca foram cultivadas pelos membros de uma família, nos moldes da agricultura familiar, com o uso parcial de mecanização agrícola. O solo é caracterizado por teor de argila de 56%, teor de matéria orgânica de 3,2% e pH em água de 4,1%, e apresenta baixos teores de macronutrientes essenciais como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), conforme resultados de análise química do solo, (Anexo 2) realizada no Laboratório de Análises de Solos da EPAGRI<sup>4</sup>/SC, a qual foi comparada com Ribeiro et al (1999).

As coletas de dados no município de Santarém/PA que subsidiaram as entradas no sistema SimaPro 8.2.3.0 foram realizadas a partir de medidas em campo. Na área colhida foram coletadas as coordenadas com GPS Garmin Etrex, (Anexo 3) e posteriormente foram processadas com o *software* de Geoprocessamento QGIS v. 2.14.11 para determinar o tamanho da área colhida. As raízes de mandioca foram pesadas, logo após a colheita, em balança industrial de uma empresa graneleira localizada na Comunidade Boa Esperança. As pesagens subsequentes, em cada etapa de processamento, para calcular do balanço de massa da farinha amarela, foram realizadas em balança de pequeno porte nas dependências da casa de farinha. Os dados complementares, em especial da fase de cultivo, foram obtidos com aplicações de questionários e entrevistas.

A área de cultivo pesquisada está em processo de intensificação da agricultura, eliminando o sistema de pousio longo, porém não utilizaram insumos que visem a reposição de nutrientes ao solo, como calcário e fertilizantes químicos. Com exceção do gradeamento do solo e do uso de herbicida glifosato, as demais operações agrícolas foram realizadas manualmente.

O transporte das raízes de mandioca da área de cultivo para o galpão da casa de farinha foi realizado em caminhonete com carroceria de madeira. Em seguida,

---

<sup>4</sup> Amostra de solo coletada na área de cultivo de mandioca, no sistema tradicional, em Santarém/PA e analisada no Laboratório de Análise de Solos da EPAGRI/SC.

ocorreram as demais etapas de processamento das raízes de mandioca, que resultaram no produto farinha amarela. As etapas de processamento foram realizadas em um galpão que dispõe de poucos equipamentos motorizados, desconexos, de modo que a maior parte do trabalho foi realizado manualmente, o que limitou a capacidade de processamento de raízes de mandioca a uma faixa de 700 Kg a 1.200Kg por semana.

Para o calcular o montante de nutrientes resultantes dos efluentes líquidos, decorrente dos processos de produção da farinha amarela no sistema tradicional, assumiu-se que 1m<sup>3</sup> da mistura destes efluentes equivale a 1m<sup>3</sup> de água, ou seja, uma tonelada.

Assim, a estimativa de cada elemento químico foi calculada com base na média dos dados numéricos obtida da composição físico-químico encontrada nos trabalhos Cereda (1994); Barana (2000); Ferreira, Botelho e Cardoso (2001) e Damasceno et al (1999) *apud* Damasceno (2000). A partir da obtenção da média dos principais elementos químicos presentes no efluente líquido, em quilograma por tonelada, foi calculado o montante de saída para cada elemento químico, conforme a equação 05,

$$EQT = Média\_EQ * Quant\_Efluente \quad [\text{equação 05}]$$

EQT: Valor total do elemento químico em quilograma

Média\_EQ: Média do elemento químico por tonelada de efluente em quilograma

Quant\_Efluente: Quantidade de efluente líquido em toneladas

As emissões para o ar de biogás CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> foram calculadas com base nos dados de Barana (2000) e Kuczman et al (2011). Assim, as conversões foram realizadas em relação ao volume de efluente líquido gerado.

O consumo de lenha de madeira nativa proveniente de capoeira, utilizada no aquecimento dos fornos foi estimado de acordo com Modesto Júnior e Alves (2015) em 2,4 m<sup>3(st)</sup> para produzir uma tonelada de farinha, com rendimento estimado em 25% em relação ao montante da entrada de raízes no processamento.

No item 2, no sistema industrial, a farinha amarela é produzida em larga escala, neste caso, em uma indústria na Região Sul do Brasil, Farinha Pioneira - S. N. N. Viana & Cia Ltda – ME, que nesta pesquisa será tratada como Farinheira Pioneira, e

está sediada na Av Principal, 940, Distrito Mandiocaba, Paranavai/PR. Onde cultiva parte do montante das raízes de mandioca destinada ao próprio consumo e complementa o suprimento de matéria prima com o fornecimento de raízes de mandioca por produtores locais ou de municípios vizinhos. O cultivo das raízes é proveniente da agricultura industrial com o uso intensivo de mecanização e de insumos agrícolas, tais como calcário, fertilizantes químicos e herbicidas.

O solo é predominantemente arenoso e apresenta boa produtividade. A tipificação do solo está em conformidade com Takahashi (1988), caracterizado como predominante composto por 89% de areia, 10% de argila e 1% de silte. Classificado como Podzólico Vermelho Amarelo distrófico (Embrapa, 1984, *apud* (Takahashi, 1988). Tais características estão em conformidade com Alvarenga et al (2006) e Pascoal Filho e Silveira (2012) como ideal para o cultivo da mandioca.

As operações agrícolas necessárias para o cultivo e colheita da mandioca na lavoura foram realizadas com o auxílio de máquinas, exceto o arranquio das raízes, a separação destas das cepas e seu acondicionamento em *bags*<sup>5</sup> durante a colheita. Após a colheita as raízes foram transportadas em caminhões *bitrem* até a indústria farinheira, onde o processo de transformação automatizado com capacidade de processar até 200 toneladas de raízes por dia.

As coletas de dados foram compostas por visita *in loco* na fábrica de farinha, mediante observação, aplicação de questionários e realização de entrevistas. De forma complementar, dados sobre o cultivo da mandioca foram coletados mediante entrevistas por telefone, por e-mail e trocas de mensagens de texto.

Dados referente a emissões diretas e indiretas de N e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) foram obtidas a partir de dados de campo processados no *software* Microsoft Excel com base nas equações do IPCC (2006) adaptadas por Prudêncio da Silva et al (2010).

Assim, as estimativas de N provenientes de resíduos de cultivo, adicionado ao solo, estão de acordo com a equação 11.6 do IPCC (2006). De modo a calcular o montante anual de N depositado no solo decorrente da decomposição de restos de cultura *Root crops, other*, abaixo e acima do solo, representado por  $N - F_{CR}$ , descrito no IPCC (2006). A entrada de dados utilizados no cálculo foi com base no tipo de

---

<sup>5</sup> *Bag* ou *Big Bag* é um tipo de contentor confeccionado com material de polipropileno de alta resistência e tenacidade, tratados contra raios ultravioleta. É flexível, resistente e dobrável, é utilizado para transporte de grandes cargas.

cultura, de acordo com a tabela 11.2 do IPCC (2006) e no valor da produção da cultura em quilograma obtido por hectare, representada na equação 06:

$$N - F_{CR} = Crop_{(T)} \times (R_{AG} \times N_{AG} \times (1 - Frac_{removed(T)}) + R_{BG} \times N_{BG})$$

equação [06]

A estimativa de emissões de N<sub>2</sub>O a partir do gerenciamento dos solos está em conformidade com a customização da equação do IPCC (2006) para o cenário agrícola Brasileiro por (Prudêncio da Silva et al, 2010) conforme equação 07, 08 , 09 e 10.

$$N - N_2O = (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR}) \times EF_1 + [(F_{SN} + Frac_{GASF}) + (F_{ON} \times Frac_{GASM})] \times EF_4 + (F_{SN} + F_{ON} \times F_{CR}) \times Frac_{LEACH} \times EF_5 \quad \text{[equação 07]}$$

Ou seja:

$$N_2O_{Direct}-N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR}) \times EF_1 \quad \text{Emissões diretas [equação 08]}$$

$$N_2O_{(ATD)}-N = [(F_{SN} \times Frac_{GASF}) + (F_{ON} \times Frac_{GASM})] \times EF_4 \quad \text{Emissões indiretas [equação 09]}$$

$$N_2O_{(L)}-N = NO_3 - N \times EF_5 \quad \text{[equação 10]}$$

As emissões de fósforo por lixiviação não foram consideradas por não ter encontrado na literatura dados representativos, das regiões pesquisadas, que subsidiassem os cálculos.

Adicionalmente, dados complementares foram obtidos a partir da literatura científica e de base de dados ecoinvent 3.3 e agri-footprint, utilizadas por meio do software SimaPro 8.2.3.0, com base no método CML 2001 atualizado com o IPCC 2007, acrescido da Demanda Total Acumulada de Energia.

Os resíduos sólidos como cascas e descartes foram reaproveitados na composição de ração animal por terceiros. Já os efluentes líquidos compostos por água de lavagem das raízes, rica em matéria orgânica e a manipueira, resultante da prensagem da massa, foram reaproveitados como matéria prima no biodigestor para

produção de biogás e de biofertilizante. Portanto, as emissões foram relacionadas ao *dataset* específico da base de dados doecoinvent 3.3 para tratamento de efluentes líquidos e da queima do biogás para geração de energia térmica pela caldeira, necessária para a torrefação da farinha amarela.

Inicialmente, a pesquisa contemplava as ACVs dos derivados de mandioca farinha amarela, farinha seca (branca) e fécula. Essa abordagem foi revista de modo a excluir a ACV da farinha branca<sup>6</sup> e a fécula de mandioca, porque durante a pesquisa não foi possível coletar dados de fabricação da farinha seca na casa de farinha pesquisada, devido a indisponibilidade de raízes de mandioca mansa<sup>7</sup> no período em que a pesquisa foi realizada. No sistema industrial, na ocasião, não havia demanda para produção de farinha seca, e portanto não foram coletados dados sobre o produto.

Assim, devido à falta de detalhamento de parte dos dados fornecidos pela Industria Mandelícia Ltda, também de Paranaíba/PR, a qual produz farinha amarela, fécula de mandioca e polvilho doce. Porém, os dados de produção estavam agregados de modo que inviabilizou a realização do balanço de massa necessário para a realização da ACV.

### **3.2 Ciclo de vida da farinha de mandioca amarela**

O ciclo de vida da farinha amarela em uma abordagem do “berço ao portão” da fábrica tem início no preparo do solo para o cultivo da mandioca, incluindo os insumos agrícolas, máquinas e equipamentos utilizados na fase de cultivo.

A fase de colheita é caracterizada pelo arranquio manual no sistema de produção tradicional, e semimecanizado no sistema de produção industrial. Após a colheita as raízes de mandioca são transportadas para a casa de farinha ou para a indústria de modo a ser processada em até 36 horas.

O processamento das raízes no sistema tradicional e no sistema industrial possuem etapas similares, diferindo apenas no processo de maceração das raízes que está presente somente no sistema tradicional. Conforme apresentando na sequência de processos: descascamento e lavagem das raízes, ralação, prensagem

---

<sup>6</sup> Farinha de mandioca do grupo seca, classe branca (DIAS e LEONEL, 2006). Esse tipo de farinha é produzido em Santarém/PA, a partir de raízes de mandioca mansa.

<sup>7</sup> Variedade de mandioca com baixo teor de ácido cianídrico (HCN), também conhecida por aipim, macaxeira ou mandioca doce, que podem ser comercializadas in natura para consumo humano.

da massa, esfarelamento da massa enxuta e/ou peneiramento, grolagem, torrefação e envasamento do produto. É importante ressaltar que a produção da farinha amarela produzida no sistema tradicional possui uma etapa de maceração das raízes em água, o qual ocorre após o descascamento das raízes.

A tecnologia empregada na produção de farinha amarela no sistema tradicional é limitada, composta por pequenos motores elétricos que auxiliam no processo de ralação das raízes e durante a torrefação da farinha movendo as pás de madeira sobre um forno circular. Porém, precisa de auxílio humano em todos os processos, inclusive nas etapas auxiliadas por motores elétricos. Enquanto que, no sistema industrial, após as raízes de mandioca serem descarregadas em silos tipo trincheira, todos os processos são automatizados, com exceção da fase de repinicagem das raízes após o descascamento e lavagem das raízes.

A seguir, são descritas as etapas que compõem a cadeia produtiva da farinha amarela no sistema tradicional:

#### **a) Preparo do solo**

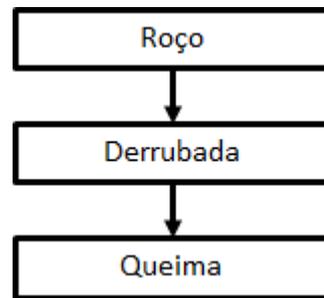
O cultivo da mandioca na agricultura familiar, por associados da cooperativa pesquisada, apresenta diferenças na fase de preparo de solo, variando de acordo com o nível de informação e condição econômica de cada agricultor.

Conforme informações fornecidas pelo senhor Sidney, Presidente da Cooperativa dos Produtores Rurais de Santarém/PA - Cooprusan, no preparo do solo predomina a técnica de pousio longo, em que cada novo cultivo é utilizado em uma nova área, deixando em repouso a área recém colhida para regeneração da mata e recuperação da fertilidade do solo, até que esteja apta a receber um novo plantio. Descrição semelhante a encontrada no município de Mojú, no Nordeste Paraense, onde segundo Alves e Cardoso (2008), o preparo do solo ocorre em áreas de 1 a 3 hectares, utilizando a técnica de corte e queima. Inicialmente realiza-se o processo de “broca”, em que o sub-bosque é eliminado com roço, depois a vegetação de maior porte é derrubada<sup>8</sup> com machado, conforme Figura 9. Após a biomassa secar é ateadado fogo para limpar a área, os restos de madeira que não queimaram são amontoados em coivaras e queimados. Devido à escassez de lenha na região alguns agricultores

---

<sup>8</sup> Abate de árvores, matas, com vistas a ter o terreno livre.

estão aproveitando a madeira como lenha ou na produção de carvão (ALVES e CARDOSO, 2008).



**Figura 9. Fase de preparo do solo em sistema de corte e queima**

Para Alves e Modesto Júnior (2012), as queimadas sucessivas presentes na agricultura de corte e queima têm sido uma das causas da redução da produtividade da mandioca na região do Baixo Tocantins no Estado do Pará, e a maior fonte de emissão de CO<sub>2</sub> na região. A produção de biomassa em capoeiras de sete anos no município de Cametá/PA foi de 48,97 toneladas, no município de Abaetetuba/PA de 62,92 toneladas, em capoeira de 12 anos no município de Acará/PA foi de 113,2 toneladas e na capoeira de 15 anos no município de Mojú/PA foi de 71,76 toneladas, conforme Tabela 3. A menor produção de biomassa na capoeira de 15 anos é explicada pela retirada de madeira para aproveitamento como caibros, mourões e lenha (ALVES e MODESTO JÚNIOR, 2012).

**Tabela 3 - Produtividade de biomassa de acordo com a idade da capoeira**

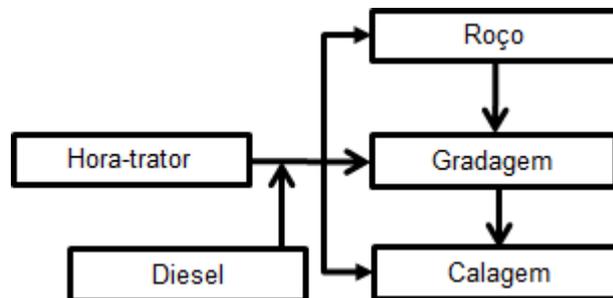
Municípios/PA	Idade da capoeira em anos	Biomassa fresca t/ha	Biomassa seca t/ha
Mojú	15	71,76b	30,08b
Acará	12	113,20a	62,68a
Cametá	7	48,97b	32,96b
Abaetetuba	7	62,92b	33,60b
Média		74,21b	41,58b

Médias de mesma letra não difere significativamente ao nível de 5% pelo Teste de Tukey, Alves e Modesto Júnior (2012).

Fonte: Adaptado de Alves e Modesto Júnior (2012).

De acordo com o senhor João, Presidente da Associação dos Produtores Rurais de Santarem/PA - Aprusan, alguns associados da Coopboa utilizam o sistema de corte e queima no preparo do solo, enquanto outros associados utilizam o sistema mecanizado. De acordo com Alves; Modesto Júnior e Leite (2011), no sistema

mecanizado é realizada a roçagem da vegetação, a gradagem do solo, e aplicação de calcário para correção da acidez do solo, que em geral ocorre em áreas de pasto degradado ou capoeira fina, conforme representado na Figura 10.



**Figura 10 - Fase de preparo do solo mecanizado**

Segundo Ferreira Filho et al (2013), a cultura da mandioca é tolerante a acidez dos solos, mas a produtividade melhora com a correção do solo mediante a aplicação de calcário e adubação. A distribuição do calcário deve ser feita, manualmente, a lanço e pode ser realizada em qualquer época do ano, de preferência com antecedência de 30 a 60 dias antes do plantio, conforme resultado da análise química do solo.

O uso de adubação orgânica, em torno de 8,0 toneladas por hectare, melhora as características físicas, químicas e biológicas do solo, adicionando nitrogênio e melhorando a produtividade. E pode ser aplicado a lanço em toda a área ou diretamente na cova ou sulco na ocasião do plantio (FERREIRA FILHO et al., 2013).

### **b) Cultivo da mandioca**

É recomendável que o plantio da mandioca ocorra no início do período chuvoso, apesar de ser resistente ao *stress* hídrico, é importante que na fase inicial de desenvolvimento coincida com pelo menos quatro meses de chuva. Em regiões tropicais o plantio pode ser realizado durante todo o ano (PASCOAL FILHO e SILVEIRA, 2012). Segundo Alves e Cardoso (2008) e Alves; Modesto Júnior e Leite (2011), o plantio da mandioca na região de Mojú e Castanhal no Estado do Pará é realizado em dois períodos do ano, em dezembro quando inicia o período chuvoso e no “verão”, em junho.

Para Pascoal Filho e Silveira (2012), o plantio é realizado utilizando partes vegetativas da mandioca, manivas, que são partes do caule ou ramos, retiradas de plantas maduras de 10 à 14 meses de vida, descartando o terço superior da planta, ramos com diâmetro inferior a 2 cm e a parte inferior da planta por ser muito lenhosa.

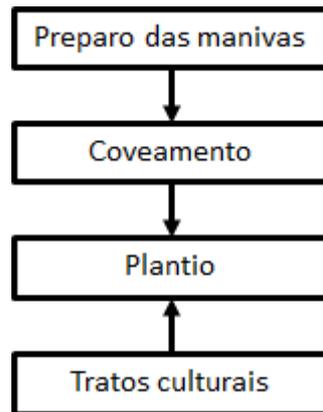
Os ramos, após a colheita, devem ser armazenados na posição vertical, em local sombreado e arejado por um período de 8 a 12 dias, a fim de reduzir o teor de umidade e mitigar a taxa de apodrecimento após o plantio, necessitando de 5 à 6 m<sup>3</sup> de manivas para plantar um hectare ano (PASCOAL FILHO e SILVEIRA, 2012). Os ramos devem ser cortados em toletes de 15 à 25 cm, contendo de 5 à 8 gemas. O corte dos toletes deve ser em ângulo reto a fim de facilitar o enraizamento ano (PASCOAL FILHO e SILVEIRA, 2012).

Em cultivos que empregam a técnica de corte e queima é comum encontrar plantio que não seguem as recomendações técnicas, tanto em espaçamento quanto em alinhamento, com população estimada inferior a 10 mil e plantas por hectare, mas em algumas propriedades este número é bem superior ao recomendado, em ambos os casos são prejudiciais à produtividade (ALVES e CARDOSO, 2008).

O alinhamento e o espaçamento entre plantas variam de acordo com a fertilidade do solo, práticas culturais, variedades cultivadas e finalidade do cultivo (PASCOAL FILHO e SILVEIRA, 2012). Em terrenos encharcados ou sujeito a encharcamento, é recomendável o plantio em covas altas, camaleões ou leirões (FERREIRA FILHO et al., 2013).

Em Castanhal/PA, no sistema de cultivo mecanizado predominam dois tipos de espaçamento: 1) 1,0m x 1,0m com população de 10.000 plantas por hectare, 2) e 2,0m x 1,0m x 0,60m, equivalente a 13.333 plantas por hectare (ALVES, MODESTO JÚNIOR e LEITE, 2011). O plantio dos toletes em solos arados e gradeados recomenda-se que os sulcos tenham aproximadamente 10 cm de profundidade, onde os toletes são colocados horizontalmente com as gemas para o mesmo lado (FERREIRA FILHO et al., 2013).

Os tratos culturais quando realizados na época correta permitem que a planta da mandioca se desenvolva com maior rapidez, especialmente nos primeiros quatro meses, minimizando a concorrência de ervas daninhas por luz, água e nutrientes do solo (FERREIRA FILHO et al., 2013). Nos municípios de Mojú/PA e Castanhal/PA os tratos culturais limitam-se, em média, a duas capinas durante o cultivo da mandioca (ALVES e CARDOSO, 2008). A Figura 11, representa às atividades necessárias a fase de cultivo da mandioca: preparo das manivas, coveamento, plantio e tratos culturais.



**Figura 11 – Atividades necessários para o cultivo da mandioca**

A eliminação das plantas invasoras pode ser realizada mecanicamente ou manualmente por roço, capina com enxada, ou com uso de herbicidas (químicos). É recomendado que faça a amontoa, ou seja, juntar terra ao tronco da planta. O controle químico utiliza aplicações de herbicidas de acordo com as especificações do produto, e nesse caso não é realizado a amontoa.

### **c) Colheita e transporte**

A colheita da mandioca é uma das etapas de maior dispêndio de recursos financeiros do sistema de produção, devido ao uso intensivo de mão-de-obra, em que predomina o arranquio manual, em especial nas pequenas propriedades que utilizam o sistema de produção de corte e queima (FERREIRA FILHO et al., 2013).

Para Amaral, Jaigobind e Jaisingh (2007) Amaral et al (2007) a colheita das raízes de mandioca geralmente ocorre de 16 à 20 meses, divergindo dos 12 à 18 meses, mencionado por Alves, Modesto Júnior e Leite (2011), o que leva em conta a necessidade de comercialização do produtor. O processo de colheita, em Castanhal/PA, é realizado de forma manual cortando a parte aérea da planta à aproximadamente 20 cm do nível do terreno. Mediante esforço físico humano as raízes frescas são removidas do solo e, posteriormente, com o uso do facão estas são desmembradas da cepa eliminando o pedúnculo, pequenos caules remanescentes, que dificultam o descascamento e aumentam o teor de fibra ao produto no material (ARAUJO e LOPES, 2009; FERREIRA FILHO et al., 2013). A rotina empregada na colheita da mandioca está Figura 12.

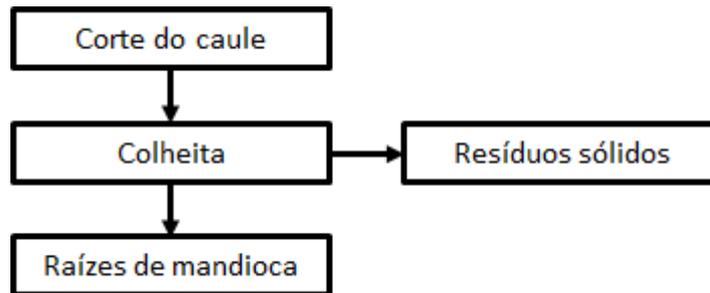


Figura 12 - Rotina empregada na colheita da mandioca

Após a colheita, os resíduos sólidos, a parte aérea e o tronco da planta são deixados no local sobre o solo, servindo como cobertura morta na proteção do solo contra a ação do vento, sol e da chuva, além de devolver nutrientes ao solo.

