

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DEBORA PORTELLA BIZ

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA PRODUÇÃO  
INDUSTRIAL DE CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO, UTILIZANDO A  
TÉCNICA DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV), EM UMA INDÚSTRIA DE  
CHÁS NO SUL DO BRASIL**

CURITIBA

2017

DEBORA PORTELLA BIZ

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA PRODUÇÃO  
INDUSTRIAL DE CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO, UTILIZANDO A  
TÉCNICA DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV), EM UMA INDÚSTRIA DE  
CHÁS NO SUL DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, em parceria com o SENAI-PR e a *Universität Stuttgart* - Alemanha, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Georges Kaskantzis Neto  
Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> M.Sc. Marielle Feilstrecker  
Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Mônica B. Kolicheski

CURITIBA

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS/UFPR  
BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

---

B625a Biz, Debora Portella  
Avaliação comparativa do desempenho ambiental da produção industrial de chá mate a granel e por infusão, utilizando a técnica da avaliação de ciclo de vida (ACV), em uma indústria de chás no sul do Brasil / Debora Portella Biz. – Curitiba, 2017.  
79 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, 2017.

Orientador: Georges Kaskantzis Neto.  
Coorientadoras: Marielle Feilstrecker, Mônica B. Kolicheski.

1. Ciclo de Vida. 2. Erva-mate. 3. Produção de chás. 4. SimaPRO. 5. ReCiPe. I. Universidade Federal do Paraná. II. Kaskantzis Neto, Georges. III. Feilstrecker, Marielle. IV. Kolicheski, Mônica B. V. Título.

CDD: 633.77

---

Bibliotecária: Romilda Santos - CRB-9/1214



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
Setor TECNOLOGIA  
Programa de Pós-Graduação MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **DEBORA PORTELLA** intitulada: **AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO, UTILIZANDO A TÉCNICA DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV), EM UMA INDÚSTRIA DE CHÁS NO SUL DO BRASIL**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 31 de Outubro de 2017.

  
GEORGES KASKANTZIS NETO

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

  
PATRICIA CHARVET

Avaliador Interno (UFPR)

  
MARCELO REAL PRADO

Avaliador Externo (UTFPR)

*Dedico este trabalho a meus pais, Arlete e Augustus, aos meus irmãos, Michelle e Thiago e ao meu marido Halisson, pelo constante apoio nesta jornada.*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Arlete e Augustus, pelo amor incondicional, pela inteira dedicação e por muitas vezes terem deixado de lado seus sonhos para acreditar nos meus. Vocês são os responsáveis por esta conquista e eu os amo muito.

Aos meus irmãos, Michelle e Thiago, pelo amor, carinho, companheirismo e confiança a mim dedicados. Obrigada por ensinar-me a persistir nos meus objetivos e obrigada por me ajudar a alcançá-los.

Ao meu marido e melhor amigo Halisson, por ser meu porto seguro quando a maré estava agitada demais, por todo amor, apoio e incentivo durante a realização desse trabalho e por todas as canecas de chá para aquecer e acalmar as noites de estudo.

A todos os meus familiares e, em especial aos meus avós Felipe, Helena e Wildi por todo apoio durante esta caminhada.

Aos amigos e colegas de trabalho e mestrado, pela confiança, convívio, amizade e companheirismo em todos os momentos compartilhados.

À empresa fabricante de chás a granel e por infusão, objeto de estudo desta dissertação de mestrado, e aos seus representantes pela oportunidade, confiança e apoio no desenvolvimento deste projeto.

À Giovanna Chiumento por todo auxílio e conhecimento compartilhado na execução deste trabalho.

Aos professores, coordenação e funcionários do Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial da Universidade Federal do Paraná, em parceria com o SENAI - PR e a *Universität de Stuttgart* – Alemanha, por todo apoio e conhecimento compartilhado.

Ao professor orientador Dr. Georges Kaskantzis Neto e às professoras co orientadoras M. Sc. Marielle Feilstrecker e Dr<sup>a</sup> Monica B. Kolicheski pelos ensinamentos compartilhados, pela orientação e por todo apoio.

Aos professores da banca de qualificação, pelas contribuições ao trabalho e também pelo profissionalismo.

A Deus, a fortaleza de minha vida, por amparar-me em todos os momentos e por guiar meu caminho e minhas escolhas.