As raízes de mandioca devem ser transportadas ao local de processamento em até 36 horas, a fim de evitar ataques de micro-organismos. As casas de farinha de pequeno porte, geralmente, ficam na propriedade ou na vizinhança em que a mandioca é produzida. São utilizados os mais variados tipos de transportes desde tração animal a veículos motorizados para levar as raízes da lavoura até o local do processamento, conforme detalhado na Figura 13.

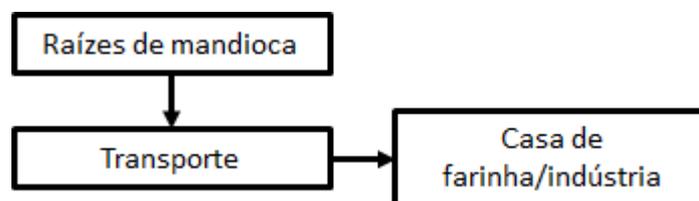


Figura 13 - Transporte das raízes da mandioca da lavoura a casa de farinha

#### d) Recepção das raízes

O processamento tem início com a chegada das raízes da mandioca a casa de farinha, que deve ter local apropriado para acomodá-las. O local deve ser seco, coberto, possuir piso impermeável e ventilado para evitar a contaminação das raízes por fungos e bactérias. É recomendável que proceda a pesagem das raízes durante a recepção para controlar a quantidade de matéria prima que será processada, facilitando o controle dos custos (ARAUJO e LOPES, 2009).

### e) Descascamento

O processo de descascamento para produção de farinha no sistema tradicional, geralmente, é realizado manualmente, por um grupo de pessoas. De acordo com Chisté et al (2006), a produção aproximada por pessoa é de 250Kg de raízes em oito horas de trabalho. O descascamento de cada raiz é realizado por duas pessoas, de modo que uma fica responsável pelo descascamento da primeira metade da raiz e a outra, com as mãos limpas, segura na parte descascada e descasca o restante da raiz, retirando a casca e a entrecasca (Figura 14).

O descascamento e lavagem das raízes também podem ser realizados mecanicamente utilizando o lavador-descascador que possui um fluxo contínuo de água corrente potável para realização da tarefa, eliminando cerca de 5% e 10% de impurezas pesadas como pedras, terra, cascas e películas (BEZERRA, 2006).

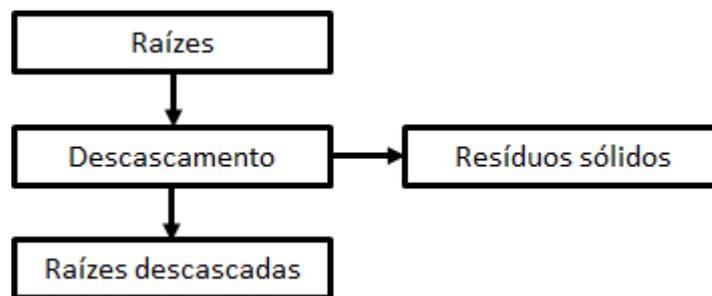


Figura 14 - Descascamento manual

Nesta fase, os cuidados com a higiene são cruciais para evitar a proliferação de bactérias. As cascas da mandioca, resíduos sólidos, devem ser retiradas do local. O ideal é que sejam secas ao sol e aproveitada na alimentação animal, pois quando amontoadas ao ar-livre, em contato com água de chuva, ocorre a liberação de manipueira causando alterações físico-químicas no solo, exalando mal cheiro, atraindo insetos e roedores (ARAUJO e LOPES, 2009).

### f) Lavagem

Após o descascamento manual, as raízes passam por novo processo de lavagem, conforme Figura 15, para eliminar cascas e impurezas restantes. Para reduzir a proliferação de fungos e bactérias, as raízes limpas são imersas em solução de água clorada a 0,5%.

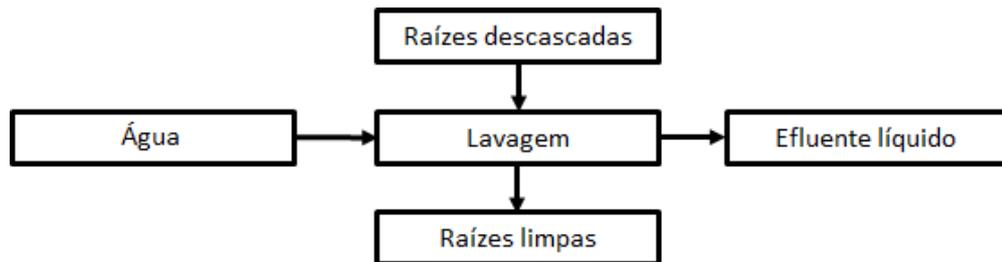


Figura 15 - Primeira lavagem das raízes de mandioca

A lavagem das raízes deve ocorrer em local apropriado, projetado para atender as necessidades sanitárias e ambientais do processo, com ralos para escoamento da água, o piso e paredes devem possuir revestimento impermeável e o trabalhador também deve utilizar calçados impermeáveis, de acordo com Bezerra (2006) e Araujo e Lopes (2009).

A água da lavagem, por conter manipueira, efluente líquido, deve ser escoada pela rede de drenagem destinada ao tanque de decantação de efluentes (ARAUJO e LOPES, 2009).

### g) Amolecimento em água

De acordo com Bezerra (2006), na fabricação da farinha de mandioca mista são necessários que 20 à 25% das raízes passem por um processo de maceração em tanques com água potável por um período de 3 à 5 dias, conforme Figura 16., tempo necessário para que as raízes amoleçam, ficando disforme, facilitando o desmembramento da polpa.



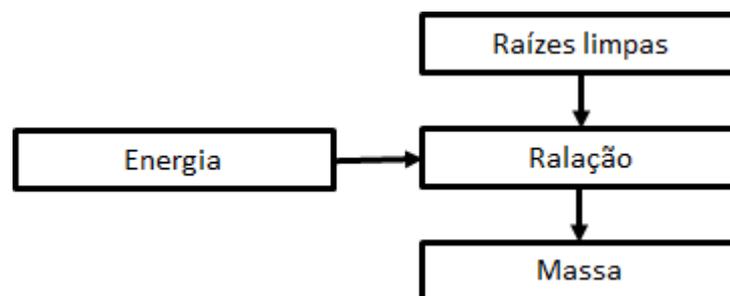
Figura 16 - Processo de maceração das raízes de mandioca

A água da lavagem, por conter manipueira que é um efluente líquido, deve ser escoada pela rede de drenagem destinada ao tanque de decantação de efluentes (ARAUJO e LOPES, 2009).

#### **h) Trituração/ralação**

No processo de trituração ou ralação das raízes de mandioca (frescas) e das raízes de mandioca (maceradas) é utilizando um triturador acoplado a um motor estacionário elétrico ou movido a óleo diesel/gasolina (Figura 17). O ralador ou seva é composto por um cilindro de metal ou madeira com lâminas de aço, substituíveis, fixadas em paralelo no sentido longitudinal do eixo que gira a uma velocidade de 1.200 à 2.500 rpm, responsáveis pela a homogeneização da massa, definição da granulometria e aumento do rendimento do produto, com rendimento médio variando de 100Kg à 1.500 Kg por hora de acordo com o equipamento utilizado.

Para evitar acidentes, próximo ao cilindro ralador deve haver proteção que impeça o acesso de mãos e braços do trabalhador, de modo que, as raízes sejam empurradas manualmente contra o cilindro ralador com o auxílio de braços de madeira, em movimentos alternados.

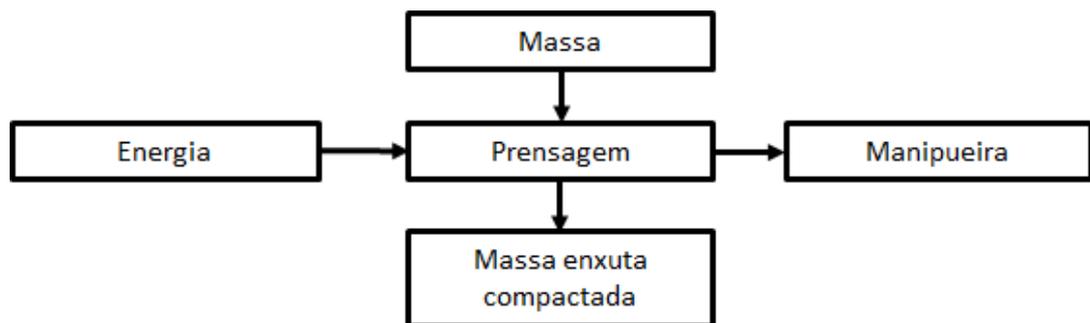


**Figura 17 - Processo de ralação das raízes de mandioca frescas e maceradas**

A massa deve ficar armazenada temporariamente em tanques de alvenaria azulejados, com ralos para escoar os efluentes líquidos, evitando que resíduos de massa permaneçam fixados nas paredes do tanque que devem ser lavadas e a água residual que contém manipueira segue pela tubulação até o tanque de decantação (BEZERRA, 2006; ARAUJO e LOPES, 2009).

### i) Prensagem

A massa da mandioca decorrente do processo de ralação deve passar pelo processo de retirada de umidade para evitar a fermentação e o escurecimento da massa (Figura 18). Este processo consiste do acondicionamento da massa em sacos de rafia ou polietileno, não muito cheios, de modo a permitir enrolar e dobrá-lo sobre si numa prensa, onde vários sacos sobrepostos com uma chapa ou estrados de madeira divisória entre eles, formando uma pilha. Posteriormente, uma peça retangular de ferro ou madeira é colocada sobre a pilha e o processo de prensagem para enxugar a massa da mandioca que inicialmente possui aproximadamente 65% de umidade. Após 20 minutos de prensagem são eliminados de 20 a 30% da manipueira (ARAUJO e LOPES, 2009). Devido à mistura da massa das raízes maceradas com a massa das raízes frescas, a manipueira segue por calhas para tanques de decantação como efluente líquido.



**Figura 18 - Processo de retirada de umidade da massa**

Existem diversos tipos de prensas artesanais, como tipiti indígena ou construído em madeira. Atualmente, existem prensas hidráulicas disponíveis no mercado que requerem pouco esforço físico, mas a tendência é de substituição das prensas artesanais por equipamentos elétricos com pistão que são mais eficientes e não requerem esforço físico do trabalhador (ARAUJO e LOPES, 2009).

Nas casas de farinha o processo de prensagem da massa de mandioca gera 300 litros de manipueira, rica em fécula, por tonelada de raízes. Que pode ser aproveitada para extração de polvilho azedo, preparo do tucupi ou extrair a fécula para ser aproveitado adicionando a massa ralada e transformado em farinha (CEREDA, 2007).

### j) Esfarelamento/peneiramento

Após sair da prensa a massa fica compactada e coesa, e precisa passar por um processo de desagregação que pode ser manual ou mecânico (Figura 19). O esfarelador mecânico utiliza peneira vibratória movida a eletricidade, o que melhora o rendimento, a qualidade do produto, a eficiência do processo e a redução dos custos. No esfarelamento manual o processo é realizado com a passagem repetida de um rolo sobre a massa prensada sobre a peneira. Esse processo necessita de repetidas limpezas da peneira com escova de aço para retirar o acúmulo de crostas de massas e evitar fermentação que possa comprometer o produto.

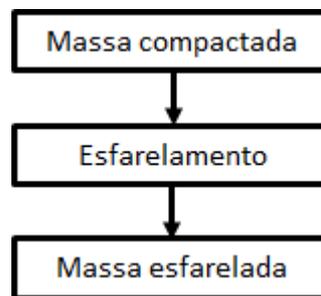
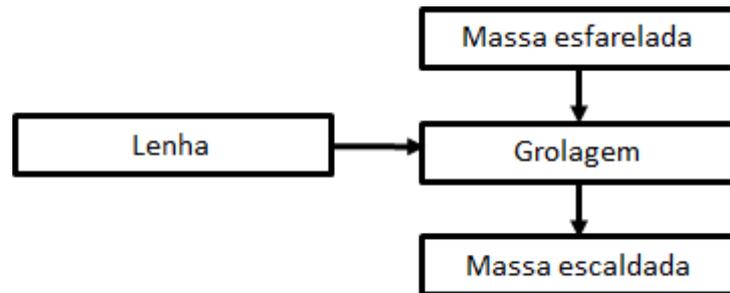


Figura 19 - Processo de fragmentação de torrões de massa prensada

Nesta fase, o crivo da peneira determina a granulometria da farinha e elimina crueiras cruas que podem ser reaproveitadas retornando a fase de ralação ou destinadas a alimentação de animais (ARAUJO e LOPES, 2009).

### k) Escaldamento ou grolagem

O escaldamento ou grolagem é uma parte fundamental no processo de fabricação da farinha por dar sabor característico ao produto e eliminar parte do ácido cianídrico que é nocivo ao ser humano, conforme descrito na Figura 20. O escaldamento ou grolagem consiste no aquecimento da massa a uma temperatura de aproximadamente 90°C, menor que a utilizada no processo de torração, com a finalidade de aumentar a granulometria da farinha, característica apreciada na região Amazônica. A massa é distribuída lentamente em toda a superfície plana de uma chapa de ferro que fica sob a ação direta do fogo a lenha. Um giro mecânico, com paletas de madeira movimentam continuamente a massa sobre a chapa de ferro por 30 minutos para evitar a formação de grumos grandes, deixando a farinha “solta” (BEZERRA, 2006).



**Figura 20 - Processo de grolagem da massa**

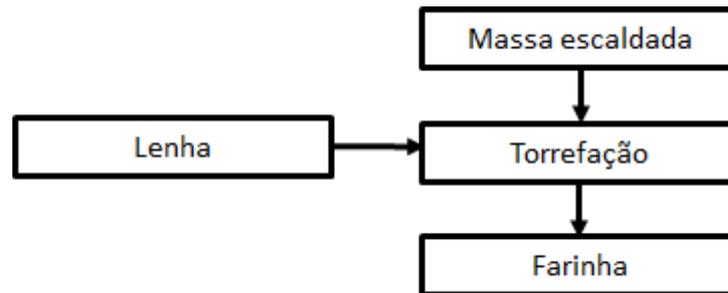
Durante o processo de escaldamento, a queima de lenha, emite CO<sub>2</sub> e o uso de energia elétrica contribui com metano, durante o processo de geração de energia. Esses gases são causadores do efeito estufa, responsável pelo Aquecimento Global.

### **l) Uniformização**

Após o processo de grolagem a massa é levada ao uniformizador, equipamento constituído de um eixo de ferro e um conjunto de facas que giram em alta velocidade de rotação no interior do cilindro de madeira, com peneiras de ferro com furos de diâmetros específicos, de acordo com a especificação da granulometria desejada, que segue para o processo de torrefação (BEZERRA, 2006).

### **m) Torrefação**

De acordo com Bezerra (2006) e Sebrae (2009), o processo de torrefação da massa é parte importante da fabricação de farinha de mandioca por exercer influência na qualidade do produto, pois afeta a coloração, sabor e conservação durante o transporte e armazenamento. Após a grolagem ou escaldamento a massa é distribuída lentamente em finas camadas sobre o forno de torrefação, aquecido a 140°C, movimentada continuamente, com o auxílio de um giro mecânico com paletas de madeira, por um período de 30 minutos até atingir valores abaixo de 14% de umidade, apresentando características regionais tais como cor, sabor e textura (Figura 21). É importante ressaltar que a lenha utilizada no processo não deve produzir fumaça, sob pena de comprometer a qualidade da farinha (BEZERRA, 2006).



**Figura 21 - Processo de aquecimento da massa**

O processo de torrefação é similar ao processo de escaldamento, de modo que ocorre a emissão dos mesmos tipos de gases, CO<sub>2</sub> e metano, para a atmosfera, que contribuem para o efeito estufa e conseqüente aumento do Aquecimento Global.

#### **n) Esfriamento**

Ao término do processo de torrefação a farinha é retirada do forno utilizando pás de madeira e armazenada temporariamente em “cochos” de madeira revestido de aço inox, onde permanecem até completar o processo de resfriamento, completando a secagem da massa. Esse processo é fundamental para o armazenamento, quando bem feito, impede o surgimento de bolores e aglomerações de grãos de farinha (BEZERRA, 2006).

#### **o) Peneiramento e classificação**

Após o resfriamento, a farinha é peneirada e classificada em três categorias de acordo com a granulometria determinada por Brasil (1995). Na granulometria fina a malha da peneira é de 0,17mm a 0,5mm, na granulometria média a malha é de 0,5mm a 1mm e na granulometria grossa é quando a malha permite vazar acima de 1mm.

#### **p) Embalagem**

Após classificada, a farinha de mandioca é embalada em unidades de saco plástico de 1Kg ou de 5Kg quando é destinado a venda em mercados ou 50Kg quando destinado a venda em feiras livres.

#### **q) Armazenamento**

Os fardos devem ser armazenados sobre estrados de madeira, em local seco e arejado, respeitando a distância de 60cm do teto e 35cm das paredes, dispostos de

modo a facilitar o manuseio. Recomenda-se o sistema PEPS (Primeiro que Entra, Primeiro que Sai) dificultando que produtos permanecem estocados por muito tempo (BEZERRA, 2006; ARAUJO e LOPES, 2009).

Os processos de produção da farinha amarela no sistema industrial, descrito na literatura científica possuem diferenças na forma de cultivo da mandioca e no processamento das raízes, conforme descrito a seguir:

#### **a) Colheita**

No processo de colheita no cultivo industrial é comum o uso do implemento “afofador” que, acoplado a um trator, escarifica a área a ser colhida deixando as raízes expostas, facilitado a colheita que deve ser completada com trabalho manual (AMARAL, JAIGOBIND e JAISINGH, 2007).

#### **b) Transporte e recepção das raízes**

Após a colheita as raízes de mandioca que em geral são transportadas soltas ou acondicionadas em *bags* de 300Kg ou 500Kg em caminhão aberto, basculante ou carreta tracionada por trator até a indústria, num período de até 36 horas, a fim de evitar sua fermentação e conseqüente perda de qualidade. Na recepção a carga é pesada, retira-se amostra para avaliar o teor de amido, que influencia no preço do produto, depois descarregado em um silo, de onde as raízes seguem por um sistema de esteira até o descascamento e a lavagem (AMARAL, JAIGOBIND e JAISINGH, 2007).

#### **c) Descascamento e lavagem**

De acordo com Pinto (2013), o descascamento e a lavagem das raízes de mandioca ocorrem de forma simultânea em descascadores semicilíndricos, num processo contínuo, onde as raízes são friccionadas constantemente entre si e com as grades do descascador, movimentadas por hastes metálicas (ou de madeira) em posição helicoidal, arrastam as raízes pela extensão do descascador/lavador, com o auxílio de água retiram as cascas e impurezas como terra e pedras provenientes da lavoura (AMARAL, JAIGOBIND e JAISINGH, 2007).

O processo de lavagem consome 1,6m<sup>3</sup> de água para lavar uma tonelada de raízes (CEREDA, 2007). Após a lavagem, as raízes limpas seguem por uma esteira transportadora, onde é realizado o processo de repinicagem manual, removendo pedaços de raízes impróprias para o processamento.

Neste processo, geralmente é reutilizado 20% da água residual, manipueira, da fase final do processo de lavagem (Figura 22).



Figura 22 - Processo de decantação da fécula

O efluente líquido resultante do processo de lavagem segue por tubulação apropriada para o tanque de decantação. O processo separa dois tipos de resíduos sólidos: a) terra e pedras e, b) cascas as quais podem ser aproveitadas na alimentação animal.

#### d) Picador

Após descascadas e limpas as raízes de mandioca seguem para o picador onde são picadas em pedaços de 3cm a 5cm, a fim de melhorar a eficiência da ralação (Figura 23).

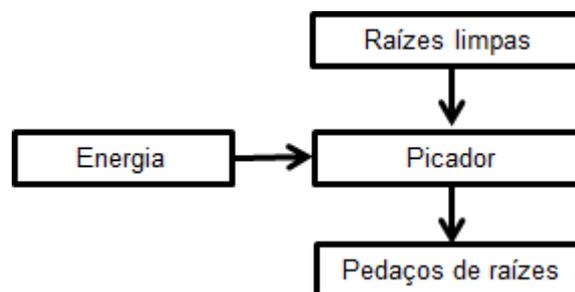


Figura 23 - Processo de picagem

Posteriormente, os pedaços de raízes seguem por um sistema de rosca helicoidal para o alimentador-dosador que alimenta o ralador, de modo a evitar sobrecarga no ralador.

### e) Ralação

Os raladores desintegram os pedaços de raízes causando o rompimento celular, liberando os grânulos de fécula, resultando em uma massa pastosa. O ralador geralmente é constituído por cilindro de madeira com lâminas de aço serrilhadas, fixadas paralelamente entre si no sentido longitudinal do eixo (Figura 24).

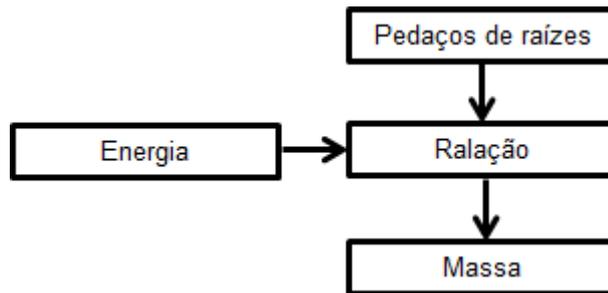


Figura 24 - Processo de ralação

Após a ralação das raízes de mandioca a massa úmida é encaminhada para o processo de prensagem ou fica armazenada temporariamente à espera de liberação da prensa para dar início ao processo de desidratação da massa.

### f) Prensagem

A prensagem é o processo pelo qual é retirado o excesso de manipueira, facilitando a secagem, evitando a formação de goma (geleificação), reduzindo o risco de oxidação devido a compactação dificultando a exposição ao ar (Figura 25).

Este tipo de prensa é composta por duas gaiolas abertas sob plataforma móvel de uso alternado, de modo que, enquanto uma é carregada a outra opera. Ao final do processo de prensagem, a plataforma é girada invertendo a posição das gaiolas, colocando em operação.

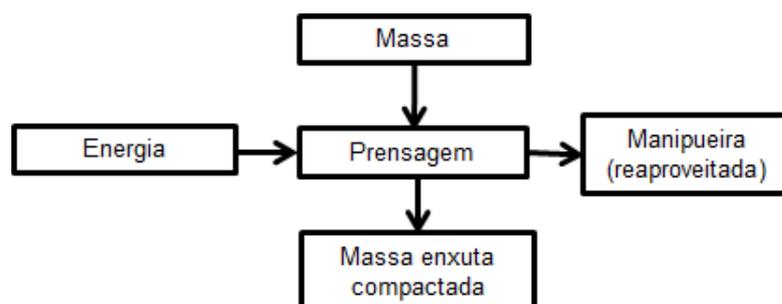


Figura 25 - Processo de prensagem da massa

Esse processo resulta na eliminação de 300 litros de manipueira (efluente líquido) por tonelada de raiz de mandioca, que segue por tubulações apropriadas para o tanque de decantação (CEREDA, 2007).

### g) Esfarelamento

Após o processo de prensagem a massa é retirada em blocos compactos que necessitam de desintegrados, empregando ralador comum com velocidade 600 rpm ou por esfareladores. Um elevador transporta a massa para o esfarelador (Figura 26).

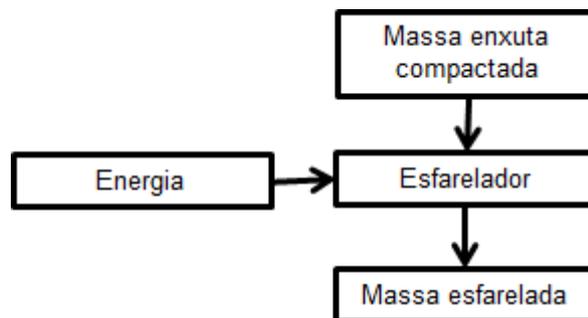


Figura 26 - Processo de esfarelamento da massa

Após o esfarelamento a massa passa por uma peneira vibratória de malha fina, onde são retidas, fibras, pedaços de raízes e cascas que não desintegram suficientemente no processo de ralação. A massa peneirada segue por um sistema de rosca sem fim para o processo de secagem da farinha (Figura 27).

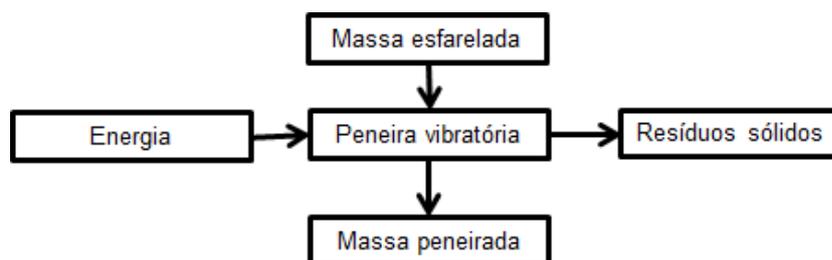


Figura 27 - Processo de peneiramento da massa

Os resíduos sólidos retidos, resultante do peneiramento é conhecido como crueira, que geralmente é aproveitado na fabricação de rações misturados com outros resíduos da mandioca.

## h) Torrefação

O processo de secagem é crucial por influenciar na coloração, sabor e a conservação da farinha, afetando diretamente a qualidade do produto. A secagem no forno tipo paulista consiste numa chapa plana circular aquecida, mediante a queima de lenha, conforme Figura 28. Para secagem de uma tonelada de farinha queima-se 1 m<sup>3</sup> de lenha (CEREDA, 2007). Para produzir farinha fina o forno deve operar em temperatura elevada e a quantidade de massa ser pequena. A massa é espalhada por meio de distribuidor mecânico com peneira vibratória, após atingir o percentual de umidade desejado a farinha é retirada por uma escova giratória acionada mecanicamente. Após o processo de secagem a farinha segue para um depósito para esfriar, a fim de evitar aglomeração e emboloramento.

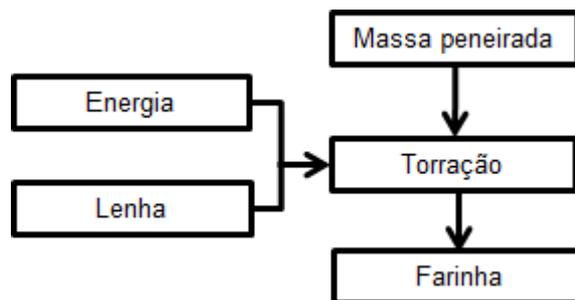
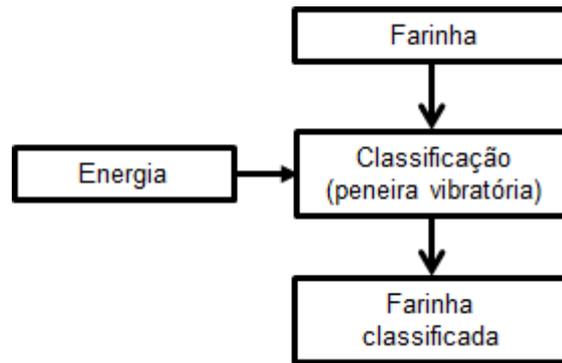


Figura 28 - Processo de secagem da massa

## i) Classificação

Para que o produto final seja homogêneo e obtenha boa classificação, a farinha é desintegrada, sem pulverizá-la, em moinhos de cilindros, de discos, de martelos ou de esmeril para desfazer aglomerados que se formaram durante a torração e esfriamento. A classificação é realizada pela passagem da farinha em uma série de peneiras, com crivos diferentes e padronizados, que separam as partes sólidas maiores, não triturdadas e faz a classificação em uma única passagem, separando farinha fina e farinha grossa, conforme Figura 29.



**Figura 29 - Processo de classificação da farinha**

Após peneirada, a farinha é embalada em sacos de 0,5Kg e 1Kg quando destinado a venda a varejo e em sacos de 50Kg quando venda de grandes quantidades em atacado.

### **3.3 Função, unidade funcional, fronteira do sistema, objetivo e escopo**

A função da farinha amarela é suprir a demanda alimentar, como importante alimento energético rico em carboidratos, apreciada em todo o Brasil, especialmente na Amazônia.

Neste sentido, a unidade funcional foi definida em 1.000Kg de produto, a fim de estabelecer parâmetros para atribuir e avaliar as diferentes categorias de impactos ambientais no decorrer da pesquisa.

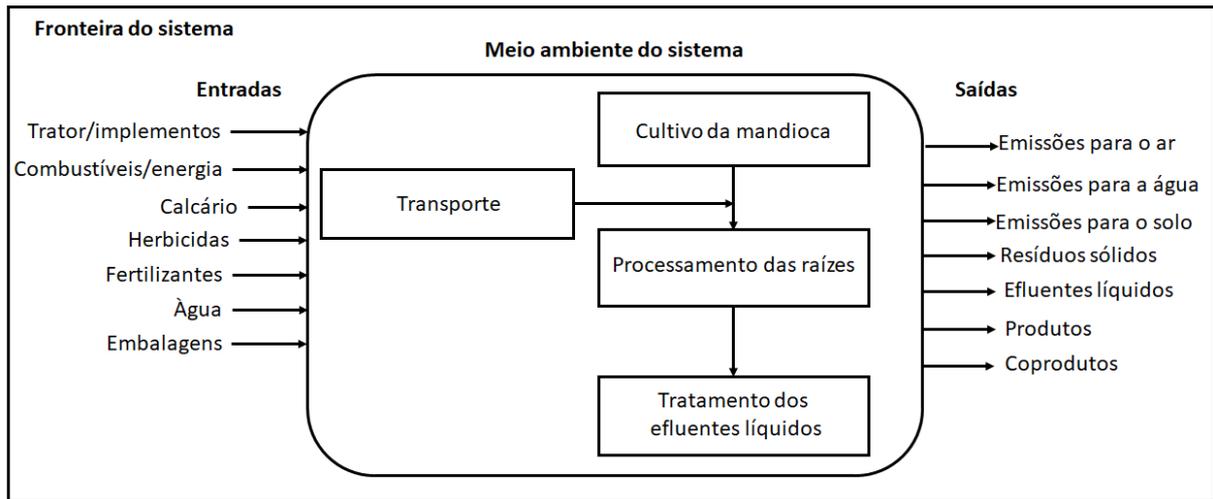
Geograficamente a fronteira do sistema contempla na Região Norte o município de Santarém no Estado do Pará e na Região Sul, o município de Paranaíba no Estado do Paraná.

A abordagem de ACV empregada é do berço ao portão da fábrica e contemplou o transporte, os recursos naturais, as máquinas e implementos agrícolas, o combustível, os insumos agrícolas, o cultivo agrícola, a energia elétrica, a energia térmica, o processamento das raízes de mandioca, os tratamentos dos efluentes líquidos e/ou resíduos sólidos ou o descarte destes diretamente no solo a céu aberto. Neste sentido, não contempla as fases de distribuição e comercialização dos produtos e dos coprodutos.

O meio ambiente do sistema é composto pelo uso do solo, o sistema de cultivo da mandioca, o transporte de insumos e de raízes da mandioca, a produção da farinha

amarela e do tratamento de efluentes líquidos, quando proveniente de processamento industrial.

As saídas do sistema são compostas por emissões para o ar, emissões para o solo e emissões para a água, resíduos sólidos, efluentes líquidos e produtos e coprodutos, conforme representação genérica do diagrama mostrada na Figura 30.



**Figura 30 - Delimitação da fronteira do sistema**

Os limites da fronteira do sistema foram estabelecidos devido à natureza sistêmica da abordagem da ACV, a fim de evitar a expansão indefinida do sistema produto, o aumento dos custos financeiros e do tempo para realização da pesquisa.

Nos processos de transformação para obtenção do derivado da mandioca, farinha amarela, em seus processos elementares, foram descartadas parte da matéria-prima como cascas e entrecasas de mandioca, crueiras, descartes de raízes impróprias para o processamento. A manipueira decorrente do processo de prensagem da massa de mandioca para obtenção da farinha amarela pelo sistema tradicional foi descartada em um buraco no solo, a céu aberto, escavado para esta finalidade.

No sistema industrial os efluentes líquidos, ricos em manipueira, foram canalizados para o biodigestor para a geração de biogás que retorna a referida fábrica, num sistema fechado, para ser queimando e gerar calor utilizado na torrefação da farinha amarela. O biogás não é caracterizado como um coproduto por ser consumido no próprio sistema que o gerou. Atua como produto evitado por reduzir o consumo de lenha na geração de energia térmica.

O grande volume de água, resultante do processo de produção de biogás, é rico em nutrientes como o nitrogênio - N, o fósforo - P e o potássio – K, que podem ser aproveitados na fertirrigação (FERREIRA, BOTELHO e CARDOSO, 2001). Como a fertirrigação está fora das fronteiras dos sistemas de produtos, será considerado na ACV como crédito por NPK evitado.

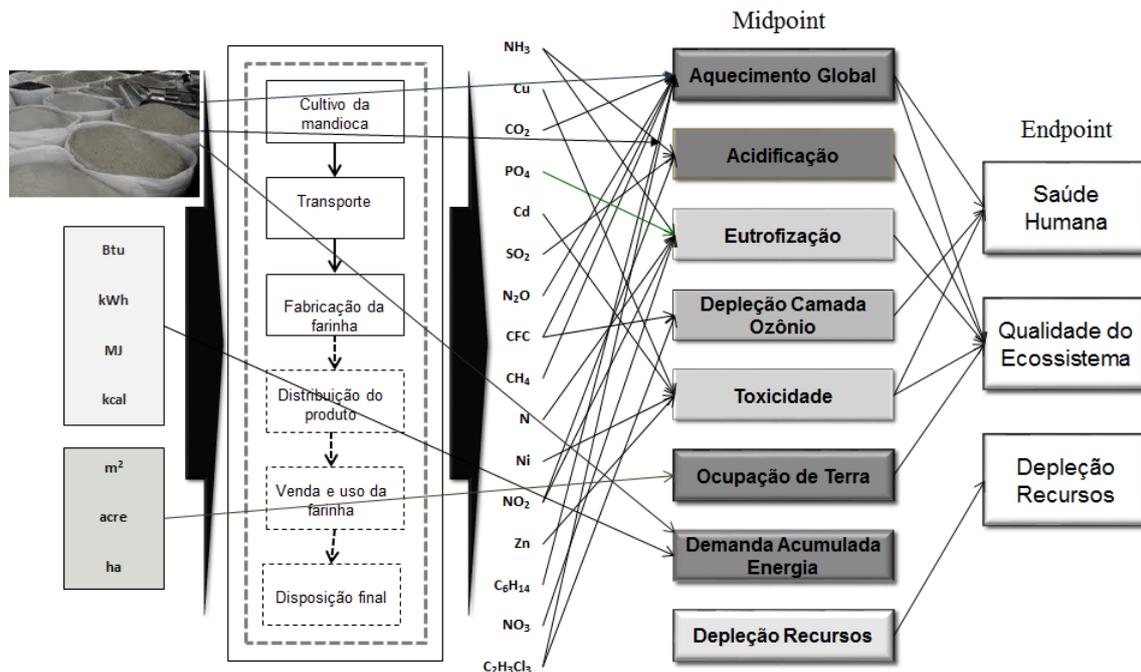
Para a realização da pesquisa, foi necessário definir as categorias de impactos ambientais, a saber: Acidificação, Aquecimento Global, Uso da Terra e Demanda Total Acumulada de Energia, os quais foram avaliados na cadeia produtiva da farinha amarela.

Em geral, sistemas são compostos por um ou mais subsistemas que possuem processos elementares que compõem o sistema produto, de modo a melhorar a visualização e compreensão das entradas e saídas de um processo específico, que descreve as fases de cultivo da mandioca, de transporte e de processamento das raízes para produção da farinha amarela, com seus respectivos subsistemas.

A definições do objetivo e do escopo são fases do processo de ACV que permitem determinar a finalidade do estudo, assim como dos métodos de impactos ambientais da ACV no processo de tomada de decisão (US EPA, 2006).

A ACV do produto farinha amarela, tem como objetivo comparar os impactos ambientais oriundos do sistema tradicional e do sistema industrial de produção deste. Para tanto, faz-se necessário quantificar as entradas e saídas no decorrer do processo produtivo do cultivo da mandioca, do transporte das raízes, do processamento da matéria prima e do tratamento dos resíduos, quando aplicável, resultando no produto pronto no portão da fábrica, especificando os impactos ambientais dos fluxos materiais decorrentes do processo produtivo, respeitando as limitações da fronteira do sistema. A Figura 31 representa o fluxograma das cadeias produtiva da produção de farinha de mandioca amarela do sistema tradicional e do sistema industrial.





Fonte: Adaptado de Goedkoop et al (2013).

**Figura 32 - Mindpoints alvos: Aquecimento Global; Acidificação; Ocupação de Terra e Demanda Total Acumulada de Energia**

Os impactos decorrentes da terra destinada a aterro e da utilização do biofertilizante presente na lama do biodigestor estão fora da fronteira do sistema e, portanto, não serão contabilizados.

Assim, adotou-se uma tonelada de farinha amarela como unidade funcional, que subsidia a atribuição dos impactos ambientais ao produto no decorrer desta pesquisa, que foi desenvolvida englobando a cadeia produtiva da farinha amarela, conforme a ABNT NBR ISO 14040 (2009) e ABNT NBR ISO 14044 (2014).

### 3.4 Ferramentas e métodos para AICV

A fim de melhor compreensão e execução da ACV se faz necessário a elaboração de fluxograma de processos com valores de entradas e saídas definidos, a partir do balanço de massa, do produto nos fluxos de processos para ser analisados por uma ferramenta de AICV como o *software* SimaPro, OpenLCA, dentre outros.

Nesta pesquisa foi utilizado o *Software* SimaPro 8.2.3.0 juntamente com as bases de dados AICV Ecoinvent 3.3, Agri-footprint disponíveis no Grupo de Pesquisa em Avaliação de Ciclo de Vida – CICLOG do Departamento de Engenharia Sanitária

e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), cedido para o processamento dos dados desta pesquisa.

O SimaPro permite coletar dados e analisar o desempenho ambiental de produtos, processos ou serviços, modelar e analisar ciclos de vida complexos numa abordagem holística e transparente em consonância com as recomendações da série ISO 14040. Além do mais, permite a integração a diversos métodos de AICV, inclusive o CML 2001, o IPCC 2007, a Demanda Total Acumulada de Energia, utilizados nesta pesquisa. Permite integração com diferentes bases de dados ICV, tais comoecoinvent e agri-footprint, de modo, a obter resultados categorizados por *mindpoints* e a atender os objetivos da pesquisa.

### 3.5 Impacto ambiental

O Potencial de Acidificação é causado pelo aumento de íons de hidrogênio ( $H^+$ ) em um determinado meio, como a terra, o ar ou a água, e altera o pH destes, tornando ácido, o que pode causar danos a materiais orgânicos e inorgânicos. A elevação da acidez do solo ou da água, motivada pela ação de substâncias acidificantes como o dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), amônia ( $NH_4$ ), óxido nitroso ( $NO_x$ ), representados pelo Kg  $SO_2$  eq, impactam o solo, as águas subterrâneas, as águas superficiais, os organismos, os ecossistemas e os materiais (PRÉ, 2016).

O clima da terra depende do equilíbrio radiativo da atmosfera, associado a radiação solar, e de traços de gases radiotivamente ativos como o dióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ), hexafluoreto de enxofre ( $SF_6$ ), hidrofluorcarboneto ( $HFC_s$ ) e clorofluorcarboneto ( $CFC_s$ ) (Watson et al., 1990). A elevação da concentração dos gases do efeito estufa, causada por ação antrópica, tem gerado preocupação em relação ao potencial de Aquecimento Global, que é estimado no horizonte de 20, 100 ou 500 anos, no modelo de caracterização do IPCC (2006); Althaus et al (2010); IPCC (2014) e Pré (2016).

O Uso da Terra é classificado de acordo com ocupação de determinada área de terra para exercer atividade humana, a qual gera impactos ambientais decorrentes do uso (Koellner et al, 2007). Porém, é importante diferenciar as categorias de impactos e as atividades humanas indutoras destes, que geram trocas físicas e químicas com o meio ambiente (WEIDEMA, LINDEIJER, 2001).

Para Olesen et al (2002), a agricultura realiza a interação entre os ecossistemas e a sociedade, de modo a afetar e ser afetada pelas mudanças das condições ambientais globais. Neste sentido, os ecossistemas agrícolas variam de baixa intensidade a intensivos. Os sistemas de baixa intensidade são caracterizados pela produção agrícola de subsistência, que em geral são pouco produtivos, enquanto sistemas intensivos utilizam mecanização e insumos que aumentam a produtividade. Esse sistema é representado pela agricultura de grande escala.

A Demanda Total Acumulada de Energia – CED, representa a energia utilizada de forma direta ou indireta ao longo do ciclo de vida do produto, expressa em MJ, e contempla as fases de extração, fabricação e descarte de materiais (ALTHAUS et al., 2010). De acordo com Huijbregts et al (2010), a demanda de CED é uma metodologia utilizada desde a década de 1960 na avaliação do ciclo de vida de *commodities*.

### **3.6 ACV da farinha de mandioca amarela no sistema tradicional**

A produção da farinha amarela no sistema tradicional por um grupo familiar que dispõe de uma casa de farinha na Comunidade Boa Esperança em Santarém/PA e uma propriedade rural é composta por 25ha, localizada a 6Km desta. Dos quais 16ha são ocupados com o cultivo de mandioca para a produção de farinha amarela, em cultivos sucessivos, com gradeamento da área com o objetivo de limpar e descompactar o solo. Nesta operação, foram consumidos 10 l/ha de diesel em um trator com 3.300Kg que operou por 3h. Com base nestes dados, utilizando a fórmula de conversão descrita por Nemecek e Kagi (2007) obteve 1,375 Kg de trator por hectare, que normalizados para os 0,42ha correspondente a unidade funcional, obteve o valor de 0,578Kg de trator. O consumo de diesel foi estimado em 10l/h para gradear 1/ha. Então, para preparar 0,42h foram necessários 4,2 litros de diesel, equivalente a 156MJ.

O plantio foi realizado manualmente, com o uso de enxadas, nos meses de janeiro e fevereiro de 2014, período que concentram as chuvas na região. Após o plantio foi aplicado, utilizando pulverizador costal, 3 litros de glifosato por hectare, como herbicida pré-emergente afim de retardar o surgimento de ervas daninhas.

A densidade do Glifosato é de 1,1669Kg/l que multiplicada pelos 3 litros aplicados por hectare resultaram em 3,4917Kg/ha. Assim, para atender a unidade

funcional de 0,42ha foram necessários 1,47Kg de Glifosato. Os tratos culturais foram concluídos com duas capinas com enxada.

A produtividade média de raízes de mandioca obtida na colheita realizada em Santarém no Pará no ano de 2015 e 2016 foi de 11,9 t/ha. A qual ficou abaixo do esperado, comparado aos dados do Brasil (2012) e Brasil (2013) em que a produtividade média do município foi de 14t/ha. A baixa produtividade foi motivada pelo *stress* hídrico ocorrido na região causado pelo fenômeno climático *El Niño* NASA (2016).

A colheita em Santarém/PA geralmente ocorre a partir de 1,5 ano até 2 anos, conforme a necessidade do produtor. Períodos similares foram encontrados na literatura, descritos por Amaral; Jaigobind e Jaisingh (2007) como de 16 a 20 meses, enquanto que para Alves; Modesto Júnior e Leite (2011) esse período varia dos 12 a 18 meses.

A colheita foi realizada de forma manual mediante a remoção da parte aérea da planta, com o corte da planta à aproximadamente 30 cm acima do nível do solo. Posteriormente o tronco é removido mediante esforço físico humano e as raízes, mediante o uso de facão, são desmembradas da cepa eliminando o pedúnculo, pequenos caules remanescentes, que dificultam o descascamento e aumentam o teor de fibra ao produto, conforme Figura 33. Tal procedimento está em conformidade com Araujo e Lopes (2009) e Ferreira Filho et al (2013).



**Figura 33 - Colheita da mandioca em Santarém/PA**

Após a colheita, os resíduos sólidos, a parte aérea e cepa da planta ficam no local da colheita sobre o solo, servindo como cobertura morta na proteção do solo contra a ação do vento, sol e da chuva, além de devolver nutrientes ao solo.

As raízes de mandioca, 5.129,76Kg referente a unidade funcional, foram transportadas por 6Km até ao local de processamento logo após a colheita, em uma caminhonete de duas toneladas, com carroceria de madeira, movida a diesel, totalizando 30,8tKm (Figura 34).



**Figura 34 – Pesando a carga de raízes de mandioca em uma balança industrial**

Ao chegar à casa de farinha as raízes de mandioca são descarregadas diretamente no piso do galpão em local coberto e arejado, com piso acimentado em conformidade com Araujo e Lopes (2009).

O descascamento é realizado manualmente, por um grupo de pessoas, geralmente, da própria família, que utilizam facas para remover a casca marrom juntamente com a entrecasca, de pés e pontas das raízes de mandioca. Na ocasião, o tempo médio obtido para descascar 100Kg de raízes de mandioca por dois descascadores adultos experientes foi de 3,6 horas. O valor é semelhante aos 250Kg de raízes descascados em oito horas, observados por (CHISTÉ et al., 2006).

As raízes descascadas foram acondicionadas em recipientes ao lado de cada descascador, posteriormente depositadas em a) caixas d'água de 1000 litros e b) em gamelas<sup>9</sup> de madeira com capacidade aproximada de 500 litros, conforme Figura 35.

---

<sup>9</sup> Recipiente utilizado para armazenamento temporário de raízes de mandioca, massa de mandioca ou farinha de mandioca, durante as atividades laborais na casa de farinha.



(a) caixa d'água

(b) Gamela de madeira

**Figura 35 - Maceração das raízes de mandioca em caixa d'água e em gamela de madeira**

Neste caso, foram adicionados 4,3 m<sup>3</sup> de água potável proveniente de poço artesiano, até cobrir as raízes totalmente, quando iniciou o processo de maceração para a produção da farinha amarela.