*“Nunca o homem inventará nada mais simples nem mais belo do que uma manifestação da natureza. Dada a causa, a natureza produz o efeito no modo mais breve em que pode ser produzido.”*

*(Leonardo da Vinci)*

## RESUMO

Inicialmente usado com o objetivo medicinal, o consumo de chás tem se tornado uma prática comum, popularizando-se e conquistando, em diferentes versões, o paladar de muitas pessoas. A fim de que este produto conquistasse tantos consumidores, a indústria fez mudanças significativas em sua forma de apresentação, fazendo com que os chás deixassem de ser apreciados somente a partir da infusão de determinada folha ou fruta e tornando possível o consumo a partir de *blends* já preparados e servidos em versão a granel, solúvel, sachês e também nas versões líquidas e engarrafadas. Por tanta facilidade proporcionada ao consumidor, o cenário da produção de alimentos tem passado por inúmeras transformações e há de se destacar que se por um lado, o aumento na procura por alimentos industrializados dá sinais de que o atual momento é promissor por outro lado a grande demanda do setor cria uma consequência proporcional: um grande volume de resíduos gerados e de possíveis impactos ambientais emitidos ao meio ambiente. Sendo a avaliação de ciclo de vida (ACV) uma importante técnica para avaliar os impactos ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, este trabalho teve por objetivo comparar o processo de produção do chá mate a granel e por infusão, em uma indústria localizada na região sul do Brasil, por meio de princípios da técnica de ACV. As etapas foram mapeadas e inventariadas, considerando, quantitativamente e qualitativamente, as entradas e saídas dos processos estudados, utilizando o *software* SimaPro e o método ReCiPe 2008 em busca de avaliação e melhoria de seu desempenho ambiental. Os resultados obtidos revelaram que, de acordo com os dados levantados em campo e com as variáveis definidas para este estudo, o processo de fabricação do chá mate por infusão apresentou um desempenho ambiental menos favorável para o cenário estudado.

Palavras-chave: Avaliação de Ciclo de Vida; Erva-Mate; Produção de Chás; SimaPRO; ReCiPe.

## **ABSTRACT**

Initially used for medicinal purpose, the consumption of teas has become a common practice, becoming popular and conquering in different forms the palate of many people. Aiming to conquer consumers, the industry made significant changes in its presentation, teas are now appreciated not only from the infusion of a certain leaf or fruit but also they are available as already prepared blends, bulk, soluble or sachet versions as well as in the liquid and bottled versions. Because of the easiness provided to the consumer, the scenario of food production has undergone numerous transformations and it should be noted that if, on the one hand, the increase in the demand for processed foods gives signs that the current moment is promising, on the other hand this great demand creates a proportional consequence: a large volume of waste and possible environmental impacts. Since the life cycle assessment (LCA) is an important technique to evaluate the impacts throughout the life cycle of a product, this work had the objective to compare the production process of the yerba mate tea bulk version with the one of tea by infusion in an industry located in the southern region of Brazil, through principles of the LCA technique. The steps of each production line were quantitatively and qualitatively mapped and inventoried, considering the inputs and outputs of the processes studied and using SimaPro software and the ReCiPe 2008 method to evaluate and improve its environmental performance. The results revealed that according to the data collected in the field and with the variables defined for this study the manufacturing process of the infusion version of the yerba mate tea presented a less favorable environmental performance for the scenario studied.

Keywords: Life Cycle Assessment; Yerba mate; Tea production; SimaPRO; ReCiPe

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ÁREA DE OCORRÊNCIA DA ERVA-MATE NA AMÉRICA MERIDIONAL .....	19
FIGURA 2 - CARACTERIZAÇÃO DA FOLHA DE ERVA-MATE .....	19
FIGURA 3 - CICLO DO CANCHEAMENTO .....	21
FIGURA 4 - CICLO DO BENEFICIAMENTO .....	21
FIGURA 5 - SAPECADOR MECÂNICO .....	22
FIGURA 6 - ESTRUTURA DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA .....	27
FIGURA 7 - ELEMENTOS DA FASE DE AICV .....	31
FIGURA 8 - SISTEMA DE PRODUTO DA FABRICAÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL .....	42
FIGURA 9 - SISTEMA DE PRODUTO DA FABRICAÇÃO DO CHÁ MATE POR INFUSÃO .....	43
FIGURA 10 - ECO INDICADORES DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL .....	53
FIGURA 11 - ECO INDICADORES DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO CHÁ MATE POR INFUSÃO .....	54
FIGURA 12 - COMPARAÇÃO DOS ECO INDICADORES DA ACV DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO .....	55

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CLASSIFICAÇÃO DA ORIGEM DOS DADOS CONSIDERADOS .....	38
QUADRO 2 - PRINCIPAIS ENTRADAS E SAÍDAS DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CHÁS A GRANEL E POR INFUSÃO .....	44
QUADRO 3 - INVENTÁRIO DOS FLUXOS DE ENTRADA E SAÍDA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL.....	46
QUADRO 4 - INVENTÁRIO DOS FLUXOS DE ENTRADA E SAÍDA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO CHÁ MATE POR INFUSÃO .....	47
QUADRO 5 – PORCENTAGEM DE CONTRIBUIÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS PARA OS ECO INDICADORES DO CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO POR KG DE ERVA-MATE PRODUZIDO.....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	- Avaliação de Ciclo de Vida
AICV	- Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
CO	- Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	- Dióxido de Carbono
CONAMA	- Conselho Nacional de Meio Ambiente
GLP	- Gás Liquefeito de Petróleo
ICV	- Inventário do Ciclo de Vida
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Padronização)
NBR	- Norma Brasileira Regulamentadora
NO <sub>x</sub>	- Óxidos de Nitrogênio
SO <sub>2</sub>	- Dióxido de Enxofre
SENAI-PR	- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - Paraná
SETAC	- <i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i> (Sociedade de Toxicologia Ambiental e Química)
SGA	- Sistema de Gestão Ambiental
VOC	- Compostos Orgânicos Voláteis