As cascas e raízes descartadas que compõem os resíduos sólidos totalizaram 832,56Kg, as quais foram acondicionadas em sacos de rafia que posteriormente foram levados a área de cultivo de mandioca e espalhados sobre o solo para decomposição natural.

A medida que as raízes de mandioca foram descascadas, iniciou-se o processo de maceração em água, de modo que as primeiras raízes permaneceram imersas em água por até três dias, enquanto as últimas ficam submersas por um dia. Esse método difere do descrito por (BEZERRA, 2006), em que apenas 20 a 25% das raízes são maceradas por um período de 3 a 5 dias, e depois são misturadas com as raízes frescas durante o processo de ralação/moagem das raízes.

A maceração é responsável pelo sabor peculiar, característico da farinha amarela produzida no Pará. Essa é uma das características do produto que o diferencia da farinha produzida industrialmente no Paraná que não utiliza maceração.

Ao retirar as raízes maceradas para ralação, estas são lavadas para eliminar possíveis sujeiras que possam contaminar a farinha. O efluente líquido, rico em carga orgânica, decorrente do processo de maceração e lavagem das raízes é derramado e

canalizado por gravidade, por meio de tubulação, até um buraco no solo, aberto para essa finalidade, cercado por tela galvanizada, localizado ao fundo do quintal, onde ocorre o processo de fermentação a céu aberto. Não havendo tratamento em tanque de decantação como sugere (ARAUJO e LOPES, 2009).

Após a lavagem as raízes são raladas por uma ceva, movida por motor elétrico, composta por um cilindro de madeira com lâminas de aço fixadas em paralelo no sentido longitudinal do eixo, responsáveis pela homogeneização da massa, definição da granulometria e aumento do rendimento do produto.

A massa úmida resultante do processo de ralação cai em uma gamela de madeira posicionada abaixo do ralador. Após a ralação foi adicionado 0,7Kg de corante amarelo a fim de obter a coloração amarelada apreciada pelos consumidores da região. A massa úmida da mandioca decorrente do processo de ralação passa pelo processo de retirada de umidade, em uma prensa artesanal hidráulica, para evitar a fermentação e o escurecimento da massa, conforme Figura 36.



**Figura 36 - Prensagem da massa**

Este processo consiste do acondicionamento da massa em pedaços de sacos de polietileno reaproveitados de *bags* que foram utilizados no transporte de fertilizantes químicos.

A massa úmida é acondicionada em processo de batelada, formando camadas de aproximadamente 44 quilos, envolvidas por sacos de polietileno, separadas por pranchas de madeira, podendo comportar até seis camadas, formando uma pilha. Posteriormente, uma peça retangular de madeira é colocada sobre a pilha e com auxílio de um macaco hidráulico que exerce forte pressão sobre a mesma, forçando a eliminação do excesso da manipueira durante o processo de prensagem da massa

Inicialmente, a massa úmida possui aproximadamente 65% de umidade e após 20 minutos de prensagem são eliminados de 20 a 30% da manipueira Ferreira, Botelho e Cardoso (2001) e Araújo e Lopes (2009). Na eliminação da manipueira, assumiu-se que 0,35Kg (50%) do corante amarelo foi eliminado no processo de prensagem da massa. Após a eliminação pela prensa a manipueira segue por gravidade por tubulação de PVC até ao buraco localizado no quintal.

De acordo com Ferreira, Botelho e Cardoso (2001) e Fioretto (2001), nas casas de farinha o processo de prensagem da massa de mandioca gera 300 litros de manipueira com teor de amido da ordem de 5 a 7%, por tonelada de raízes. No entanto, a manipueira é rica em nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas e portanto pode ser aproveitada como biofertilizante, por apresentar as seguintes quantidade de nutrientes em Kg por 1.000 litros de manipueira: Nitrogênio 1,35Kg equivalente a 3,00Kg de Uréia; Fósforo 0,51Kg equivalente a 2,61Kg de Superfosfato triplo; Potássio 1,69Kg equivalente a 3,38 Kg de Cloreto de potássio; Cálcio 0,16Kg equivalente a 0,45Kg de Coreto de cálcio; Magnésio 0,38Kg equivalente a 3,95Kg de Sulfato de magnésio (FERREIRA, BOTELHO e CARDOSO, 2001) conforme Tabela 4.

A correlação físico-química da manipueira foi calculada com base nos dados de Ferreira; Botelho e Cardoso (2001) e a partir da média de diversos nutrientes presentes na manipueira, obtidos na literatura nos trabalhos de Cereda (1994); Barana (2000), Ferreira; Botelho e Cardoso (2001) e Damasceno et al (1999) *apud* Damasceno (2005), de modo a estabelecer a equivalência com fertilizantes comerciais. Assim, obtiveram-se os seguintes resultados: 7,88Kg de Nitrogênio, 2,20Kg de Fósforo, 5,1Kg de Potássio, 1,63Kg de Cálcio, 5,30Kg de Magnésio e 11,96Kg de DQO.

Tabela 4 – Perfil físico-químico da manipueira em relação a adubação química NPK

Descrição	Adaptado de CEREDA (1994)	Barana (2000)	Adaptado de Ferreira; Botelho e Cardoso (2001)	Damasceno (2005) apud Damasceno et al (1999)	Média (mg/L)	Média (Kg/m <sup>3</sup> )*	Und_Funcional	Und_Funcional
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L			Kg/1.538,7l	Eq. Adubo Kg/1.538,7l
Nitrogênio	4900	1380,6	1350	1600	2307,65	2,308	3,55	7,88
Fósforo	160,84	360,6	510	83,3	278,69	0,279	0,43	2,20
Potássio	1863,5	2191,2	1690	895	1659,93	1,660	2,55	5,1
Cálcio	227,5	931,2	160	184	375,68	0,376	0,58	1,63
Magnésio	405	361,7	380	173	329,93	0,330	0,51	5,30
Ferro	15,35	13,8		8	12,38	0,012	0,02	
zinco	4,2	36,1		4,5	14,93	0,015	0,02	
cobre	1,15	3,43		0,75	1,78	0,002	0,00	
Manganês	3,7	3,17		1,5	2,79	0,003	0,00	
pH	4,1			5,5	4,80	0,00		

\* pH da água de lavagem das raízes, descartada no descascador/lavador

\* Os valores dos elementos químicos, disponíveis na coluna Média (Kg/m<sup>3</sup>), foram utilizados para estimar a quantidade de nutrientes disponíveis nos efluentes líquidos do processamento da farinha amarela no sistema tradicional. A coluna Eq. Adubo foi calculada para conhecer a equivalência em relação a fertilizantes comerciais.

Após sair da prensa, a massa compactada passa por um processo de desagregação manual, peneiramento da massa, realizado com o auxílio de uma peneira com malha de aço disposta sobre uma gamela de madeira em que ocorre o esfarelamento manual da massa e subseqüentemente o peneiramento da massa, uniformizando-a, separando crueiras, que, neste caso, resultou em 57,97Kg, deixando a massa pronta para o processo de grolagem e torra, conforme Figura 37.



**Figura 37 - Peneiramento da massa**

Nesta fase, a numeração do crivo da peneira determina a granulometria da farinha ao eliminar crueiras cruas. Estas podem ser aproveitadas como ração animal na própria propriedade.

O escaldamento ou grolagem é uma parte fundamental no processo de fabricação da farinha por dar sabor característico ao produto e eliminar parte do ácido cianídrico que é nocivo ao ser humano.

Porém, antes de iniciar o processo de grolagem da massa ou a torrefação da farinha, o forno é untado com óleo de soja, a fim de evitar o agarramento da massa ao forno e facilitar a movimentação da mesma sobre a superfície aquecida. Neste caso, foi estimado entorno de 2,13Kg de óleo de soja correlacionado com a quantidade de massa necessária para atender a unidade funcional.

A grolagem consiste no aquecimento da massa a uma temperatura de aproximadamente 90°C, menor que a utilizada no processo de torração, com a finalidade de aumentar a granulometria da farinha, característica apreciada na região Amazônica. A massa é distribuída lentamente em toda a superfície plana de uma chapa de ferro que fica sob a ação direta do fogo a lenha. Um giro mecânico com paletas de madeira, acionado por um motor elétrico, movimenta continuamente a massa sobre a chapa de ferro por 30 minutos. De modo complementar, uma pessoa com uma paleta de madeira, movimenta a massa nos locais em que as paletas mecânicas não alcançam a fim de evitar a formação de grumos grandes, deixando a farinha “solta”, procedimento similar ao descrito por (BEZERRA, 2006).

O processo de torrefação ocorre após a grolagem da massa, parte importante da fabricação de farinha de mandioca por exercer influência na qualidade do produto, pois afeta a coloração, sabor e conservação durante o transporte e armazenamento.

Após a grolagem a massa é distribuída lentamente em finas camadas sobre o forno de torração, aquecido a 140°C, em que é movimentada continuamente, com o auxílio de um giro mecânico com paletas de madeira, por um período de 30 minutos até atingir valores abaixo de 12% de umidade, apresentando características regionais com cor, sabor e textura, conforme Figura 38.



**Figura 38 - Processo de torrefação da farinha amarela**

É importante ressaltar que a lenha utilizada no processo de grolagem e torrefação não deve produzir fumaça, sob pena de comprometer a qualidade da farinha (BEZERRA, 2006).

De acordo com Cereda (2007) utiliza-se 1m<sup>3</sup> de lenha para torrificar uma tonelada de farinha num forno tipo paulista<sup>10</sup>. Segundo Modesto Júnior e Alves (2015), são necessários 2,4 m<sup>3(st)</sup> de lenha de madeira nativa, para produzir uma tonelada de farinha, considerando o rendimento de 25% na conversão de raízes de mandioca em farinha.

Ao término do processo de torrefação a farinha é retirada do forno e armazenada temporariamente em um cocho de madeira até atingir a temperatura desejada, completando a secagem da massa, conforme Figura 39. Esse processo é fundamental para o armazenamento, quando bem feito, impede o surgimento de bolores e aglomerações dos grânulos de farinha (BEZERRA, 2006).

---

<sup>10</sup> Forno rotativo semiautomático utilizado na torrefação da farinha de mandioca.



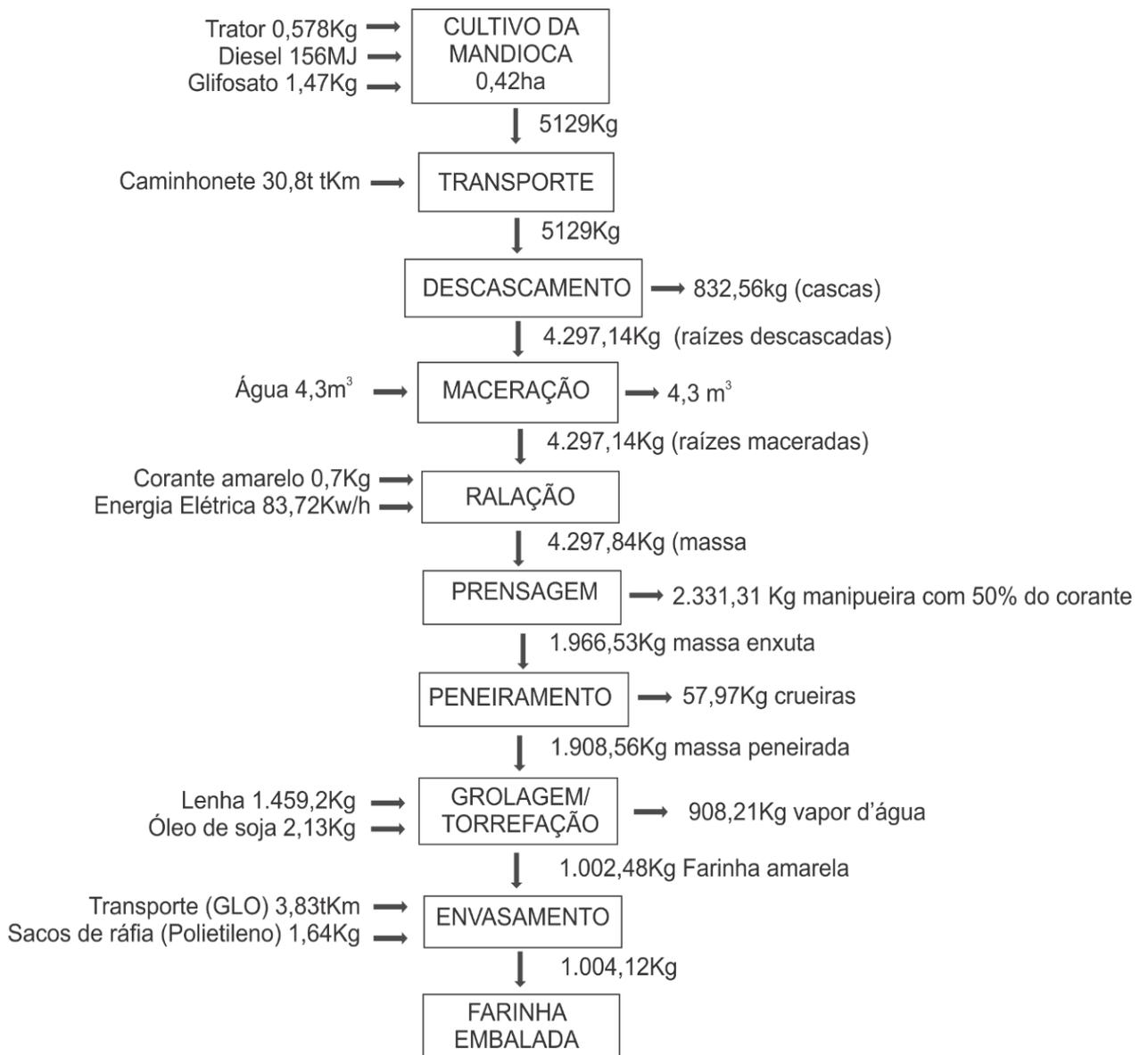
**Figura 39 - Retirada da farinha amarela do processo de torrefação**

A farinha de mandioca é embalada manualmente em sacos de rafia com forro, em unidades de 50Kg destinado a venda em feiras livres. Em geral, a produção semanal é pequena e não requer infraestrutura especial para armazenagem do produto. Para acondicionar uma tonelada de farinha amarela são necessários 20 sacos de rafia, totalizando 1,64Kg, com capacidade de armazenagem de 50Kg.

No decorrer dos processos de transformação das raízes de mandioca em farinha ocorrem perdas e adições representadas no balanço de massa (Figura 40) e (Anexo 4). Inicialmente, houve a entrada de 5.129Kg de raízes de mandioca para atender a unidade funcional, que foram transportadas da área de cultivo até a casa de farinha a um custo de 30,8tKm. Já na casa de farinha foi realizado o descascamento manual das raízes de mandioca, eliminando a casca e a entrecasca com o uso de facas. Esse processo resultou na eliminação de 832,56Kg de cascas. Após o descascamento as raízes foram submersas, em aproximadamente 4,3m<sup>3</sup> de água limpa por até 3 dias, em um processo de maceração. Ao retirar as raízes maceradas o efluente líquido foi descartado em um buraco a céu aberto, sem passar por qualquer processo de tratamento.

Em seguida, os 2.297,14Kg de raízes maceradas foram raladas. Após a ralação ocorreu a adição de 0,7Kg de corante amarelo, totalizando 4.297,84Kg de massa úmida. Essa massa passou pelo processo de prensagem, onde foram eliminados 2.331,31Kg de manipueira, descartado no buraco a céu aberto. Neste caso, assumiu-se que 50%, ou seja, 0,45Kg do corante foi eliminado.

Na fase seguinte, após ser retirada da prensa, as placas compactadas de massa enxuta foram desagregadas durante o processo de peneiramento, eliminando 57,97Kg de crujeiras. Então, a massa peneirada foi submetida aos processos de grolagem e torrefação, que utilizou 2,13Kg de óleo de soja para untar o forno. Esse processo eliminou 908,21Kg na forma de vapor d'água, totalizando 1.000Kg de farinha amarela, sem considerar as frações de corante amarelo e de óleo de soja adicionados.



**Figura 40 - Balanço de massa da farinha amarela no sistema tradicional**

Os valores relacionados a unidade funcional são apresentados na tabela de inventário sintetizada, de modo a dar uma visão geral das principais entradas e saídas que compõem a ACV da farinha amarela produzida no sistema tradicional (FA\_Trad).

De modo que no Quadro 1, são apresentados os valores das principais entradas e saídas da fase de cultivo da mandioca, do transporte das raízes e do processamento destas para a produção da farinha amarela. Assim, na fase agrícola para atender a unidade funcional, foram necessários 0,42ha de área, 156MJ de diesel, 0,578Kg de trator e 1,47Kg do herbicida Glifosato. O que resultou na produção de 5.129Kg de raízes de mandioca, as quais necessitou de 30,8tKm para ser transportadas da área de cultivo até a casa de farinha.

**Quadro 1 - Dados inventariados de produção da farinha amarela produzida no sistema tradicional**

Descrição		FA Trad.
	Unidade	
<b>ENTRADAS</b>		
Área	ha	0,42
Diesel (total)	MJ	156
Trator	Kg	0,578
Glifosato	Kg	1,47
<b>SAÍDAS</b>		
Raízes de mandioca	Kg	5.129
<b>TRANSPORTE</b>		
Transporte das raízes	tKm	30,8
<b>PROCESSAMENTO</b>		
Cascas de mandioca	Kg	832,56
Água de maceração	M <sup>3</sup>	4,3
Corante amarelo	Kg	0,7
Manipueira	M <sup>3</sup>	2,33
Energia elétrica	kW/h	83,7
Lenha	Kg	1.459,2
Sacos de rafia (polietileno)	Kg	1,64

Durante a fase de processamento das raízes de mandioca 832,56Kg eram de cascas que foram removidas das raízes, e posteriormente 4,3m<sup>3</sup> de água foram utilizados no processo de maceração das raízes. Após a ralação, houve a adição de 0,7Kg de corante amarelo e durante o processo de prensagem resultou na eliminação de 2.33m<sup>3</sup> de manipueira.

O consumo de energia elétrica, por motores elétricos, foi de 83,7Kw/h, (Anexo 5). Também foram queimados 1.459,2Kg de lenha para a geração de energia térmica

para aquecimento dos fornos. No acondicionamento da farinha amarela foram utilizados 1,64Kg de sacos de rafia.

### **3.7 ACV da farinha de mandioca amarela no sistema industrial**

A produção da farinha de mandioca amarela advém da agricultura industrial caracterizada pela monocultura explorada em grandes áreas utilizando máquinas, implementos agrícolas e insumos agroquímicos e orgânicos, tornando possível cultivar a mesma área sucessivamente, mantendo alta produtividade por hectare de raízes de mandioca.

Os dados de cultivo que subsidiaram esta pesquisa são provenientes de uma propriedade rural no município de Xambê - PR, que fornece raízes de mandioca para a Indústria Farinheira Grupo Pioneira Ltda. A área cultivada apresenta solo predominantemente arenoso, considerado na região como ideal para o cultivo da mandioca por propiciar boa produtividade de raízes de mandioca, e ser de fácil escarificação mecânica o que facilita o arranquio.

A tipificação do solo apresentado pelo agricultor está em conformidade com Takahashi (1988), que descreve o tipo de solo predominante no município de Paranavaí/PR, composto por 89% de areia, 10% de argila e 1% de silte. Classificado como Podzólico Vermelho Amarelo distrófico (EMBRAPA, 1984) *apud* (TAKAHASHI, 1988).

O tipo climático predominante na região é o Cfa, subtropical úmido mesotérmico, segundo a classificação de Koeppen e que se caracteriza pela predominância de verões quentes, baixa frequência de geadas severas e tendência de concentração de chuvas no verão (TAKAHASHI, 1988).

O preparo do solo ocorre com o uso intensivo de máquinas, equipamentos e insumos agrícolas objetivando o ganho de produtividade por hectare. A fase de cultivo da mandioca é caracterizada por sequências de revolvimento de solo. Inicialmente se faz o primeiro gradeamento com subsequente distribuição de 1.240Kg/ha de calcário para correção da acidez do solo, seguido de novo gradeamento e uma operação com arado de discos. A aplicação de calcário, em geral, é repetida num período de quatro anos. Por esse motivo, para efeito de cálculos foram considerados 310Kg/ha ao ano.

Posteriormente, ocorreu o levantamento dos terraços, a fim de evitar perda de solo e nutrientes por escoamento por águas pluviais. O preparo do solo é concluído

com o nivelamento da área mediante o uso de uma gradagem leve para eliminar torrões e bolsões de ar sob o solo que possam prejudicar o desenvolvimento das raízes de mandioca.

O plantio é realizado mecanicamente com o auxílio de uma plantadeira semimecanizada, acoplada a um trator, alimentada manualmente com manivas inteiras, por dois operadores. A plantadeira pica as manivas e faz o plantio destas em fileiras de acordo com o espaçamento, comprimento e largura, pré-determinado antes do plantio durante a configuração do equipamento.

A adubação com fertilizantes químicos equivalente a 165,29Kg/ha da formulação NPK 5 - 16 – 20, distribuída sobre a superfície do solo na proporção de 8,26Kg de N, 26,45Kg de P e 33,06Kg de K. Então, no cultivo de uma área de 0,09ha, referente a unidade funcional, a quantidade de fertilizantes químicos aplicados são 0,74Kg de N, 2,37Kg de P e 2,98Kg de K.

Após o plantio tem início as operações de tratos culturais com a aplicação do herbicida pré-emergente Sinerge na dosagem de 3,39 l/ha a fim de retardar a germinação de ervas daninhas. Após 50 dias ocorre nova aplicação do herbicida pós-emergente de efeito seletivo Verdict na dosagem de 0,83 l/ha para eliminação de plantas de folhas estreitas.

A partir do oitavo mês a um ano é realizada a poda da parte aérea da mandioca a aproximadamente 25 cm acima do nível do solo. Tal procedimento tem como finalidade facilitar operações com máquinas agrícolas durante a realização de tratos culturais.

Na região de Paranavaí/PR, com certa frequência, o cultivo de mandioca é acometido por infestação da lagarta Mandarová-da-Mandioca (*Erinnyis ello*), que é tratada com aplicações de baclovirus, inseticida biológico, na proporção de 200ml por alqueire<sup>11</sup>. O último controle químico de ervas daninhas foi composto pela mistura de três herbicidas, nas seguintes dosagens por hectare: 4,13Kg de Roundup (0,37Kg/0,09ha), 1,97Kg de Diuron Nortox 500 SC (0,18Kg/0,09ha) e 1,02Kg de DMA 2,4 D (0,09Kg/0,09ha). Além do controle químico de ervas daninhas, foram realizadas três capinas manuais para a remoção de moitas, aos 90, 130 e aos 180 dias após o plantio.

---

<sup>11</sup> Unidade de medida de superfície agrária que possui diferentes equivalências em hectares dependendo do Unidade da Federação. No Estado do Pará equivale a 4,84ha e no Estado do Paraná equivale a 2,42ha.

As operações agrícolas, referente a um hectare, foram realizadas utilizando um trator de pneu de aproximadamente 5.300Kg com vida útil estimada em 7.200 horas, que operou aproximadamente 12,22h. Com base nestes dados foi possível estimar o consumo de trator em 8,99Kg/ha conforme Nemecek e Kagi (2007).

O consumo de diesel durante as operações agrícolas necessárias para o cultivo da mandioca foi estimado em 79,96Kg por hectare. Esse valor foi convertido ao equivalente a 3.432,8MJ/ha, com base nos dados de Brasil (2015b). Neste valor não está incluso o diesel consumido durante as operações de colheita, por estar contabilizado nos *datasets* referente as operações de colheita.

O sistema industrial de produção dos derivados de mandioca, representados nesta pesquisa pela farinha amarela, é similar em outras propriedades na região de Paranaíba/PR.

A colheita da mandioca inicia a partir dos 18 meses após o plantio, a qual é realizada com o auxílio de máquinas e implementos que são acoplados ao trator, desenvolvidos para essa função. O conjunto é composto por uma roçadeira adaptada na parte da frente do trator, capaz de podar os arbustos da mandioca a aproximadamente 30 cm acima do nível do solo, fragmentando o restante da parte aérea da planta em pequenos pedaços que ficam sobre o solo. Na parte traseira do trator é acoplado um “afoador” composto por um disco de corte frontal que tem como finalidade cortar partes vegetativas evitando o acúmulo destes no suporte do afoador, acionado pelo hidráulico do trator. O afoador penetra no solo, no centro da entrelinha, abaixo do nível das raízes tuberosas da mandioca, escarificando o solo e elevando as raízes no sentido da superfície do terreno, conforme Figura 41. Tais procedimentos estão em conformidade com Amaral, Jaigobind e Jaisingh (2007).



**Figura 41 - Roçadeira e afofador acoplados ao trator**

Na sequência, os trabalhadores retiram manualmente cada tronco do solo e com o auxílio de um facão desmembram as raízes da cepa e armazenam em *bags* com capacidade de armazenamento de 600Kg.

Após atingir a meta de colheita do dia, o afofador é retirado do trator e em seu lugar é acoplado um guincho que é utilizado para içar e transportar os *bags*, com o auxílio do trator, até duas caçambas basculante, com capacidade de transportar até 20 toneladas cada, as quais foram previamente deixadas sobre o solo, repetindo o processo até que estejam carregadas, conforme Figura 42.



**Figura 42 - Carregamento da caçamba a basculante**

Antes de sair da lavoura a carga é coberta com lona para proteção das raízes a fim de evitar acidentes durante o transporte até a indústria, que em média é de 75Km, o qual é realizado imediatamente após a colheita, de modo a evitar a fermentação e consequente perda de qualidade das raízes. Desse modo, a operação de transporte das raízes equivalem a 239,25tKm, conforme Spielmann et al. (2007).

Ao chegar na indústria a carga é pesada em balança industrial e encaminhada para o descarregamento em um dos dois silos, que tem capacidade para armazenar 20 toneladas, e juntos podem receber até 40t de raízes de mandioca. Estes alimentam o descascador/lavador de raízes através de um sistema de rosca sem fim, posicionado no fundo do silo (Figura 43).



**Figura 43 - Descarregamento das raízes de mandioca no silo**

Após a descarga é colhida uma amostra de 7 quilos de raízes para determinar o teor de amido por meio da pesagem em balança hidrostática. Descrição similar é encontrada em Amaral, Jaigobind e Jaisingh (2007) e Alves (2012).

O descascamento e a lavagem das raízes de mandioca ocorrem de forma simultânea em descascadores semicilíndricos, em um processo contínuo, em que as raízes são friccionadas constantemente entre si e com as grades do ralador, movimentadas por hastes metálicas (ou de madeira), em posição helicoidal, arrastam as raízes pela extensão do lavador. A descrição está em conformidade com o processo descrito por Pinto (2013).

Inicialmente, as raízes são friccionadas entre-se e as paredes do lavador a seco, à medida que as raízes são deslocadas pelo descascador é adicionada água limpa e na parte final da lavagem é adicionada água residual, manípueira proveniente da prensa pneumática. Durante o descascamento e lavagem das raízes no descascador/lavador a casca marrom ou casquinha caem em uma calha, juntamente com a água de lavagem por frestas embaixo do descascador/lavador e seguem, bombeada, por tubulação para uma área externa próxima ao biodigestor, onde as casquinhas são separadas da água com terra mecanicamente, conforme Figura 44.



**Figura 44. Separador mecânico de casquinha e água residual de lavagem das raízes**

O processo de lavagem consome  $9,3\text{m}^3$  de água para lavar  $3,19$  toneladas de raízes de mandioca frescas, que equivale a  $2,9\text{m}^3$  por tonelada de raízes. Volume de água utilizado encontra-se na faixa de  $2$  a  $3\text{m}^3$  estimado por Cereda e Vilpoux (2003).

A Farinheira Pioneira Ltda estima que o percentual de casquinha<sup>12</sup> é de aproximadamente 8%, que resulta em  $255,2\text{Kg}$ . Diferindo dos 2 a 5% das raízes processadas descritos por Cereda (1996). Estes percentuais podem variar dependendo do tipo de solo do local de cultivo e do teor de umidade deste no momento da colheita.

As casquinhas úmidas são amontoadas e vendidas para compor ração animal. A água residual, contendo matéria orgânica e terra, segue por gravidade por um sistema de calhas, em que a terra é decantada, e a água residual segue para

<sup>12</sup> Nome atribuído a casca fina de cor marrom da mandioca que fica sobre a entrecasca.

biodigestor para produção de biogás. Quando as calhas são limpas a terra removida, equivalente a 95,7Kg ou a 3% dos 3.190Kg de raízes que compõe montante da unidade funcional, é devolvida a lavoura.

Após descascadas e lavadas as raízes passam por uma esteira transportadora, onde é realizada a seleção manual para retirada de materiais estranhos ou inapropriados para o processamento, colocados em um recipiente, depois segue para compor os resíduos sólidos, juntamente com a casquinha. As raízes mal descascadas são colocadas em uma esteira de retorno até ao descascador/lavador para repetir o processo de descascamento e lavagem.

Após a repinicação as raízes de mandioca seguem para o picador onde são fragmentadas em pedaços de 3 a 5 cm a fim de melhorar a eficiência da ralação. Os pedaços seguem por um sistema de rosca helicoidal para a caixa de armazenagem, dosadora da cevadeira.

Os fragmentos de raízes de mandioca são submetidos a cevadeira que os desintegram, causando o rompimento celular, liberando os grânulos de amido, resultando em uma massa pastosa.

Afim de eliminar o excesso de umidade a massa úmida segue para a caixa de armazenagem que alimenta, sob demanda, o filtro prensa pneumático que elimina cerca de 300 litros de manipueira (efluente líquido) por tonelada de raízes frescas (FIORETTO, 2001). Que equivalem a 0,957 m<sup>3</sup>, relativo a unidade funcional, que segue por tubulações apropriadas para o biodigestor, conforme Figura 45.



**Figura 45 - Filtro prensa pneumático**

Nesta pesquisa, a composição físico-químico da manipueira, descrita por Ferreira, Botelho e Cardoso (2001); Damasceno et al (1999) *apud* Damasceno (2005) e Silva (2009), é embasada em conformidade com Ferreira, Botelho e Cardoso (2001), que correlaciona as equivalências dos principais nutrientes químicos presentes na manipueira com a composição físico-químico encontrada em fertilizantes comerciais (Tabela 5):

**Tabela 5 - composição físico-químico da manipueira e sua equivalência com fertilizantes comerciais**

Ferreira, Botelho e Cardoso (2001)				Damasceno et al (1999) <i>apud</i> Damasceno (2005)	Silva (2009)	Média (Kg/m <sup>3</sup> )	Und_Funcional	Und_Funcional
Nutriente	(Kg/1.000l)	Eq. Adubo (Kg/1.000l)		(Kg/1.000l)			(Kg/1.882,1l)	Eq. Adubo (Kg/1.882,1l)
Nitrogênio	3,42	Ureia	7,620	1,6	1,73	2,25	4,23	9,42
Fósforo	0,70	Superfosfato triplo	3,45	0,0833	0,7	0,49	0,92	4,53
Potássio	3,09	Cloreto de potássio	6,20	0,895	3,91	2,63	4,94	9,91
Cálcio	0,19	Carbonato de cálcio	0,54	0,184	0,26	0,21	0,39	1,1
Magnésio	0,60	Sulfato de magnésio	6,27	0,173	0,71	0,49	0,92	9,61
Enxofre				0,038			0,071	
Ferro				0,008			0,015	
Zinco				0,0045			0,0084	
Manganês				0,0015			0,0028	
Cobre				0,00075			0,0014	

**Fonte: Adaptado de Ferreira, Botelho e Cardoso (2001)**

\* Os valores dos elementos químicos, disponíveis na coluna Média (Kg/m<sup>3</sup>), foram utilizados para estimar a quantidade de nutrientes disponíveis nos efluentes líquidos do processamento da farinha amarela no sistema tradicional. A coluna Eq. Adubo foi calculada para conhecer a equivalência em relação a fertilizantes comerciais.

A correlação físico-química da manipueira foi calculada com base nos dados de Ferreira, Botelho e Cardoso (2001), a partir da média de diversos nutrientes presentes na manipueira, obtidos na literatura nos trabalhos de Cereda (1994), Barana (2000); Ferreira, Botelho e Cardoso (2001); e Damasceno et al (1999) *apud* Damasceno (2005), de modo a estabelecer a equivalência com fertilizantes comerciais. 9,42Kg de Uréia, 4,53Kg de Superfosfato tripulo, 9,91Kg Cloreto de potássio, 1,1Kg de Carbonato de cálcio, 9,61Kg de Sulfato de magnésio e 11,96Kg de DQO.

A manipueira extraída durante o processo de prensagem da massa para produção da farinha amarela não difere do processo de produção da farinha branca, por não haver o processo de maceração das raízes e a adição de corante, na ordem de 0,06g por saca de farinha, o qual é adicionado após o processo de prensagem da massa. Desse modo, não há alteração na composição da manipueira por tais processos.

Depois, o filtro prensa libera automaticamente a massa compactada em placas, no cocho de armazenagem de massa enxuta, posicionado abaixo deste, a qual segue por sistema helicoidal, onde é adicionado corante amarelo, responsável pela

coloração amarela da farinha, que pode variar de amarelo claro ou amarelo escuro, conforme solicitação do cliente.

As placas de massa compactadas passam pelo esfarelador que desintegra as placas deixando a massa desagregada em pequenas partículas de coloração amarelada, quando destinada a produção de farinha amarela.

Então, a massa desintegrada passa por dois fornos sequenciais (Figura 46), no primeiro forno ocorre o pré-cozimento/grolagem, que durante o percurso por este, grola a massa e determina a granulometria da farinha de acordo com a entrada de ar predeterminada, e no segundo forno ocorre a torrefação final da farinha, reduzindo o teor de umidade para aproximadamente 11%, que permite aumentar a durabilidade da farinha e atende a Portaria n. 554, de 30 de agosto de 1995 (BRASIL, 1995).



**Figura 46 - Fornos de grolagem e torrefação**

Os fornos são alimentados com aproximadamente 30% de lenha de eucalipto e 70% de biogás oriundo do processo de biodigestão anaeróbia dos efluentes líquidos, provenientes da industrialização das raízes de mandioca, que são convertidos em biogás em dois biodigestores que compõem a indústria.

Com base nos dados de Guimarães, Teixeira e Santos (2014), foi possível estimar o consumo de lenha em 143,55Kg, com poder calorífico estimado em 2.500kcal, para produzir uma tonelada de farinha amarela, tendo como entrada

3.190Kg de raízes de mandioca, referente a unidade funcional, que resultou em 358,875kcal ou 1.585,21MJ.

A energia térmica responsável pelos processos de escaldamento/grolagem e torrefação da farinha é proveniente da caldeira, a qual queima 30% de lenha, equivalente a 43,6Kg ou 475,76MJ, e 70% de biogás ou 1.109,65MJ.

O biogás produzido internamente durante o processo de tratamento dos efluentes líquidos, formando um sistema fechado por ser consumido localmente, evitando a emissão de metano para a atmosfera.

A farinha é padronizada por meio de um sistema de peneiras de padronização, com numeração em par que varia de 6mm a 18mm, que classifica a farinha na granulometria desejada (Figura 47).



**Figura 47 - Peneiras de classificação da farinha**

A farinha grossa retida nas peneiras é encaminhada para o moinho de martelo, que a tritura, então é retornada ao sistema de peneiras, constituindo um sistema cíclico até atingir a granulometria desejada. Quanto menor o número do furo, maior é o grânulo de farinha.

A farinha amarela é acondicionada em sacos de ráfia, forrado, com capacidade para 50Kg. Cada saco é posicionado sobre uma balança, então a farinha é liberada por gravidade por meio de uma escotilha até atingir o peso desejado, então o saco é costurado e estocado, conforme Figura 48.

Cada unidade de saco de rafia, polietileno, contém 0,082g. Destarte, são necessárias 20 unidades necessária para armazenar 1000Kg de farinha, o que resulta no montante de 1,64Kg de sacos.

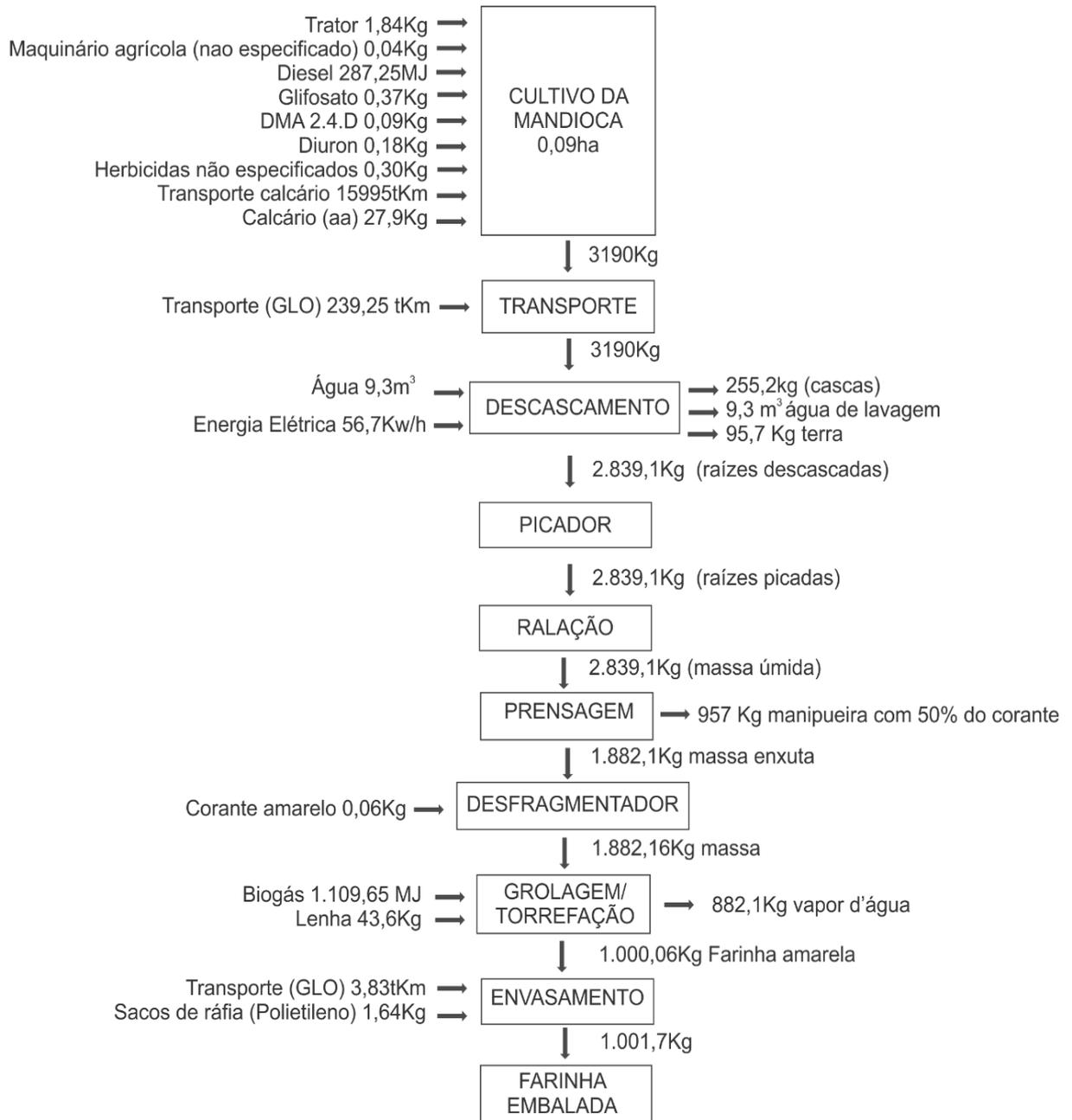


**Figura 48 - Envasamento da farinha amarela**

No decorrer dos processos de conversão das raízes de mandioca em farinha ocorrem perdas e adições representadas no balanço de massa, conforme Figura 49. Inicialmente, houve a entrada de 3.190Kg de raízes de mandioca para atender a unidade funcional, que foram transportadas da área de cultivo até a indústria farinheira a um custo de 239,25tKm. Na indústria, durante o descascamento e lavagem das raízes foram utilizados 9,3m<sup>3</sup> de água limpa, que após o uso, misturada com a casquina marrom, seguiram para um equipamento que separou mecanicamente 255,2Kg de casquinhas marrom dos 9,3m<sup>3</sup> de efluente que seguiu para o biodigestor. Não foram consideradas perdas nos processos de picagem das raízes e ralação. Já no processo de prensagem da massa foram eliminados 957Kg de manipueira que seguiu para o biodigestor.

Após a saída da massa enxuta da prensa ser depositada no “cocho” abaixo desta, é adicionado 0,06Kg de corante amarelo, totalizando 1.882,16Kg que segue para o desfragmentador, onde possíveis perdas de massa não foram consideradas.

Nos processos de grolagem e torrefação 882,1Kg foram eliminados na forma de vapor d’água, totalizando 1.000Kg de farinha amarela, sem considerar as frações de corante amarelo.



**Figura 49 - Balanço de massa da farinha amarela produzida no sistema industrial.**

Os valores relacionados a unidade funcional são apresentados no Quadro 2 de inventário sintetizado, de modo a dar uma visão geral das principais entradas e saídas que compõem a ACV da farinha amarela produzida no sistema industrial (FA\_Ind). De modo a apresentar os valores das principais entradas e saídas da fase de cultivo da mandioca, do transporte das raízes e do processamento destas para a produção da farinha amarela.

**Quadro 2 - Dados inventariados de produção da farinha amarela produzida no sistema industrial**

Descrição		FA_Ind.
	Unidade	Montante/UF
<b>ENTRADAS</b>		
Área	ha	0,09
Diesel (total)	MJ	287,25
Trator	Kg	1,84
Maquinário agrícola	Kg	0,04
Nitrogênio	Kg	0,74
Fósforo	Kg	2,63
Potássio	Kg	2,98
Diuron	Kg	0,18
DMA 2,4 D	Kg	0,09
Glifosato	Kg	0,37
Herbicidas não especificados	Kg	0,30
Calcário (aa.)	Kg	27,9
<b>SAÍDAS</b>		
Raízes de mandioca	Kg	3190
<b>TRANSPORTE</b>		
Transporte das raízes	tKm	239,25
<b>PROCESSAMENTO</b>		
Água lavagem (raízes)	Kg	9.300
Energia elétrica	kW/h	56,7
Cascas de mandioca	Kg	255,2
Terra	Kg	95,7
Manipueira	m <sup>3</sup>	0,957
Corante amarelo	Kg	0,06
Lenha	Kg	43,6
Biogás	MJ	1.109,65
Sacos de rafia (polietileno)	Kg	1,64

Assim, na fase agrícola para atender a unidade funcional foram necessários 0,09ha de área, 287,25MJ de diesel, 1,84Kg de trator, 0,04Kg de maquinário agrícola diversos. Na adubação química foram utilizados 0,74Kg de nitrogênio, 2,63Kg de fósforo e 2,98Kg de potássio. Para o controle de ervas daninhas foram aplicados 0,09Kg de DMA 2,4D, 0,37Kg de Glifosato, e 0,30Kg de herbicidas não especificados. Também foi aplicado 27,9Kg de calcário ao ano, considerando que a duração deste no solo por 4 anos.

Tais procedimentos resultaram na produção de 3.190Kg de raízes de mandioca, as quais necessitaram de 239,25tKm para ser transportadas da área da lavoura até a indústria farinheira.

Durante a fase de processamento das raízes, no descascamento e lavagem destas foram utilizados 9.300Kg de água limpa e cerca de 10% da manipueira eliminada no processo de prensagem da massa na parte final da lavagem das raízes. Os 9.300Kg de água seguem, carregada de terra e casquinha marrom até um equipamento que separa mecanicamente aproximadamente 255,2Kg de casquinhas marrom do efluente líquido composto por partes orgânicas e terra que seguem por gravidade e passa pelo processo de decantação depositando cerca de 95,7Kg de terra no fundo da lagoa de decantação e os 9.300Kg de efluente líquido alimenta o biodigestor. Neste processo, foram atribuídos 56,7Kw/h referente ao consumo de energia elétrica, agregado, consumido pela indústria para atender a unidade funcional.

Após a prensa foi adicionado 0.06Kg de corante amarelo a massa enxuta que segue para o desfragmentador e subsequentemente passa pelo processo de grolagem e torrefação que consome 43,6Kg de lenha e 1.109,65MJ proveniente da queima de biogás gerado no biodigestor na própria indústria farinheira. Também foram utilizados 1,64Kg de sacos de rafia no acondicionamento de uma tonelada de farinha amarela.

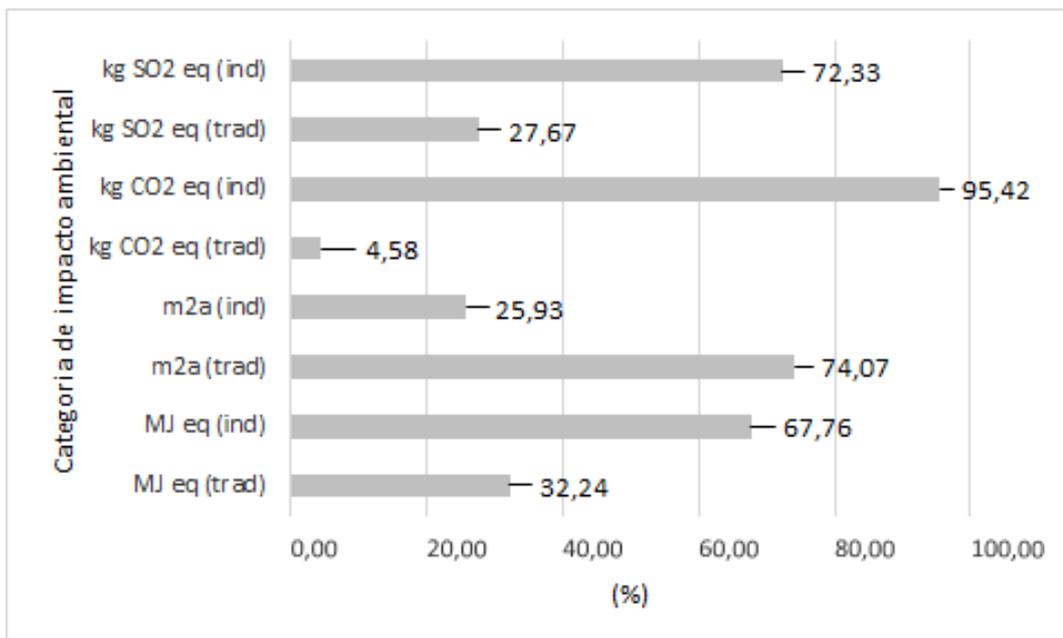
## 4 AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL NO CICLO DE VIDA DA FARINHA AMARELA

A ACV é uma ferramenta metodológica que possibilita quantificar os impactos ambientais no ciclo de vida dos produtos, serviços ou atividade, a partir de dados contidos no Inventário do Ciclo de Vida, mediante a conversão dos dados em informações categorizando-os em *midpoints*. Nesta pesquisa se delimitou as seguintes categorias de impacto ambiental: a Acidificação, o Potencial de Aquecimento Global, o Uso da Terra e a Demanda Total Acumulada de Energia.