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1	OBJETIVO GERAL.....	17
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
2.1	ERVA-MATE.....	18
2.1.1	Plantio e colheita da erva-mate.....	20
2.1.2	Industrialização da erva-mate.....	20
2.1.3	Ciclo do cancheamento.....	21
2.1.4	Sapeçamento da erva-mate.....	22
2.1.5	Secagem da erva-mate.....	23
2.1.6	Cancheamento da erva-mate.....	24
2.1.7	Beneficiamento da erva-mate.....	24
2.2	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV).....	25
2.2.1	Definição de objetivo e escopo da ACV.....	27
2.2.2	Análise de inventário de ciclo de vida.....	28
2.2.3	Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV).....	29
2.2.4	Interpretação do ciclo de vida.....	31
2.3	SOFTWARES E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	32
2.4	ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO CHÁ.....	34
2.5	ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS.....	34
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	37
3.1.	MAPEAMENTO DO CICLO DE VIDA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO.....	37
3.2.	INVENTÁRIO DAS PRINCIPAIS ENTRADAS E SAÍDAS NO CICLO DE VIDA DE FABRICAÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO.....	37
3.3.	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) DO CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO, UTILIZANDO O SOFTWARE SIMAPRO.....	40
3.4.	COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA PRODUÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL E CHÁ MATE POR INFUSÃO.....	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	42

4.1. MAPEAMENTO DAS ETAPAS DO CICLO DE VIDA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO.....	42
4.2 INVENTÁRIO DAS PRINCIPAIS ENTRADAS E SAÍDAS NO CICLO DE VIDA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL E DO CHÁ MATE POR INFUSÃO .....	44
4.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL E DO CHÁ MATE POR INFUSÃO, UTILIZANDO O SOFTWARE SIMAPRO .....	48
4.4 COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO POR MEIO DOS PRINCÍPIOS DA TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	53
4.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	56
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>58</b>
<b>APÊNDICE 1 – FICHAS DE COLETA DE DADOS PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CHÁ MATE A GRANEL .....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE 2 – FICHAS DE COLETA DE DADOS PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CHÁ MATE POR INFUSÃO .....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O cenário da produção de alimentos tem passado por inúmeras transformações e há de se destacar o aumento na procura por alimentos industrializados. Este fato, por si só, significa que a economia do país dá sinais de que o atual momento é promissor. Contudo, com a grande demanda do setor, cria-se uma consequência proporcional: um grande volume de resíduos gerados tanto no processo de fabricação quanto no consumo do produto final após sua utilização.

Sendo no início usado com objetivo medicinal, os chás desassociaram-se, com o passar do tempo, de questões unicamente médicas, popularizando-se e conquistando o paladar de muitas pessoas. Em virtude disso, a indústria fez mudanças significativas em sua forma de apresentação: se nos primórdios, o chá era conseguido somente a partir da infusão de determinada folha ou fruta, com o tempo surgiram as opções a granel, em sachês e finalmente as versões engarrafadas.

A crescente preocupação ambiental vista à escassez dos recursos naturais nos dias de hoje promove um novo modo de pensar das grandes empresas buscando novas políticas de gestão focadas no meio ambiente e no desenvolvimento sustentável de seus processos, produtos e serviços, fazendo com que sejam incorporados em suas filosofias de negócios conceitos de sustentabilidade, uma vez que segundo Silva *et al.* (2015), o uso de recursos renováveis, a reciclagem e reutilização de resíduos, principalmente originários de processos industriais são gerados em grande quantidade em paralelo ao desenvolvimento industrial.

De encontro a isso, a análise dos aspectos ambientais desponta como um importante mecanismo visando o conhecimento de todos os possíveis impactos ambientais gerados nos processos produtivos com o intuito de torná-los mais ambientalmente seguros.

Da necessidade de se estabelecer uma metodologia que facilitasse a análise dos impactos ambientais entre as atividades de uma empresa, surgiu a avaliação de ciclo de vida (ACV) que para Evangelista *et al.* (2014) tem se apresentado como uma ferramenta importante na identificação dos aspectos e quantificação destes impactos em busca de processos mais sustentáveis.