A ACV, após a análise dos dados de inventário, com o auxílio do *software* SimaPro *Classroom* v.8.2.3.0 e com o uso dos métodos CML 2001, IPCC 2007 e CED, resultou nas categorias de impacto ambiental pré-definidas no objetivo e escopo da pesquisa.

Os valores totais relativos a Acidificação foi de 2,66Kg de SO<sub>2</sub> e 6,96Kg de SO<sub>2</sub> para o sistema tradicional e para o sistema industrial, respectivamente. Já o montante dos valores relativo a categoria de impacto Aquecimento Global foi de 203,42Kg de CO<sub>2</sub> e 4.239,47Kg de CO<sub>2</sub> eq, no sistema tradicional e no sistema industrial, respectivamente.

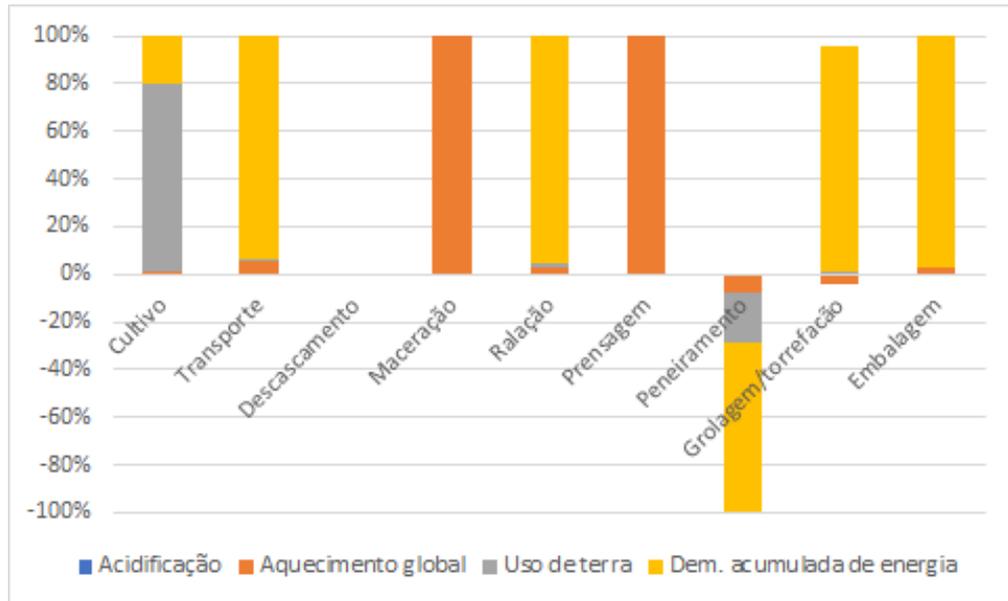
Na categoria de impacto ambiental Uso da Terra se obteve 2.121,77 m<sup>2</sup>a, no sistema tradicional e 742,79m<sup>2</sup>a, no sistema industrial. Já os valores totais obtidos na Demanda Total Acumulada de Energia foi de 3.718,48MJ eq referente ao sistema tradicional e 7.816,69MJ eq atribuídos ao sistema industrial. Esses valores foram normalizados por categoria de impacto ambiental, representado em percentagem na Figura 50.



**Figura 50- Percentuais de contribuições por categoria de impacto**

Os dados inventariados foram classificados em categorias de impactos ambientais, o que permitiu contabilizar em percentuais, as contribuições dos principais processos relativos ao processamento das raízes na produção da farinha amarela, os quais foram avaliados individualmente nos dois sistemas de produção: (a) tradicional, e (b) industrial, conforme apresentado na Figura 51 e na Figura 52, respectivamente. De modo, a correlacionar as contribuições de processos semelhantes mediante o uso de normalização.

Ao estabelecer correlações de impactos ambientais, mediante normalização, por categorias de impacto na produção de farinha amarela produzida no sistema tradicional com a farinha amarela produzida no sistema industrial permitiu determinar os processos mais impactantes nas referidas categorias de impactos.

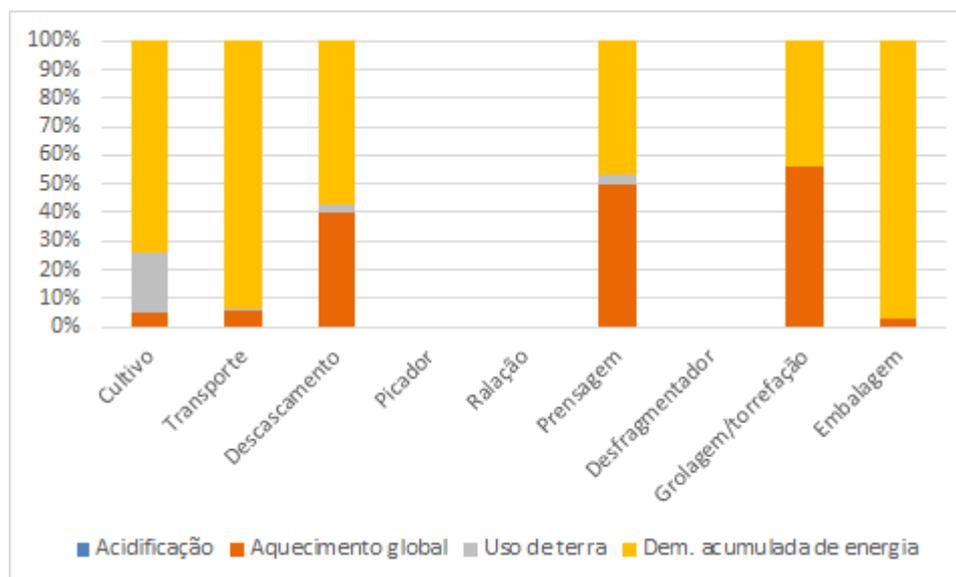


**Figura 51 - Impactos ambientais por processo no sistema tradicional**

Neste sentido, o sistema tradicional de produção de farinha amarela na fase de cultivo das raízes de mandioca, foi atribuído a categoria de impacto ambiental uso da terra, 98,97% dos impactos para atender a unidade funcional. Já o impacto relativo ao Aquecimento Global está relacionado com a fase de processamento, com as maiores contribuições de CO<sub>2</sub> eq no processo de maceração das raízes com 50,23%, prensagem da massa com 29,24%, no transporte das raízes até casa de farinha, com contribuição de 27,22%. Porém, o processo de grolagem e torra da farinha, obteve o crédito de -40,21% de crédito de CO<sub>2</sub>, por queimar lenha proveniente de capoeira, que nesta modelagem, assumiu-se como madeira proveniente de reflorestamento.

Na categoria de impacto ambiental Acidificação, a queima de lenha nos fornos contribui com 79,95% do impacto e o transporte das raízes de mandioca, da área de cultivo até a casa de farinha respondeu por 9,76% da contribuição.

Já o impacto ambiental referente a Demanda Total Acumulada de Energia teve a lenha com 39,21% como a principal fonte contribuidora, seguida por 25% atribuído ao consumo agregado de energia elétrica e 16,1% proveniente do transporte das raízes.



**Figura 52 - Impactos ambientais por processo no sistema industrial**

No sistema industrial de produção de farinha amarela, referente a categoria de impacto Uso da Terra, contribuiu com 27,67% de área, por ter obtido alta produtividade de raízes por hectare, com maior teor de amido, o que reduziu a necessidade de ocupação de área para atender a unidade funcional em relação a produção de raízes de mandioca.

#### **4.1 O Potencial de acidificação (AP)**

A queima de diesel durante as operações agrícolas e no transporte de insumos e da safra de mandioca resultou em emissões de  $\text{SO}_2$  eq para o ar, que posteriormente são depositados no solo. A Acidificação também é causada por uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura, que contribuem para as emissões de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4$  e  $\text{NO}_x$ . Estes poluentes reagem com o solo elevando o teor de alumínio (Al), como consequência reduz o pH do solo e inibe a absorção de nutrientes pelas plantas. Segundo Goedkoop e Spriensma (2001), a diminuição do pH induz a perda de espécies de plantas dos ecossistemas terrestres.

As fontes de nitrogênio utilizadas na agricultura na forma de fertilizantes como amônia ( $\text{NH}_4$ ) e dióxido de nitrogênio ( $\text{N}_2\text{O}$ ) contribuem para a acidificação do solo. Porém, a cultura da mandioca, na fase agrícola, diferentemente de culturas como o milho, é pouco exigente em nitrogênio (FIDALSKI, 1999). De modo que, produtores de mandioca utilizam adubação pobre em nitrogênio, minimizando possíveis impactos causados por  $\text{NH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ . Por outro lado, para Inácio, Rodrigues e Pires (2005), a

planta da mandioca tem capacidade de fixar nitrogênio a partir do ar, devido a ação de bactérias endofíticas. O que ajuda a explicar a concentração de nitrogênio presente na composição físico-química da manipueira, conforme apresentado nos trabalhos realizados por Cereda (1994); Damasceno et al (1999) *apud* Damasceno (2005); Barana (2000) e Ferreira, Botelho e Cardoso (2001), que resultaram na média de 2,3Kg de N/m<sup>3</sup> de manipueira.

Desse modo, as emissões de 2,66Kg de SO<sub>2</sub> eq decorrente da produção de farinha amarela no sistema tradicional pode ser explicada, pois, 79,95% das emissões de SO<sub>2</sub> eq foram causadas a partir da queima de lenha para geração de energia térmica utilizada nos fornos nos processos de grolagem e torrefação da farinha, e 9,76% foram decorrentes da queima de combustível fósseis durante o transporte das raízes de mandioca da área de cultivo até a casa de farinha. Os 10,29% foram obtidos da soma das emissões obtida nos demais processos.

As emissões de 6,96Kg SO<sub>2</sub> eq decorrente da produção de farinha amarela produzida no sistema industrial, gerados no processo de descascamento das raízes corresponde a 5,56Kg de SO<sub>2</sub> eq (80,33%). A segunda maior contribuição resultou na emissão de 0,63Kg de SO<sub>2</sub> eq (9,10%) gerada por operações com maquinário agrícola durante a colheita das raízes de mandioca e 10,57% corresponderam ao somatório das contribuições de SO<sub>2</sub> eq dos demais processos.

Desse modo, é possível ressaltar que a produção da farinha amarela no sistema tradicional ou no sistema industrial divergiram quanto a origem das principais emissões de SO<sub>2</sub> eq, uma vez que 79,95% no sistema tradicional resultou da queima de lenha, enquanto que no sistema industrial 80,33% resultou do tratamento, no biodigestor, do efluente líquido gerado durante a fase de descascamento das raízes.

## **4.2 O Potencial de aquecimento global (GWP100)**

Nesta pesquisa, considerou-se o GWP no horizonte de 100 anos, relativo as emissões de CO<sub>2</sub> eq do produto farinha amarela, tanto no sistema tradicional quanto no sistema industrial de produção.

Os efluentes líquidos oriundos do processamento das raízes de mandioca no sistema tradicional de produção de farinha amarela, eliminados após o processo de maceração das raízes e do processo de prensagem da massa úmida foram de 4,3 e 2,33 toneladas respectivamente, que totalizam 6,63 toneladas descartadas em uma

lagoa de sedimentação improvisada, a céu aberto, sem os tratamentos adequados, onde ocorrem processos de degradação natural da matéria orgânica pela ação de bactérias anaeróbias que produzem gases que causam o efeito estufa  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ .

De modo que, o Potencial de Aquecimento Global relacionado a produção da farinha amarela no sistema tradicional foi de 203,42Kg de  $\text{CO}_2$  eq, provenientes de emissões de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  oriundas de processos biológicos necessários durante a degradação da matéria orgânica. Desse valor, 102,17Kg  $\text{CO}_2$  eq (50,23%) foi atribuído as emissões da água residual, rica em matéria orgânica, decorrente da maceração das raízes de mandioca. Adicionalmente, as emissões oriundas da manipueira eliminada durante o processo de prensagem da massa corresponde a 59,48Kg de  $\text{CO}_2$  eq (29,24%). As emissões relacionadas ao transporte das raízes de mandioca da área de cultivo até a casa de farinha responderam por 55,36Kg das emissões de  $\text{CO}_2$  eq (27,22%). O somatório dos percentuais, de forma isolada dos três processos de maior impacto totalizaram 106,69% das emissões, nesta categoria de impacto. Porém, desse montante foram decrementados -81,78Kg  $\text{CO}_2$  eq (40,21%) resultante da queima de lenha proveniente de “capoeira”, que, nesta pesquisa, foi considerado um *dataset* da base de dadosecoinvent 3.3 que representa lenha proveniente de reflorestamento.

No sistema industrial de produção da farinha amarela, o potencial de Aquecimento Global foi de 4.239,47Kg de  $\text{CO}_2$  eq. As contribuições de processos individuais mais representativos estão relacionadas ao processo de descascamento e lavagem das raízes com 3.675,57Kg de  $\text{CO}_2$  eq (86,70%) foi atribuído ao tratamento pelo biodigestor de 9,3 m<sup>3</sup> do efluente líquido, resultante do processo de descascamento e lavagem das raízes de mandioca. O mesmo ocorre com os 957Kg de manipueira eliminada durante o processo de prensagem da massa. Que nesse caso, representam 378,23Kg de  $\text{CO}_2$  eq (8,92%) das emissões de  $\text{CO}_2$  eq, de modo a restar 4,38% atribuído aos demais processos para obtenção da farinha amarela.

Ao contabilizar a mistura de 9,3m<sup>3</sup> (9.300Kg) de água residual do descascamento e lavagem, somados aos 957Kg de manipueira eliminada no processo de prensagem da massa, totalizaram 10,25 toneladas de efluente líquido, que são processadas em dois biodigestores, por bactérias anaeróbias que produzem  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ .

O biogás produzido no biodigestor é utilizado na indústria na geração de calor mediante a queima de  $\text{CH}_4$  na caldeira, evitando emiti-lo para atmosfera, minimizando

a contribuição para o Aquecimento Global. Pois, segundo o IPCC (2014), o CH<sub>4</sub> é 28 vezes mais poluente comparado ao CO<sub>2</sub>. Além disso, com a geração de calor a partir do processo de queima do biogás na caldeira, reduziu o consumo de lenha de eucalipto em 70%, para aquecimento dos fornos utilizados na grolagem e torra da farinha.

Destarte, para produzir uma tonelada de farinha amarela no sistema industrial são emitidos 4.239,47Kg CO<sub>2</sub> eq., enquanto para produzir o mesmo produto no sistema tradicional são gerados 203,42Kg de CO<sub>2</sub> eq. Assim, a maior contribuição para o Aquecimento Global é do sistema industrial com 72,33%, enquanto 27,67% são atribuídos pelo sistema tradicional.

### **4.3 O Uso da terra (LU)**

De acordo com Milà I Canals et al (2007), a agricultura é um dos Usos da Terra que causam impactos ambientais significativos sobre a biodiversidade por afetar a qualidade do solo, o qual é responsável por fornecer funções de suporte a vida. Dependendo do tipo de uso, da intensidade e das condições biogeográficas, após o uso da terra, os efeitos dos impactos podem ser de longo prazo.

Neste sentido, o cultivo da mandioca para produção da farinha amarela foi o processo com maior contribuição para a categoria de impacto Uso da Terra, principalmente no sistema tradicional que respondeu por 2.121,77 m<sup>2</sup>a (74,07%) de ocupação de área, motivado pela baixa produtividade de raízes de mandioca por hectare/ano. Em contrapartida, o sistema industrial necessitou de 742,79m<sup>2</sup>a (25,93%) para atender a demanda de raízes de mandioca da unidade funcional.

Essa diferença apresentada nos resultados da ACV foi motivada pela produtividade de raízes de mandioca obtida no sistema industrial de 35,8t/ha em relação a 11,9t/ha de raízes de mandioca obtida no sistema tradicional de cultivo, bem como, a créditos ambientais decorrentes de outros processos na ACV.

A maior produtividade por hectare ao ano, resultante da intensificação agrícola, foi determinante para minimizar impactos na categoria Uso da Terra. Ou seja, são necessários 742,79m<sup>2</sup>a para produzir 3,19t de raízes de mandioca, que após processadas resultam em uma tonelada de farinha amarela. Neste sentido, com base nos dados populacionais da Região Norte e do Estado do Pará disponíveis no Brasil



**Tabela 8 - Dados de produção de raízes de mandioca da Região Norte e do Estado do Pará**

	Região Norte				Estado do Pará			
	2014	2015	2016	Média	2014	2015	2016	Média
<b>Área (ha)</b>	538.254	477.502	621.975	<b>545.910</b>	342.073	308.964	350.425	<b>333.821</b>
<b>Produção (t)</b>	8.045.156	7.787.395	10.102.104	<b>8.644.885</b>	4.874.331	4.695.735	6.034.713	<b>5.201.593</b>
<b>Rendimento (t/ha)</b>	14.947	16.309	16.242	<b>15.833</b>	14.249	15.198	17.221	<b>15.556</b>

Fonte: Brasil (2015a); Brasil (2016) e Brasil (2017a)

Observou-se, uma diferença de 514.129,89ha na Região Norte e 314.711,93ha no Estado do Pará que foram ocupados com a produção de raízes de mandioca. Nestas diferenças estão inclusos os demais usos das raízes de mandioca que não foram contemplados nesta pesquisa.

#### **4.4 A Demanda total de energia acumulada (CED)**

A fase de cultivo da mandioca no sistema tradicional apresentou contribuições de CED de 288,09MJ (7,75%), 176,70MJ (4,75%) referente ao uso de Glifosato e queima de diesel, respectivamente. O processo de transporte das raízes de mandioca da lavoura até a casa de farinha contribuiu com 953,42MJ (25,64%).

Durante a fase de processamento, a queima de lenha no aquecimento dos fornos para torrefação da farinha consumiu 1.458,12MJ (39,21%), o consumo de energia elétrica foi responsável por 595,21MJ (16,01%) e os demais processos contribuíram com 3,17%.

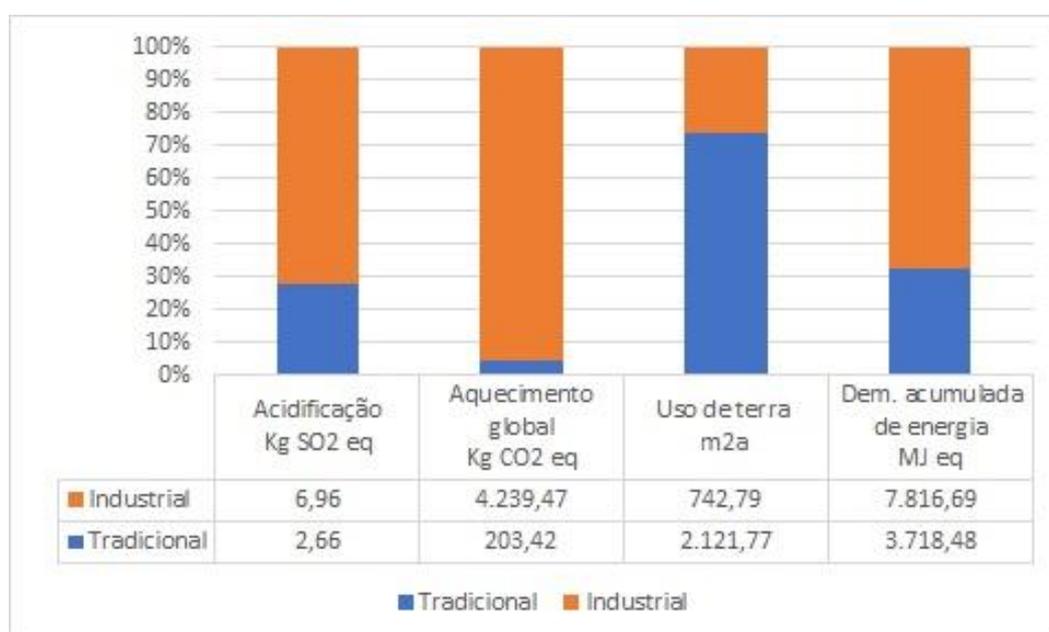
A contribuição da demanda de energia acumulada na fase agrícola do cultivo da mandioca no sistema industrial, consumiu 233MJ eq (2,98%) de trator. O consumo decorrente do uso agregado de máquinas e equipamentos agrícolas, utilizados nas operações durante a fase de cultivo das raízes, especialmente durante a colheita, totalizou 555,66MJ eq (7,11%) da CED. A queima de diesel durante as operações necessárias ao cultivo da mandioca representou 325,43MJ eq (4,16%), e o consumo de energia referente a utilização de fertilizantes fosfatados foi de 108,21MJ eq (1,38%). Já o serviço de transporte das raízes da lavoura até a indústria farinheira consumiu 376,64MJ ou (4,82%).

Na fase de processamento das raízes de mandioca pela indústria, o consumo agregado de energia elétrica foi de 349,32MJ eq (4,47%) nos diversos processos de

transformação da matéria-prima para a produção de farinha amarela. Porém, o processo de tratamento no biodigestor dos efluentes líquidos oriundo do descascamento e lavagem das raízes, contribuiu com 5.049,23MJ (64,60%). De modo semelhante é tratado pelo biodigestor o efluente líquido resultante da prensagem da massa, manipueira, que contribuiu com 519,58MJ (6,65%).

No entanto, a quantidade de elementos químicos presentes na lama do biodigestor, especialmente nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio, podem ser reaproveitados como biofertilizante, na forma de fertilizantes evitados, na agricultura. Esses nutrientes são contabilizados como créditos, portanto possui valor negativo e deve ser abatido do montante da CED. Assim, foram creditados -144,64MJ (-3,98%) de nitrogênio, -9,26MJ (-0,25%) de fósforo, de -11,94MJ (-0,33%) de potássio, de -7,16MJ (-0,20%) de cálcio, de modo a reduzir o valor total da CED, devido ao crédito dos nutrientes evitados, referente ao tratamento pelo biodigestor do efluente líquido, manipueira, eliminada durante o processo de prensagem da massa.

A comparação das contribuições totais por categoria de impacto referente aos processos avaliados do produto farinha amarela, produzida no sistema tradicional com a produzida no sistema industrial, estão representadas em percentuais em colunas, como mostra a Figura 53.



**Figura 53 - Comparação da ACV por categoria de impacto**

Desse modo, foi possível demonstrar nas categorias de impactos ambientais abordadas nesta pesquisa, com exceção do Uso da Terra, com 74,07% atribuído a

farinha amarela produzida no sistema tradicional, enquanto no sistema industrial precisou de 25,93% para atender a unidade funcional. Nas outras três categorias de impacto ambiental, a farinha amarela produzida no sistema industrial teve maior impacto em relação a farinha amarela produzida no sistema tradicional.

Destarte, a Acidificação representou 72,33%, o Aquecimento Global 95,42%, e a Demanda Total de Acumulada de Energia 67,76%, respectivamente. Enquanto, no sistema tradicional os impactos ambientais foram menores para estas categorias de impactos ambientais. Assim, a Acidificação representou 27,67%, o Aquecimento Global 4,58% e a CED 32,24%, respectivamente.

## 5 INTERPRETAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA FARINHA DE MANDIOCA AMARELA

Na fase de cultivo das raízes de mandioca no sistema tradicional a produtividade de 11,97t/ha raízes foi considerada baixa, comparada ao sistema industrial, que obteve produtividade de 35,8t/ha. Tal fator foi determinante na elevação do impacto ambiental relativo ao Uso da Terra. Porém, a melhoria da produtividade por hectare de raízes de mandioca pode ser obtida com a aplicação da manipueira na área do cultivo (FERREIRA, BOTELHO e CARDOSO, 2001).

Outra forma de melhorar esse desempenho ambiental é mediante a implantação de biodigestor para tratamento dos efluentes líquidos oriundos da fase de processamento das raízes, que resultará, dentre outras vantagens, na produção de biofertilizante, lodo extraído do biodigestor, que aplicado na área de cultivo das raízes poderá contribuir para elevar a produtividade de raízes de mandioca por hectare. Embora, fertilizantes químicos também possam ser utilizados, especialmente fósforo e potássio, similar ao cultivo da mandioca realizado na agricultura industrial. De modo a contribuir para a redução do impacto ambiental atribuído ao Uso da Terra, porém, poderá prejudicar quimicamente o solo, a água e o ar, contribuindo para elevação dos indicadores em outras categorias de impactos desta pesquisa.

A fase de processamento das raízes, em especial no sistema industrial, apresentou impactos ambientais elevados nas categorias de impacto Aquecimento Global com 95,42%, e Demanda Total Acumulada Energia com 67,76%. Porém, são passíveis de melhorias que possam contribuir para a redução desses impactos.

Na produção da farinha amarela no sistema tradicional, os efluentes líquidos eliminados após o processo de maceração das raízes, com 50,23% e o processo de prensagem da massa úmida de mandioca com 29,24%, totalizando 79,47%, representaram as maiores contribuições para a categoria de impacto Aquecimento Global. O impacto ambiental desta categoria poderá ser minimizado com o processamento destes efluentes em biodigestor, evitando que os fluentes líquidos sejam descartados sem o tratamento adequado, em um buraco no solo, a céu aberto, como acontece atualmente.

Com o tratamento do efluente líquido pelo biodigestor ocorre a produção do biogás CH<sub>4</sub> que poderá ser queimado nos fornos durante a grolagem e torrefação da farinha, reduzindo a queima de lenha em até 70%. Além disso, a lama do biodigestor

poderá ser aproveitada como biofertilizante que substituirá a aplicação de fertilizante comerciais, como fonte de NPK, contribuindo para a melhoria da produtividade de raízes por hectare na fase de cultivo da mandioca, que possivelmente propiciará a melhoria do desempenho ambiental na categoria de impacto Uso da Terra.

Porém, o biodigestor, no sistema industrial, gerou a maior carga de impacto ambiental referente a categoria de impacto Aquecimento Global, com 86,70% decorrente do tratamento dos efluentes resultante do descascamento e lavagem das raízes, acrescidos em 8,92% dos efluentes resultante do processo de prensagem da massa úmida da mandioca, totalizando 95,62% desse tipo de impacto. Para estes casos, uma possível melhoria será a modelagem de um novo *dataset* que represente melhor os impactos de biodigestores no Brasil, porque o *dataset* utilizado foi especificado para as condições ambientais da Suíça, conforme Jungbluth e Chudacoff (2007) apesar da customização realizada no *dataset*, zerando valores que representavam dupla contagem, como o consumo de energia elétrica que está agregado na modelagem na indústria farinheira.

Outra abordagem, ainda não encontrada no meio científico, portanto é uma sugestão a ser pesquisada, é a reutilização na fase inicial da lavagem das raízes de mandioca no descascador/lavador, de parte da água residuária do tanque de decantação, prestes a entrar no biodigestor, após ter ocorrido a decantação das partículas mais pesadas que estavam em suspensão, reduzindo assim o volume de água limpa utilizada e conseqüentemente diminuindo o volume de efluente líquido gerado durante o processamento das raízes.

Além disso, deve ser incentivado pesquisas que visem desenvolver cultivares de mandioca que produzam raízes com menor teor de umidade e com maior concentração de amido, e assim, reduzir a quantidade de raízes a serem lavadas, e na fase de prensagem da massa reduzir o volume de efluente líquido gerado (manipueira). Essa abordagem também contribuirá para o aumento do rendimento do produto, devido a elevação do teor de amido, e conseqüentemente reduzirá a área ocupada com cultivo da mandioca, minimizando o impacto ambiental referente a categoria Uso da Terra.

A demanda total de energia acumulada no sistema tradicional de produção de farinha amarela concentrou 39,21% dos impactos ambientais na fase de grolagem e torrefação da farinha amarela devido a queima de lenha nos fornos de grolagem e torrefação da farinha amarela. Esse impacto poderá ser reduzido significativamente

com o tratamento dos efluentes líquidos pelo biodigestor, com conseqüente geração de biogás que poderá ser queimado nos fornos e possivelmente reduzir em 70% o consumo de lenha, como já ocorre na indústria farinheira desta pesquisa.

Por outro lado, a categoria de impacto ambiental, Demanda Total Acumulada de Energia, está concentrada no processamento dos efluentes líquidos pelo biodigestor, que representa 71,25% desse tipo de impacto na indústria farinheira. De modo que, as mesmas sugestões descritas para prover a redução dos impactos relativos a categoria de impacto ambiental Aquecimento Global, possivelmente contribuirá para a melhoria do desempenho ambiental nesta categoria de impacto.

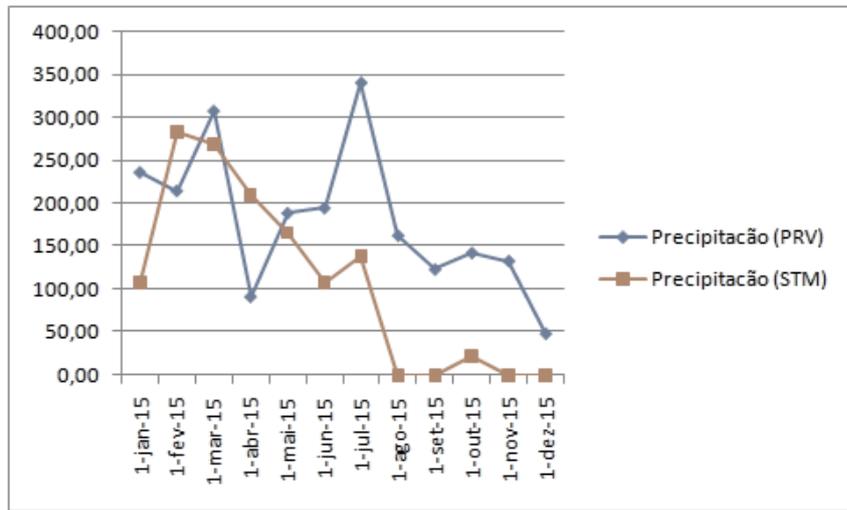
Destarte, no sistema tradicional o descascamento manual das raízes de mandioca, com o uso de faca, requer muita mão-de-obra e demanda muito tempo. Em média, um descascador adulto, experiente, descasca 100Kg de raízes de mandioca em 3h30min. Essa demora prejudica a produtividade da casa de farinha, que neste caso possui capacidade de processar semanalmente de 700 a 1200Kg de raízes de mandioca. Para tanto, dispõem da mão-de-obra do grupo familiar composta por cinco pessoas adultas, que necessitam de 1,5 dias, ou seja, do montante equivalente a 10 diárias para realizar a tarefa. Esse tempo pode sofrer variações significativas em decorrência dos afazeres domésticos, que concorrem concomitantemente com as tarefas da casa de farinha, que, geralmente, são realizados pelas mulheres do grupo.

Outro fator que influencia no tempo de descascamento está relacionado ao tamanho e/ou formato das raízes de mandioca, pois raízes pequenas ou deformadas aumentam o tempo de descascamento. Portanto, é recomendável que os produtores de farinha cultivem variedades de mandioca que produzem raízes com características alongadas com formato cônico.

O descascamento das raízes pode ser otimizado com a implantação de descascador semi-mecanizado, disponível no mercado, que podem elevar a produtividade da casa de farinha e possivelmente, contribuir para a melhoria da condição socioeconômica do grupo familiar.

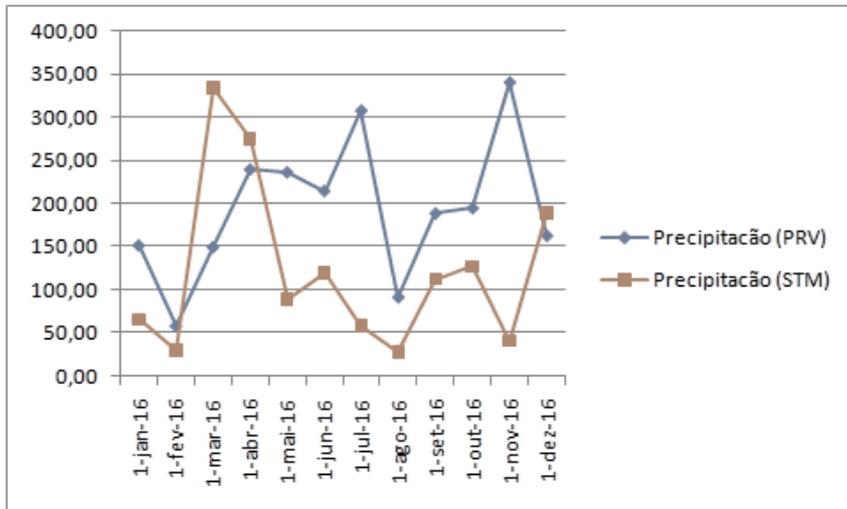
**Análise de sensibilidade**

A ocorrência do fenômeno climático *El Niño*, motivado pela elevação da temperatura das águas tropicais dos oceanos Pacífico e Atlântico, dificultou a ocorrência de chuvas na Amazônia (NASA, 2016). Este fenômeno, em 2015 e no início de 2016, alterou o padrão de chuvas globalmente. Na Amazônia Brasileira, houve redução de precipitação na estação chuvosa, ocasionando seca severa (NASA, 2016), conforme demonstrado na Figura 54 e Figura 55, elaboradas com dados do (INMET, 2016).



Fonte: INMET (2017)

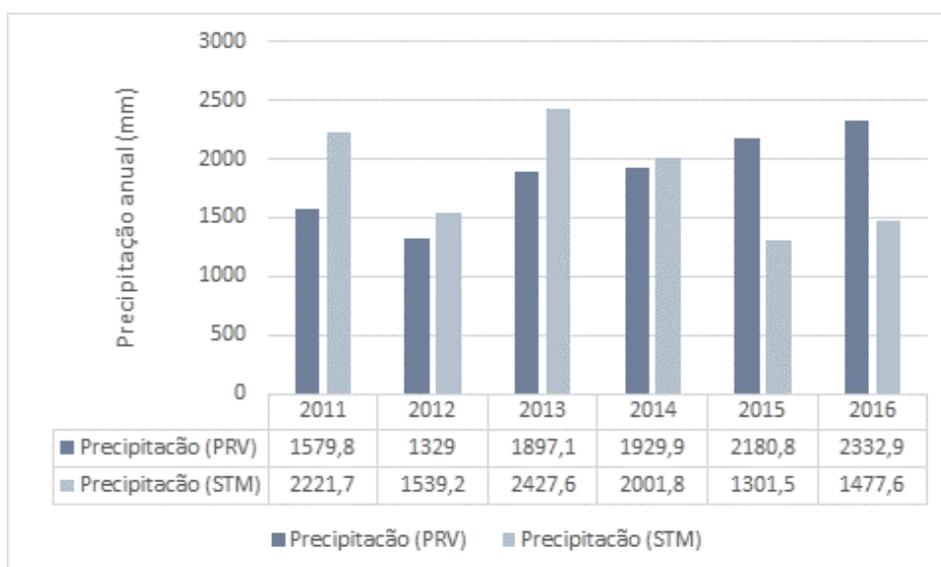
**Figura 54 - Influência do El Niño em 2015 na distribuição das chuvas em STM e PRV**



Fonte: INMET (2017)

**Figura 55 - Influência do El Niño em 2016 na distribuição das chuvas em STM e PRV**

O *El Niño* influenciou o prolongamento da estação seca na Amazônia, em especial no município de Santarém/PA, e totalizou por seis meses contínuos de estiagem. Houve significativa redução na precipitação anual de chuvas (mm), quando comparado com aos quatro anos anteriores a 2015, período em que o volume precipitado (mm) superou os 2000mm, exceto em 2012, como mostrado na Figura 56. Neste mesmo período a região Sul do Brasil, em especial a cidade de Paranavaí/PR, ocorreu aumento da precipitação de chuvas por influência do *El Niño* (FERREIRA, 2016). O volume de chuvas acumulada neste período superou os 2000mm, superando a média dos últimos quatro anos (INMET, 2016).



Fonte: INMET (2017)

**Figura 56 - Histórico de precipitação de chuvas em Paranavaí/PR e Santarém/PA**

A ausência de chuvas no período de meados de julho de 2015 a fevereiro de 2016, impactou negativamente o cultivo da mandioca na região, porque afetou o desenvolvimento vegetativo da planta, reduziu a produtividade por hectare de 14t/ha conforme Brasil (2012) e Brasil (2013) para 11,9t/ha mensurados nesta pesquisa, e o teor de amido das raízes tuberosas caiu de 25% para 19,5%. Diferindo dos 25% apresentado por Cereda (1994). Para Araujo e Lopes (2009), o rendimento da farinha varia de 25 a 35%.

A redução do teor de amido nas raízes de mandioca diminuiu o rendimento da farinha amarela por tonelada de raiz, necessitando aumentar a área colhida e o volume de raízes processadas para obter a mesma quantidade de farinha amarela.

Assim, duas toneladas de raízes de mandioca a menos por hectare, equivalem a redução da produtividade em 14,29% e de 9,6% no teor de amido contido nas raízes, o que motivou a realização da análise de sensibilidade apresentada na Tabela 09, conforme recomendação da ABNT NBR ISO 14040 (2009) e ABNT NBR ISO 14044 (2014).

**Tabela 9. Análise de sensibilidade da farinha tradicional**

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>FA Trad</b>	<b>FA Trad (AS)</b>
Acidificação Terrestre (TAP)	Kg SO <sub>2</sub> eq	2,66	2,66
Aquecimento Global (GWP100)	Kg CO <sub>2</sub> eq	203,42	203,41
Uso da Terra (LU)	m <sup>2</sup> a	2.121,77	2.121,77
Demanda de Energia Acumulada (CED)	MJ eq	3.718,48	3.718,30

A análise de sensibilidade apresentou valores semelhantes em todas as categorias de impactos descritas na Tabela 09 (FA\_Trad. e FA\_Trad. (AS)), de modo que embora o fenômeno climático *El Niño* tenha contribuído para a redução da produtividade das raízes tuberosas da mandioca, e conseqüentemente o rendimento em farinha amarela foi reduzido a 19.5%, ou seja, a 5,5% de diferença comparado aos 25% descrito na literatura por Cereda (1994) e Araujo e Lopes (2009). Assim, os impactos ambientais causados pelo *stress* hídrico considerados no balanço de massa não foram significativos para as categorias de impacto ambiental pesquisadas.

## CONCLUSÃO

A ACV da farinha amarela apresentou impactos ambientais, nas categorias Acidificação, Aquecimento Global, Uso da Terra e Demanda Total Acumulada de Energia.

Embora a categoria de impacto ambiental Acidificação tenha apresentado valores relativamente baixos, nas demais categorias pesquisadas foi possível identificar processos produtivos que podem ser aperfeiçoados, e assim, melhorar o desempenho ambiental do produto.

Na pesquisa acerca dos impactos ambientais atribuídos a farinha amarela, na qual se utilizou a metodologia da ACV, que possibilitou analisar os resultados obtidos, ficou evidente que os objetivos foram alcançados e os questionamentos foram respondidos. Para tanto, foram discriminados no inventário do ciclo de vida os processos produtivos inerentes a produção da farinha amarela, tanto no sistema produção tradicional, quanto no sistema de produção industrial.

Ao comparar os resultados obtidos por categoria de impactos ambientais, pré-definidos no objetivo e escopo da ACV. Verificou-se que o impacto ambiental decorrente da produção da farinha amarela produzida no sistema tradicional representou 74,07% do Uso da Terra, enquanto que no sistema industrial essa contribuição foi de 25,93% para atender a unidade funcional.

As demais categorias de impacto ambiental Acidificação, Aquecimento Global e Demanda Total Acumulada de Energia foram mais impactantes no sistema industrial de produção da farinha amarela.

Neste sentido, a Acidificação representou 72,33%, o Aquecimento Global 72,33% e a Demanda Total Acumulada de Energia com 67,76%. Enquanto no sistema tradicional, as contribuições por categoria de impacto foram de 27,67%, 4,58% e 32,24% respectivamente.

Porém, dados obtidos da indústria Mandelícia Ltda acerca da produção dos derivados de mandioca farinha amarela, fécula de mandioca e polvilho doce, por estarem com os valores agregados, não foi possível fracioná-los corretamente para calcular balanços de massa confiáveis para cada produto, necessários para o desenvolvimento da ACV.

Dados da farinha branca não foram fornecidos pela Indústria Farinheira Grupo Pioneira Ltda, por estar voltada nos últimos anos para a produção de farinha amarela

para atender a demanda das Regiões Nordeste e Norte do Brasil, onde a preferência do consumidor é pela farinha amarela.

Na casa de farinha pesquisada em Santarém/PA, não foi possível realizar medições devido a indisponibilidade de raízes de mandioca doce do produtor pesquisado. Já a fécula produzida é voltada para a produção de goma ou farinha de tapioca, diferindo do produto final produzido industrialmente no Paraná, o que inviabilizou comparações entre os produtos pela ACV.

Fatores relacionados a custos financeiros e logística dificultaram as pesquisas *in loco* e a obtenção de dados complementares das indústrias farinheiras nem sempre foram respondidos satisfatoriamente.

No entanto, a pesquisa contribuiu com a compilação de dados que resultou no inventário da cadeia produtiva da farinha amarela que serviu de base para a execução da ACV. E assim, permitiu obter uma visão holística dos impactos ambientais e custos energéticos do produto farinha amarela, evidenciando processos mais impactantes ambientalmente ao longo da cadeia produtiva.

Estes resultados podem ser utilizados para melhoria do processo produtivo, tanto no sistema tradicional quanto no sistema industrial de produção da farinha amarela. Também poderá ser utilizado como fonte científica para o desenvolvimento de novas pesquisas sobre este ou outros assuntos relacionados a derivados de mandioca. Bem como, base para implementação de políticas públicas voltadas para melhorias dos processos produtivos da farinha amarela junto a agricultores familiares, tais como: criação de programa de extensão rural para apoio técnico a agricultores familiares produtores de farinha de mandioca; subsídios para a modernização de equipamentos para o cultivo e beneficiamento da mandioca, inclusive para implantação de biodigestor.

No decorrer da pesquisa, deparou-se com alguns pontos requerem investigação complementar, a saber:

- 1) Melhoria genética das variedades de mandioca cultivada no sistema tradicional ou o cultivo de variedades que produzam raízes mais retas e cônicas que facilitem o descascamento manual, e assim reduzir o tempo destinado a essa tarefa;
- 2) Implantação de biodigestor de pequeno porte nas casas de farinha para processar e tratar os efluentes líquidos descartados e gerar biogás a ser queimado nos fornos durante os processos de grolagem e torra da farinha. E

também reaproveitar a lama do biodigestor na adubação no cultivo da mandioca;

- 3) Pesquisar a composição físico-química da lama do biodigestor alimentados com efluentes líquidos da casa de farinha;
- 4) Pesquisar a composição físico-química do efluente líquido resultante do processo de maceração das raízes de mandioca destinadas a produção de farinha amarela;
- 5) Determinar as emissões de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> decorrentes do processo de maceração das raízes de mandioca destinadas a produção da farinha amarela;
- 6) Pesquisar os impactos ambientais causados pelos efluentes líquidos decorrentes do processo de fabricação de farinha, que são descartados a céu aberto;
- 7) Modelar *dataset* para compor base de dados da ACV de biodigestores, de acordo com a realidade brasileira;
- 8) Modelar *dataset* para compor base de dados da ACV para fornos de grolagem e torra de farinha que queimam biogás;
- 9) Modelar *dataset* para compor base de dados da ACV para fornos que queimam lenha de madeira nativa.

Com o uso da ACV foi possível demonstrar que a maior utilização de recursos tecnológicos na cadeia produtiva da farinha amarela, representado pelo sistema industrial, com o uso intensivo de maquinário agrícola, queima de combustível fósseis, utilização de agroquímicos e processamento industrial das raízes, que produz grande quantidade de efluente líquido. Estes fatores resultaram em maior contribuição para as categorias de impacto ambiental Acidificação, Potencial de Aquecimento Global e Demanda Total Acumulada de Energia. Enquanto a farinha amarela produzida no sistema tradicional foi mais impactante na categoria de impacto Uso da Terra. No entanto, ao simular esta categoria de impacto ambiental com o resultado obtido no sistema industrial de produção de farinha de mandioca para a Região Norte e o Estado do Pará, houve economia expressiva no Uso da Terra. E essa diferença poderá ser utilizada para o cultivo de outras culturas, e assim, minimizar a pressão na abertura áreas de mata nativa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR ISO 14040. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.** 2009.
- ABNT NBR ISO 14044. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações.** 2014
- ACERO, A. P.; RODRÍGUEZ, C.; CIROTH, A. **LCIA methods Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories.** Greendelta. Berlin, 2015.
- ALLEM, A. C. **The origin of Manihot esculenta Crantz (Euphorbiaceae).** Genetic Resources and Crop Evolution, v. 41, n. 3, p. 133–150, 1994.
- ALTHAUS, H.-J. et al. **Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods Data v2.2 (2010).** Ecoinvent Report. Dubendorf, 2010.
- ALVARENGA, A. L. B. et al. **Princípios das Boas Práticas de Fabricação: Requisitos Para Implementação de Agroindústria de Agricultores Familiares.** In: Recomendações Básicas para a Aplicação das Boas Práticas Agropecuárias e de Fabricação na Agricultura Familiar. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF, 2006.
- ALVES, A. B. **Análise do Desempenho de Cadeias Produtivas Agroindustriais da Mandioca: Estudo de Casos nas Principais Regiões de Produção do Brasil.** Porto Alegre, RS, 2012.
- ALVES, R. N. B.; CARDOSO, C. E. L. **Sistemas e Custos de Produção de Mandioca Desenvolvidos por Pequenos Agricultores Familiares do Município de Moju, PA.** Belém, PA, 2008.
- ALVES, R. N. B.; MODESTO JÚNIOR, M. DE S. **Roça sem fogo e trio da Roça Sem Fogo e Trio da Produtividade da Mandioca.** Inclusão Social, v. 6, n. 1, p. 191–200, 2012.
- ALVES, R. N. B.; MODESTO JÚNIOR, M. DE S.; LEITE, C. E. **Sistemas e Custos de Produção de Raiz de Mandioca Desenvolvidos por Agricultores de Castanhal – Pará.** Maceió, AL: 2011
- AMARAL, L. DO; JAIGOBIND, A. G. A.; JAISINGH, S. **Dossiê técnico: Processamento da mandioca.** Curitiba, PR, 2007.
- ANDREWS, E. S. et al. **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products.** Paris: UNEP, 2009.
- ARAUJO, J. S. D. P.; LOPES, C. A. **Produção de Farinha de Mandioca na Agricultura Familiar.** Niteroi, RJ, 2009.