Apesar de bastante robustos os processos de fabricação de chá mate a granel (cuja versão de comercialização apresenta menos embalagens e é a mais próxima

das versões naturais) e de chás por infusão (em sachês), diversos impactos ambientais podem ser detectados e identifica-los e quantifica-los comparando seus desempenhos ambientais torna-se um importante método de controle ambiental com o objetivo de auxiliar em tomadas de decisão, por parte dos fabricantes, para otimização de processos com o propósito de exercer o conceito de desenvolvimento sustentável.

Assim, considerando o baixo número de estudos envolvendo ACV de processo produtivo de chás, seja a granel ou por infusão, em indústrias nacionais e a necessidade de se conhecer os impactos ambientais negativos dos produtos avaliados com o objetivo de propor medidas de controle e/ou mitigação, justifica-se a presente proposta de trabalho.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Comparar o desempenho ambiental da produção industrial do chá mate a granel e por infusão em uma indústria de chás na região sul do Brasil, utilizando os princípios da avaliação de ciclo de vida.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Mapear as etapas do ciclo de vida do processo de fabricação do chá mate a granel e do chá mate por infusão;
- b) Inventariar as principais entradas e saídas no ciclo de vida do processo de fabricação do chá mate a granel e do chá mate por infusão;
- c) Avaliar o ciclo de vida do processo de fabricação do chá mate a granel e do chá mate por infusão, utilizando o *software* SimaPro;
- d) Comparar o desempenho ambiental da produção do chá mate a granel e do chá mate por infusão, considerando consumo de energia, recursos naturais e geração de resíduos sólidos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ERVA-MATE

Originária da América do Sul e de acordo com o naturalista francês August de Saint Hillaire a erva-mate pertence à família Aquifoliácea e é classificada como uma angiosperma, da classe dicotiledônia, subclasse *archichlamydeae*, pertencente ao gênero *Ilex* e espécie *paraguariensis*.

Sua produção, comercialização e consumo em conjunto com seu peso econômico apoiou, segundo Boguszewsk (2007), a economia do estado do Paraná tornando-se um fator decisivo no processo de construção da imagem paranaense, fazendo com que, inclusive, um ramo de erva-mate compusesse a bandeira do estado.

A erva-mate é uma matéria-prima de grande importância para a região sul do Brasil onde tem sua área de ocorrência natural (Figura 1) e ocupa uma região de aproximadamente 540.000 km<sup>2</sup> entre o noroeste Argentino, o leste do Paraguai e sul do Brasil (BERTÉ, 2011) podendo ocorrer também na região do Mato Grosso do Sul. Nesta última região, ainda integra o cotidiano da comunidade Kaiowá e Guarani, onde é reconhecida por suas propriedades anti-inflamatórias, terapêuticas e diuréticas, uma vez que, com uma composição química bastante complexa a ingestão da infusão pode ser uma importante fonte de minerais essenciais (Ca, K, Mg, S e P) e vitaminas A e do complexo B (MELO *et al.*, 2007).

Com o caule como um tronco de cor acinzentada, geralmente entre 20 a 25 cm de diâmetro, o aspecto da árvore de erva-mate e seu suporte lembram a laranjeira (FRIETTO, 2008), porém, sua exploração se dá no uso das folhas e ramos, ilustrados na Figura 2, que colhidos e processados, dão origem a diferentes produtos. As folhas são a parte mais importante da erva-mate e estas são alternas, subcoriáceas e até coriáceas e, mostram-se estreitas na base e ligeiramente obtusas no vértice (MAZUCHOWSKI, 1989).

FIGURA 1 - ÁREA DE OCORRÊNCIA DA ERVA-MATE NA AMÉRICA MERIDIONAL



Fonte: Adaptado de Gerhardt, 2013.

Segundo Maccari Junior (2005) a erva-mate foi plenamente incorporada aos hábitos alimentares dos brasileiros, em particular no Sul do Brasil, onde se destaca o consumo na forma de chá mate, chimarrão - cuja degustação ocorre com água quente ou tererê, onde se é adicionado água gelada.

FIGURA 2 - CARACTERIZAÇÃO DA FOLHA DE ERVA-MATE



Fonte: O autor (2017)

### 2.1.1 Plantio e colheita da erva-mate

Em virtude do repouso vegetativo da planta, a melhor época para plantio da erva-mate é no inverno, especialmente no mês de agosto e, preferencialmente, em dias chuvosos ou encobertos (MAZUCHOWSKI, 1989).

Pela melhora na circulação de ar, na penetração da luz solar e a fim de favorecer o crescimento uniforme das plantas e facilitar o trabalho de plantio, capina, podas e replantio nos campos de erva-mate, a maneira mais usual para a realização do plantio é em linhas (MAZUCHOWSKI, 1989).