AZAPAGIC, A. **Life Cycle Assessment and Its Application to Process Selection, Design and Optimisation**. Chemical Engineering Journal, v. 73, n. 1, p. 1–21, 1999.

AZAPAGIC, A.; CLIFT, R. **The Application Of Life Cycle Assessment to Process Optimisation**. Computers & Chemical Engineering, v. 23, n. 10, p. 1509–1526, 1999.

BARANA, A. C. **Avaliação de Tratamento de Manipueira em Biodigestores Fase Acidogênica e Metanogênica**. Botucatu, SP, 2000.

BARBOSA JÚNIOR, A. F. et al. **Conceitos e Aplicações de ACV no Brasil**. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção . Foz do Iguaçu, PR, 2007

BEZERRA, V. S. **Farinhas de Mandioca Seca e Mista**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, DF, 2006.

BRANDER, M. et al. **Consequential and Attributional Approaches to LCA: A guide to policy makers with specific reference to greenhouse gas lca of biofuels**. Econometrica Press, v. 44, n. April, p. 1–14, 2008.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. PORTARIA nº 554, de 30 de Agosto de 1995**. Governo Federal. Brasília, DF, 1995.

BRASIL. **Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Resolução no 04, de 15 de dezembro de 2010**. p. 1–13, 2010a.

BRASIL. **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2010b.

BRASIL. **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Municipal: Culturas Temporárias e Permanentes**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2012.

BRASIL. **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal: Culturas temporárias e permanentes**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2013.

BRASIL. **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção agrícola municipal: Culturas temporárias e permanentes**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014.

BRASIL. **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2015a.

BRASIL. **Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria n.º 285, de 19 de junho de 2015.** INMETRO, Brasília, DF, 2015b.

BRASIL. **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil.** IBGE. Rio de Janeiro, RJ, 2016.

BRASIL. **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil.** IBGE Rio de Janeiro, RJ, 2017a.

BRASIL. **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas da população residente no Brasil e Unidades da Federação com data de referência em 1º de julho de 2017.** IBGE. Rio de Janeiro, RJ, 2017b.

CAVALETT, O. **Análise do Ciclo de Vida da Soja.** Campinas, SP, 2008.

CEREDA, M. P. (COORD.). **Resíduos da industrialização da mandioca no Brasil.** Paulicéia, SP, 1994.

CEREDA, M. P. (COORD. ). **Valorização de Resíduos como Forma de Reduzir Custos de Produção.** Congresso Latino Americano de Raízes Tropicais, e Congresso Brasileiro de Mandioca. **Anais...** Centro de Raízes Tropicais, /UNESP/SBM. São Pedro, SP, 1996

CEREDA, M. P. (COORD.). **Centro de Produções Técnicas (MG). Processamento de mandioca / Polvilho Azedo, Fécula, Farinha e Raspa.** CPT. Viçosa, MG, 2007.

CEREDA, M. P. (COORD. ); VILPOUX, O. F. **Tecnologia, Usos e Potencialidades de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas. In: Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas.** Fundação Cargill. São Paulo, SP: 2003.

CHEHEBE, J. R. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos: Ferramenta gerencial da ISO 14000.** Rio de Janeiro, RJ, 1997.

CHISTÉ, R. C. et al. **Qualidade da Farinha de Mandioca do Grupo Seca. Ciência e Tecnologia de Alimentos,** Campinas, SP, 2006.

CIAT, I. C. FOR T. A. **Cassava : A Crop for Hard Times and Modern Times**International Center for Tropical Agriculture. in Focus Crop Commitments. Cali, 2001.

DAMASCENO, S. **Tratamento e Uso de Resíduos de Mandioca.** Campo Grande MS, 2005.

DIAS, L. T.; LEONEL, M. **Caracterização Físico-Química de Farinhas de Mandioca de Diferentes Localidades do Brasil**. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 30, n. 4, p. 692–700, 2006.

FAOSTAT. **FAOSTAT: Statistics Division of FAO, the Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

FAVA, J. A. **SETAC and Life Cycle Assessment: Parallel Growth**. *SETAC Globe*, v. 12, n. 4, p. 14–16, 2011.

FERREIRA, L. G. B.; CARAMORI, P. H.; MORAIS, H. **O fenômeno El Niño de 2015/2016 e Seus Impactos nas Chuvas do Paraná**. p. 1–13, 2016.

FERREIRA, W. D. A.; BOTELHO, S. M.; CARDOSO, E. M. R. **Uso da Manipueira (Tucupi) Como Fonte de Nutrientes para o Cultivo da Mandioca**. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, 2001.

FERREIRA FILHO, J. R. et al. **Cultivo, Processamento e Uso da Mandioca: Instruções práticas**. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas, 2013.

FIDALSKI, J. **Respostas da Mandioca à Adubação Npk e Calagem em Solos Arenosos do Noroeste do Paraná**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, DF, 1999.

FIORETTO, R. A. **Uso Direto da Manipueira em Fertirrigação**. In: **Cereda, m. P (coord): Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. Fundação Cargil. São Paulo, SP, 2001.

GOEDKOOOP, M. et al. **A Life Cycle Impact Assessment Method Which Comprises Harmonised Category Indicators at The Midpoint and the Endpoint Level**. *Potentials*, p. 1–44, 2009.

GOEDKOOOP, M. et al. **A LCIA Method Which Comprises Harmonised Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint Level**. *A life cycle impact ...*, p. 133, 2013.

GOEDKOOOP, M.; SPRIENSMA, R. **The Eco-indicator 99 - A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment**. Amersfoort, 2001.

GROXKO, M. **Mandioca - Análise da Conjuntura Agropecuária**. **Departamento de Economia Rural (DERAL)**, n. 41, p. 23, 2016.

GUIMARÃES, C. E.; TEIXEIRA, C. E.; SANTOS, M. R. DOS. **Avaliação do Desempenho Ambiental do Aproveitamento do Biogás em Indústrias Processadoras de Mandioca por meio de Indicadores GRI**. XVI Engema, 2014.

GUINÉE, J. **Handbook on Life Cycle Assessment - Operational Guide to the ISO Standards**. *International Journal*, v. 6, n. 1992, p. 86899, 2001.

HOMMA, A. K. O. **O Desenvolvimento da Agroindústria no Estado do Pará.** Saber Ciências Exatas e Tecnologia, v. 3, n. Belém, 2001.

HOWELER, R. H., LUTALADIO, N. B., THOMAS, G., F. AND A. O. OF THE U. N. **Save and Grow: Cassava - A guide to sustainable production intensification.** Rome: FAO, 2013.

HUIJBREGTS, M. A. J. et al. **Cumulative Energy Demand as Predictor for the Environmental Burden of Commodity Production.** Environmental Science and Technology, v. 44, n. 6, p. 2189–2196, 2010.

INÁCIO, L.; RODRIGUES, R.; PIRES, A. K. **Ocorrência de Bactérias Diazotróficas Endofíticas na Mandioca (Manihot esculenta Crantz).** Embrapa e Meio Ambiente. Jaguariúna, SP, 2005.

INMET, I. N. DE M. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa: Pesquisa estação convencional - série histórica dados mensais.** INMET. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/inicio.php>> Acessado em maio de 2017.

IPCC. **Greenhouse Gases and Aerosols.** In: WATSON, R. T. et al. (Eds.). . **Climate change: the IPCC scientific assessment.** UK: Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1990.

IPCC. **N2O Emissions from Managed Soils, and CO2 Emissions from Lime and Urea Application.** In: **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Hayama, JP: IGES, 2006.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Geneva, SW: Cambridge University, 2014.

JÚNIOR, M. DE S. M.; ALVES, R. N. B. **Minha Farinheira, Meu Grande Negócio.** Revista de Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado do Pará. Belém, PA, 2013.

JUNGBLUTH, N.; CHUDACOFF, M. **Life Cycle Inventories of Bioenergy. Final report ecoinvent ...**, n. 17, p. pp143-157, 2007.

JÚNIOR, M. DE S. M.; ALVES, R. N. B. **Produção de Farinha de Mandioca e de Farinha de Tapioca no Estado do Pará como Oportunidades de Negócios para Empreendedores e Agricultores na Amazônia.** In: DENARDIN, V. F e KOMARCHESKI, R. (Eds.). . **Farinheiras do Brasil: Tradição, cultura e perspectivas da produção familiar de farinha de mandioca.** Matinhos: UFPR Litoral, 2015.

JÚNIOR, V. P. DA S. **Life Cycle Assessment of French and Brazilian poultry Production Scenarios.** Florianópolis, SC: UFSC, 2011.

KIM, S.; DALE, B. E. **Life cycle Assessment of Various Cropping Systems Utilized for Producing Biofuels: Bioethanol and biodiesel.** Biomass and Bioenergy, v. 29, n. 6, p. 426–439, 2005.

KOELLNER, T.; SCHOLZ, R. W. **Assessment of Land use Impacts on the Natural Environment. Part 1: an Analytical Framework for Pure Land Occupation and Land Use Change.** The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 12, n. 1, p. 16–23, 2007.

KUCZMAN, O. et al. **Produção Específica de Biogás a Partir de Manipueira em Reator de Fase Única.** Engenharia Agrícola, v. 31, n. 1, p. 143–149, 2011.

MILÀ I CANALS, L. et al. **Key Elements in a Framework for Land Use Impact Assessment Within LCA.** The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 12, n. 1, p. 5–15, 2007.

NASA, G. S. F. C. **El Niño Could Drive Intense Season for Amazon Fires.** Disponível em: <<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/el-ni-o-could-drive-intense-season-for-amazon-fires>>. Acessado em 11 de maio de 2017.

NEMECEK, T.; KAGI, T. **Life cycle Inventories of Agricultural Production Systems.** Dübendorf: 2007.

NGUYEN, T. L. T.; GHEEWALA, S. H. **Life Cycle Assessment of Fuel Ethanol from Cassava in Thailand.** The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 13, n. 2, p. 147–154, 2008.

OLESEN, J. E.; BINDI, M. **Consequences of Climate Change for European Agricultural Productivity , Land Use and Policy.** European Journal of Agronomy, v. 16, p. 239–262, 2002.

OLIVEIRA, R. C. DE S. et al. **Demandas Tecnológicas para o Sistema Produtivo da Mandioca nas Microrregiões de Altamira e Santarém, no Estado do Pará.** Belém, PA, 2014.

OLSEN, K. M.; SCHAAL, B. A. **Evidence on the Origin of Cassava: Phylogeography of Manihot Esculenta.** Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 96, n. 10, p. 5586–5591, 1999.

PASCOAL FILHO, W.; SILVEIRA, G. S. R. **Cultura da Mandioca.** Emater. Belo Horizonte, MG, 2012.

PINTO, P. H. M. **Tratamento de Manipueira de Fecularia Utilizando Processos Oxidativos com Peróxido de Hidrogênio, Ozônio e Radiação Ultravioleta.** Botucatu, SP: UNESP, 2013.

PRÉ. **SimaPro Database Manual.** PRé', p. 1–67, 2016.

PRUDÊNCIO DA SILVA, V. et al. **Variability in Environmental Impacts of Brazilian Soybean According to Crop Production and Transport Scenarios.** Journal of Environmental Management, v. 91, n. 9, p. 1831–1839, 2010.

QUEIROZ, A. G.; FRANÇA, L.; PONTE, M. X. **The Life Cycle Assessment of Biodiesel from Palm Oil (“dendê”) in the Amazon.** Biomass and Bioenergy, v. 36, p. 50–59, 2012.

REBITZER, G. et al. **Life Cycle Assessment: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications.** Environment International, v. 30, n. 5, p. 701–720, 2004.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. **Recomendação Para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, Viçosa, MG, 1999.

ROSSELOT, K.; ALLEN, D. T. **Life-Cycle Concepts, Product Stewardship and Green Engineering (Chapter 13).** In: **Green Engineering: Environmentally Conscious Design of Chemical Processes.** Nueva Jersey: Prentice Hall, 2002.

SEBRAE, S. B. D. A. À. M. E. P. E. **Mandiocultura: Derivados da mandioca.** SEBRAE. Salvador, BA, 2009.

SEO, E. S. M.; KULAY, L. A. **Avaliação do Ciclo de Vida: Ferramenta gerencial para tomada de decisão.** Revista de gestão integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente, v. 1, n. 1, p. 1–23, 2006.

SILVA, J. **Desempenho do Reator Anaeróbio Horizontal com Chicanas no Tratamento da Manipueira em Fases Separadas e Estabilização do pH com Conchas de Sururu.** Maceió, AL, 2009.

SOUZA, J. S. I. **Enciclopédia Agrícola Brasileira.** EDUSP. São Paulo, SP, 2004.

SPIELMANN, M. et al. **Transport Services.** Ecoinvent, n. 14, p. 237, 2007.

TAKAHASHI, M. **Épocas de Poda na Cultura da Mandioca na Região Noroeste do Paraná, Brasil.** 1988.

UGAYA, C. M. L. **Análise do Ciclo de Vida: Estudo de caso para materiais e componentes automotivos no Brasil.** Campinas, SP: UNICAMP, 2001.

US EPA. **Life cycle assessment: principles and practice.** National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, n. May, p. 1–14, 2006.

VALLE, T. L.; LORENZI, J. O. **Variedades Melhoradas de Mandioca Como Instrumento de Inovação, Segurança Alimentar, Competitividade e Sustentabilidade:** Contribuições do Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Cadernos de Ciência & Tecnologia, v. 31, n. 1, p. 15–34, 2014.

VIGON, B. W. et al. **Life cycle assessment: Inventory guidelines and principles**. Cincinnati: EPA, 1993.

VILPOUX, O. F. **Competitividade da Mandioca no Brasil, como Matéria-prima para Amido**. Informações Econômicas, São Paulo, 2008.

WEIDEMA, B. P.; LINDEIJER, E. **Physical Impacts of Land use in Product Life Cycle Assessment: Final report of the EURENVIRON- LCAGAPS sub-project on land use**. 2001. Disponível em: <<https://lca-net.com/files/gaps9.pdf>>. Acessado em 11 de novembro de 2016.

WU, R.; YANG, D.; CHEN, J. **Social Life Cycle Assessment Revisited**. Hong Kong: Springer, 2014.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1 – Dados de Precipitação em Paranavaí/PR e Santarém/PA

Os dados da Estação Meteorológica 83767 de Maringá/PR e da Estação Meteorológica de Belterra/PA, apresentados no Quadro 3, representam os dados pluviométricos do município de Paranavaí/PR e do município de Santarém/PA, respectivamente.

**Quadro 3 - Dados pluviométricos de Paranavaí/PR e Santarém/PA**

Mês	Precipitação (PRV)	Precipitação (STM)
31/01/2014	188.3	305.5
28/02/2014	194.3	364.4
31/03/2014	340	380.1
30/04/2014	162.3	244.5
31/05/2014	123.9	249.9
30/06/2014	142.1	252.3
31/07/2014	132.8	69.5
31/08/2014	48.4	22.7
30/09/2014	151.3	12.3
31/10/2014	58.1	68.5
30/11/2014	149.2	32.1
31/12/2014	239.2	0,00
31/01/2015	236	108.3
28/02/2015	214.3	282.7
31/03/2015	307.2	267.7
30/04/2015	91.4	209.1
31/05/2015	188.4	165.7
30/06/2015	194.4	107.3
31/07/2015	340	138.3
31/08/2015	162.4	0,00
30/09/2015	123.10	0,00
31/10/2015	142.2	22.4
30/11/2015	132.9	0,00
31/12/2015	48.5	0,00
31/01/2016	151.4	67,00
29/02/2016	58.2	30.9
31/03/2016	149.3	333.7
30/04/2016	239.3	274,00
31/05/2016	236	90.5
30/06/2016	214.4	120.1
31/07/2016	307.3	59.9
31/08/2016	91.5	28.9
30/09/2016	188.5	113.1
31/10/2016	194.5	127.5
30/11/2016	340	42.1
31/12/2016	162.5	189.9

## ANEXO 2 - Relatório de análise de solo

**Laboratório de Análise de Solos**  
 Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos  
 e de Tecido Vegetal dos Estado do RS e SC - Rolas

### Relatório de Análise de Solo

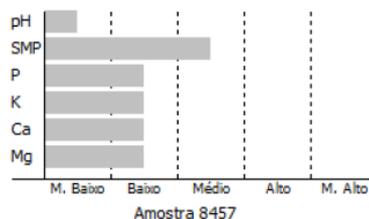
Produtor...: Helio Correa Filho - 611.957.581-20  
 Localidade..: Comunidade Boa Esperança  
 Município...: Santarém/PA  
 Remetente...: GERENCIA REGIONAL DE FLORIANÓPOLIS  
 Município...: FLORIANÓPOLIS/SC  
 Matrícula...:

N° do Relatório: 50246  
 Data Entrada: 31/05/2016  
 Data Emissão: 08/07/2016  
 Análise.....: Particular  
 Cópias.....: 7

N° da Amostra	Ref.	Área (ha)	Mat.Org.	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm³	K mg/dm³	M.O. %	Al cmolc/d	Ca cmolc/d	Mg cmolc/dm
8457	01	--		56	4,1	5,7	5,5	34,0	3,2	1,1	1,6	0,1

N° da Amostra	Ref.	Mat.Org.	H + Al cmolc/dm³	CTC pH7.0 cmolc/dm³	% Saturação na CTC		Soma Bases S	Relações		
					Al	V		Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
8457	01		5,9	7,69	38,77	23,24	1,79	16,00	18,40	1,15

### Interpretação dos Resultados das Análises




Cristiano Mora  
 QUÍMICO CRQ XIII 13100823  
 Responsável Técnico

Selo digital de fiscalização de laudo  
 0531D6CC-4371-47A7-8BAD-46EA5E68E5C9  
 Confira os dados do laudo em:  
<http://solosit.epagri.sc.gov.br/>

Epagri - Estação Experimental de Ituporanga - Laboratório de Análise de Solo

Estrada Geral Lageado Águas Negras, 453 - Caixa Postal 121 - CEP 88.400-000 - Ituporanga - SC

Home Page: [www.epagri.sc.gov.br](http://www.epagri.sc.gov.br) - email: [las-eeitu@epagri.sc.gov.br](mailto:las-eeitu@epagri.sc.gov.br)

Fone: (47) 3533-8832 ou 3533-8844

**ANEXO 3 - Coordenadas geográficas da área colhida em Santarém/PA**

Nº Ponto	Latitude	Longitude
314	2°44'38,6"	54°23'46,8"
315	2°44'38,2"	54°28'47,0"
316	2°44'38,4"	54°28'47,3"
317	2°44'38,6"	54°28'47,5"
317	2°44'38,7"	54°28'47,6"
319	2°44'39,1"	54°28'47,3"
320	2°44'39,1"	54°28'47,5"
321	2°44'39,2"	54°28'47,6"
322	2°44'39,6"	54°28'47,5"
323	2°44'49,0"	54°28'47,6"
324	2°44'40,1"	54°28'47,6"
325	2°44'40,4"	54°28'47,6"
326	2°44'40,6"	54°28'47,5"
327	2°44'40,1"	54°28'47,0"
328	2°44'40,0"	54°28'46,9"
329	2°44'39,6"	54°28'47,0"
330	2°44'39,1"	54°28'47,0"
331	2°44'38,9"	54°28'46,9"
332	2°44'38,7"	54°28'46,5"
333	2°44'38,5"	54°28'46,3"

## ANEXO 4 - Balanço de massa da farinha amarela tradicional

Foram realizadas duas colheitas de raízes de mandioca e a área colhida foi medida com auxílio de GPS. Após a colheita as raízes de mandioca foram pesadas com a finalidade de obter os dados de produção.

Tabela 10 - Dados da colheita da mandioca em Santarém/PA

Descrição	FARINHA AMARELA								
	Data: 21 /03/2016		Data 21/11/2016		MÉDIA		Extrapolção da Média para Unidade Funcional		
	Balanço de massa	(%)	Balanço de massa	(%)	Balanço de massa	(%)	Descrição	Balanço de massa	(%)
Raízes	1.215,50	100,00	1611	100,00	1.413,25	100,00	Raízes	5129,76	100,0
Cascas+terra	219,10	18,03	239,65	14,88	229,38	16,23	Cascas + terra	832,56	16,2
Corante amarelo (Kg)	0,15		0,24		0,20	0,05	Corante amarelo	0,70	0,06
Massa úmida	996,40	81,97	1371,35	94,00	1.184,68	83,83	Raspa úmida	4297,91	83,8
Prensa (manipueira)	568,80	46,80	715,48	44,41	642,14	45,44	Manipueira	2330,96	45,4
Corante eliminado (50%)							Corante amarelo	0,35	**
Crueiras	13,50	1,11	18,37	1,14	15,94	1,13	Crueiras	57,97	1,1
Óleo de soja (Kg)							Óleo de soja (Kg)	2,13	**
Vapor	204,60	16,83	296	18,37	250,30	17,71	Vapor	908,28	17,7
Farinha Amarela (100%)								1000,00	19,5
Farinha + óleo + corante	209,50	17,24	341,5	21,20	275,50	19,49	Farinha	1002,48	
Saco de ráfia (Kg)								1,64	
Farinha Embalada		0,00		0,00	0,00	0,00		1.004,12	
Área colhida (ha)	0,110117		0,124137	0,117					
Pontos (GPS)	197 a 206		314 a 333						
Produtividade (t/ha)	11,03		12,9	11,97					

**OBS: (Unidade Funcional = 1000) = 5.129,76Kg raízes**

## ANEXO 5 – Consumo de energia elétrica na produção da farinha amarela tradicional

ENERGIA ELÉTRICA	
MESES/2016	(Kw/h)
Junho	238
Julho	182
Agosto	231
Setembro	334
Outubro**	77
Novembro	211
MÉDIA MENSAL	239,2
MÉDIA SEMANAL	59,8
MÉDIA DIÁRIA (5 dias úteis)	11,96
<b>Consumo em 7 dias (UF)</b>	<b>83,72</b>

\*\* O mês de outubro não foi considerado na contagem, porque não houve fabricação neste por ser período de colheita da pimenta do reino.