A colheita se dá a partir da retirada das partes dos ramos com galhos, de aproximadamente 20 cm de diâmetro, que contenham folhas, consideradas maduras, ou seja, folhas que tenham idade, aproximadamente, de dois ou três anos, prontas para serem colhidas, de acordo com a avaliação e análise visual da pessoa que realiza a colheita (ROCHA JUNIOR, 2001).

As folhas desbastadas da planta são depositadas numa manta denominada poncho, disposta ao redor das árvores, a fim de evitar o contato das folhas com o solo (ROCHA JUNIOR, 2001).

De acordo com Santin *et al.* (2015, p. 574) “no estabelecimento de plantios a campo, seja com espécies nativas ou exóticas, a fase mais crítica de sobrevivência das mudas ocorre nos primeiros meses após o plantio”.

Atualmente, um dos maiores problemas relacionados ao plantio da erva-mate é a produção de mudas por sementes, sem critérios de seleção de matrizes, que é a principal forma de estabelecimento de ervais no Brasil, ocasionando plantios com crescimento desuniforme, baixa produtividade e baixa qualidade da erva-mate para fins comerciais, ocasionando um menor rendimento industrial (SANTIN *et al.*, 2015).

### 2.1.2 Industrialização da erva-mate

De acordo com Rocha (2016, p. 36) “as folhas da erva-mate não são consumidas na sua forma bruta e precisam ser submetidas a vários estágios de processamento antes de estarem prontas para a comercialização”.

O processo de industrialização e beneficiamento da erva-mate foi pouco alterado com o passar do tempo fazendo com que existam, basicamente, dois ciclos distintos no beneficiamento da erva-mate com o intuito de prepara-la para a comercialização: o ciclo do cancheamento, que é o ato de triturar a erva-mate depois que ela passou pelo processo de desidratação, esquematizado na Figura 3, e o ciclo do beneficiamento, que é a sua industrialização com o propósito de adquirir as características para comercialização (Figura 4) (ROCHA JUNIOR, 2001).

FIGURA 3 - CICLO DO CANCHEAMENTO



Fonte: O autor (2017)

FIGURA 4 - CICLO DO BENEFICIAMENTO



Fonte: O autor (2017)

### 2.1.3 Ciclo do cancheamento

O ciclo do cancheamento é a primeira fase do processo de industrialização da erva-mate e é composto pelas etapas de sapeco, secagem, moagem ou cancheamento, conforme descrito no decorrer deste item, e em alguns casos é finalizado pela etapa de peneiramento, onde a erva-mate é separada em diferentes granulometrias, conforme a necessidade de sua aplicação.

#### 2.1.4 Sapecamento da erva-mate

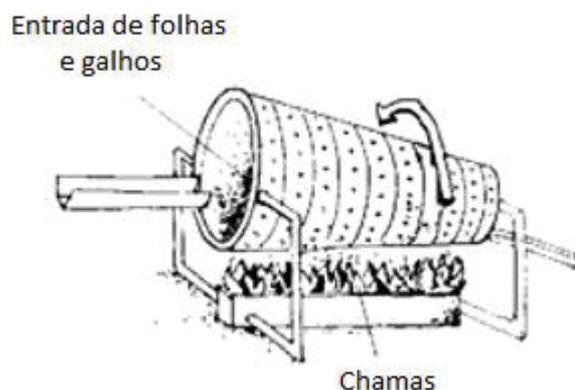
Em forma rudimentar, o sapeco é realizado manualmente e consiste na passagem rápida dos ramos com folhas de erva-mate, sobre as chamas de uma fogueira com lenha, sem modificar as características sensoriais típicas da erva-mate e com a intenção de abrir os estômatos das folhas, provocando a desidratação das mesmas (SERAFIM, 2016).

De acordo com Berté (2011) o processo de sapeco também é conhecido como branqueamento térmico sendo importante para inativação de enzimas contidas nas folhas e ramos de erva-mate e para retirada da umidade, com a intenção de que não ocorra a oxidação da matéria-prima (FREITAS *et al.*, 2016).

Para Rocha Junior (2001), em seu processo mais atual, o sapeco consiste na passagem rápida das folhas de erva-mate colhidas em uma fonte de calor podendo ser, por exemplo, nas chamas de um sapecador (Figura 5).

O sapecador é um equipamento cilíndrico, metálico, perfurado e inclinado por onde, em contato com as chamas, passa o vegetal colhido e por onde, pás internas levam as folhas sapecadas de uma extremidade a outra do cilindro (ROCHA JUNIOR, 2001; ESMELINDRO *et al.*, 2002).

FIGURA 5 - SAPECADOR MECÂNICO



Fonte: Adaptado de Maccari Junior (2005).

### 2.1.5 Secagem da erva-mate

Depois de sapecada a erva-mate passa para a fase de secagem, que é realizada em locais apropriados até as folhas ficarem encrespadas e quebradiças (SERAFIM, 2016) e até que seus teores de umidade sejam reduzidos a valores que garantem a estabilidade do vegetal (MACCARI JUNIOR, 2005).

De acordo com Serafim (2016, p. 18) “na indústria moderna, em que o processo também é chamado de mecânico, as máquinas empregam a energia elétrica, existindo duas caldeiras principais, a do sapeco e a da secagem, cada uma possui uma fornalha, onde se utiliza lenha”.

O processo de secagem da erva-mate pode ser realizado em dois tipos de secadores mecânicos, sendo eles rotativo e de esteira, diferentes entre si em virtude do contato que se dá da matéria-prima com a fumaça durante o processo de secagem: no primeiro processo, a fumaça entra em contato direto com o produto e, no segundo, o contato é indireto, o que causa menores danos à matéria-prima (ESMELINDRO *et al.*, 2002).

Nos processos contendo secadores de esteira, ventiladores ou sopradores impelem o gás de secagem contracorrente, concorrente ou perpendicularmente ao sentido do deslocamento do material, que é transportado por uma esteira de tela metálica inserido na saída do túnel de secagem (ABITANTE, 2007).

Por sua vez, os secadores de esteira são constituídos de duas ou mais bandejas de metal perfuradas, unidas entre si por rolamentos em série, de forma que a alimentação do vegetal é feita na bandeja superior e a descarga na bandeja inferior. Ainda neste sistema, o gás de secagem é sempre alimentado por meio da base das pilhas de esteiras, de forma que o material mais seco encontra o gás mais quente e seco, enquanto que o material transportado nas bandejas superiores é submetido a uma secagem com gás em menor temperatura (ABITANTE, 2007).

O tempo de residência e a temperatura da erva nos secadores dependem das características operacionais de cada um, por exemplo, em média, no secador de esteira o tempo é de 3 horas e a temperatura varia entre 90 e 110 °C. Já no secador rotativo, o vegetal permanece em contato direto com a fumaça por aproximadamente 30 minutos, porém a temperatura média não apresenta a mesma uniformidade da utilizada no secador de esteira: obtendo uma temperatura média de 350°C na entrada e de 110°C na saída (ESMELINDRO *et al.*, 2002).

### 2.1.6 Cancheamento da erva-mate

Após o processo de secagem, as folhas de erva-mate passam pelo processo de moagem e peneiramento, denominado cancheamento, onde a erva-mate seca é triturada e fragmentada (ROCHA JUNIOR, 2001), passando a chamar-se “erva-mate cancheada” (FRIETTO, 2008).

No método rústico e antigo de canchear, a erva-mate é colocada num galão de madeira circular, chamado cancha, por onde sobre passa um cone dentado que fragmenta e tritura as folhas. Já na indústria a redução no tamanho do vegetal se dá por roscas, que moem e trituram as folhas secas de acordo com a rotação que é dada à rosca (COLPO, 2012).

A erva-mate cancheada pode ser usada diretamente como matéria-prima para a produção de chás ou chimarrão (ESMELINDRO *et al.*, 2002).

### 2.1.7 Beneficiamento da erva-mate

Na fase de beneficiamento a erva-mate adquire as características desejadas comercialmente e passa basicamente por três operações: soque, onde a erva-mate é socada em uma bateria de pilões mecânicos até atingir a granulometria desejada; separação, onde é realizada a limpeza da erva-mate por meio de peneiras, ventiladores e filtros coletores de pó e; mistura, onde são agregados novamente palitos e folhas desidratadas separadamente para confecção de *blends* (COLPO, 2012).

De um modo geral, o beneficiamento é onde as frações são misturadas na proporção correta para compor os tipos comerciais e é composto por poucas operações visando adequar o produto a padrões do mercado (MACCARI JUNIOR, 2005).

Segundo Gerhardt (2013, p. 227) “o processo de beneficiamento industrial a partir de monocultivos da planta tem, hoje, importância econômica em diversas regiões, mas em outras a produção agroflorestal de erva-mate ainda é predominante”.

## 2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR ISO14040, em sua versão de 2009, a crescente preocupação quanto a proteção ambiental e os possíveis impactos associados a processos, produtos e serviços têm aumentado o interesse no desenvolvimento e utilização de métodos para melhor compreender e avaliar tais impactos.

A ABNT NBR ISO14001, em sua versão de 2015, define ciclo de vida como os estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto (ou serviço), desde a aquisição da matéria-prima ou de sua geração, a partir de recursos naturais até a disposição final. A mesma norma ainda estabelece que os estágios do ciclo de vida incluem a aquisição da matéria-prima, projeto, produção, transporte/entrega, uso, tratamento pós consumo e disposição final.

A ACV é uma técnica para modelagem de sistemas de produção reconhecida internacionalmente para auxiliar em políticas e programas de sustentabilidade de produção e consumo (COELHO FILHO, SACCARO JUNIOR E LUEDEMANN, 2015) subsidiando as etapas do desenvolvimento do produto, a gestão da produção, o pós-uso, a logística convencional e a reversa, entre outras, a partir da compilação de informações e das avaliações técnicas (OMETTO, 2005).

De acordo com Prado (2007) o ciclo de vida inicia-se quando os recursos para sua fabricação são removidos da natureza (berço) e finaliza-se quando o material se decompõe, retornando para a terra (túmulo), buscando resgatar a história dos produtos a partir da natureza, em termos do que é consumido e de como lhe é devolvido.

A ACV é, então, a união e avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto, ao longo de seu ciclo de vida, isto é, desde a aquisição de matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até a disposição final, traçando o chamado caminho do “berço ao túmulo” (ABNT, 2009).

Para Reis (2015), o ciclo de vida de um produto pode ocorrer de diferentes formas, dependendo do objetivo do estudo da ACV, podendo ser estas formas do berço ao túmulo (*from cradle to grave*), do berço ao portão (*from cradle to gate*), do portão ao portão (*from gate to gate*) e do portão ao túmulo (*from gate to grave*).

Ainda de acordo com Reis (2015), a primeira forma (do berço ao túmulo) tem como objetivo analisar a extração das matérias-primas e energia, fabricação do produto e seu descarte final. Já a segunda forma (do berço ao portão) baseia-se na análise da extração das matérias-primas e energia até o início da fabricação do produto. Já, a terceira forma (do portão ao portão) é baseada na análise do processo de fabricação do produto estudado e, por fim, a quarta forma (do portão ao túmulo) é realizada com base na análise do produto até o seu descarte final.

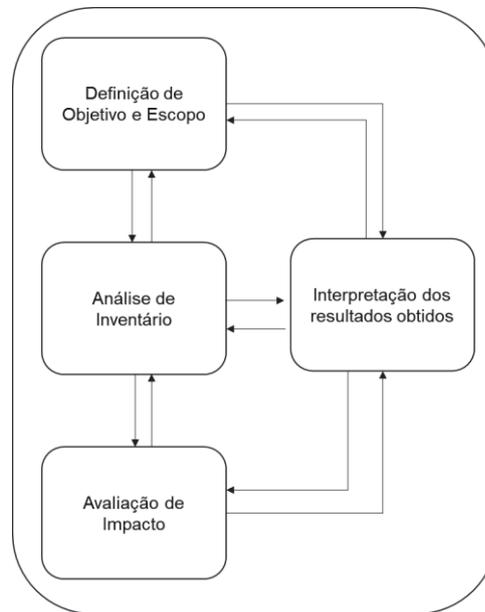
Assim, a avaliação de ciclo de vida tem por objetivo avaliar o comprometimento ambiental de um produto, um processo ou uma atividade, a partir de suas entradas e saídas e da energia consumida em todo o seu ciclo de vida, tornando-se, portanto, uma técnica de compilação dos aspectos ambientais e da avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a ele (OMETTO, 2005).

Segundo ABNT NBR ISO14040 de 2009, uma ACV consiste em quatro fases: a fase de definição de objetivo e escopo (podendo variar consideravelmente a depender do objeto e do uso pretendido), passando para a fase de análise do inventário obtido, seguido pela fase de avaliação de impactos e, por fim, passando para a fase de interpretação dos resultados obtidos, que pode ocorrer em conjunto com as demais fases (Figura 6).

De acordo com Valt (2004) e, levando em consideração a Figura 6, é possível observar que as quatro etapas da ACV estão interligadas, de forma que o correto desenvolvimento de cada uma das fases é indispensável para o sucesso do estudo.

Atuando como um instrumento importante que gera informações sobre o uso de recursos e emissões de um determinado processo, produto ou serviço, a ACV permite mensurar e avaliar os impactos potenciais relacionados a estes sobre o meio ambiente a fim de, finalmente, identificar meios para reduzir esses impactos (SILVA E SILVA, 2000) agindo com um instrumento integrativo, científico e quantitativo, primariamente de gestão ambiental direcionada ao produto, cobrindo todos os estágios do ciclo de vida e de seus aspectos e impactos ambientais (OMETTO, 2005).

FIGURA 6 - ESTRUTURA DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA



Fonte: Adaptado de ABNT, 2009.

Segundo Valt (2004) a ACV permite a identificação de oportunidades de melhorias de aspectos ambientais considerando as várias fases de um sistema de produção, contribuindo para a diminuição do consumo de recursos naturais e geração de resíduos e, segundo McManus e Taylor (2015) seu uso aumentou rapidamente desde sua concepção, tornando-se uma ferramenta bem conhecida e amplamente utilizada em toda a indústria, academia e política.

De acordo com Silva (2012) o desenvolvimento de um estudo de ACV não segue um fluxo único e direto, pois em cada fase as definições tomadas podem ser redefinidas, uma vez que o conhecimento sobre o produto em estudo aumenta conforme se obtém mais informações sobre ele.

### 2.2.1 Definição de objetivo e escopo da ACV

O objetivo de uma ACV, segundo a ABNT NBR ISO14040 em sua versão 2009, é declarar a aplicação pretendida da análise de ciclo de vida, as razões para execução do estudo, o público-alvo a ser comunicado dos resultados do estudo e se há a intenção de utilizar os resultados em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente.

Ainda de acordo com a ABNT NBR ISO14040 (2009), é importante que o escopo seja bem definido para assegurar que a abrangência, profundidade e detalhamento do estudo sejam suficientes para atingir o objetivo esperado e, que inclua, em sua definição, o sistema de produto a ser estudado e suas funções, a unidade funcional, a fronteira do sistema, procedimentos de alocação, a categoria de impacto selecionada bem como a metodologia para avaliação de tais impactos e sua interpretação, requisitos de dados, pressupostos, limitações, requisitos de qualidade dos dados, tipo de formato do relatório requerido para o estudo e, se aplicável, tipo de revisão crítica.

De acordo com Pavan (2014) o objetivo do estudo deve retratar as razões da execução do mesmo e buscar a identificação dos pontos críticos e a aplicação destinada a determinado público alvo.

Segundo a ABNT NBR ISO14001 (2015, p. 13) “um sistema pode ter várias funções possíveis e aquela(s) selecionada(s) para um estudo depende(m) do objetivo e escopo da ACV”.

A definição de uma unidade funcional é importante para referenciar como as entradas e saídas de uma avaliação de ciclo de vida estão relacionadas, sendo esta referência necessária para garantir a correta comparabilidade dos resultados de ACV e, com o objetivo de definir quais os processos elementares e fluxos devem ser incluídos no sistema, com o objetivo de se obter um bom grau de confiança no levantamento dos dados estudados bem como tornar o estudo mais assertivo no atingimento do objetivo descrito (ABNT, 2009).

Diversas fases do ciclo de vida, processos elementares e fluxos devem ser levados em consideração ao se estabelecer a fronteira do sistema, como por exemplo, aquisição de matérias-primas; entradas e saídas do processo de fabricação; distribuição e transporte; produção e uso de combustíveis, eletricidade e calor; disposição final de resíduos e etc. (ABNT, 2009).

### 2.2.2 Análise de inventário de ciclo de vida

A análise do inventário de ciclo de vida ocorre a partir da coleta de dados e de procedimentos de cálculo com a finalidade de quantificar as entradas e saídas relevantes de um sistema de produto. Este processo é considerado iterativo, em

virtude de que à medida que os dados são coletados são ampliados o conhecimento sobre o produto, seus requisitos e seus sistemas, fazendo com que mudanças nos procedimentos de coleta de dados sejam realizadas de modo que os objetivos do estudo possam ainda ser satisfeitos (ABNT, 2009).

Os dados para cada processo elementar dentro da fronteira do sistema podem ser classificados sob títulos gerais, incluindo entradas de energia, entradas de matéria-prima, entradas auxiliares, outras entradas físicas; produtos, coprodutos e resíduos; emissões atmosféricas, descargas para a água e solo, e; outros aspectos ambientais. [...] Em seguida à coleta de dados, procedimentos de cálculo, incluindo validação dos dados coletados, a correlação dos dados aos processos elementares e a correlação dos dados aos fluxos de referência e à unidade funcional são necessários para gerar os resultados do sistema definido, para cada processo elementar, referidos à unidade funcional estabelecida para o sistema de produto a ser modelado (ABNT, 2009, p. 14).

De acordo com Sampaio, Lima e Canchumani (2016), o inventário do ciclo de vida é a base para o estudo de uma ACV, onde toda energia e matérias-primas são descritas e quantificadas, assim como as emissões durante a vida do produto ou processo. Ainda de acordo com estes autores, o inventário do ciclo de vida (ICV) é igualmente importante para se ter conhecimento dos coprodutos do processo e analisar o melhor destino para os mesmos, com o propósito de se obter a menor geração de resíduos e efluentes possíveis, por exemplo.

### 2.2.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)

Os resultados inventariados no ciclo de vida do produto, a avaliação de impacto do ciclo de vida tem por objetivo estudar a significância dos impactos ambientais potenciais levantados (ABNT, 2009), podendo ser subdividida nos elementos descritos na Figura 7.

A terceira fase da ACV tem como finalidade, segundo Mendes, Bueno e Ometto (2016) avaliar a significância ambiental dos resultados do inventário por meio de modelos e fatores de caracterização contidos nos métodos de AICV.

Segundo Silva (2012), nesta etapa os dados de inventário são correlacionados com categorias e indicadores de impacto ambiental mediante a utilização de métodos técnico-científicos, por meio de três etapas consideradas mandatórias, sendo elas: a) seleção – onde são selecionadas as categorias de

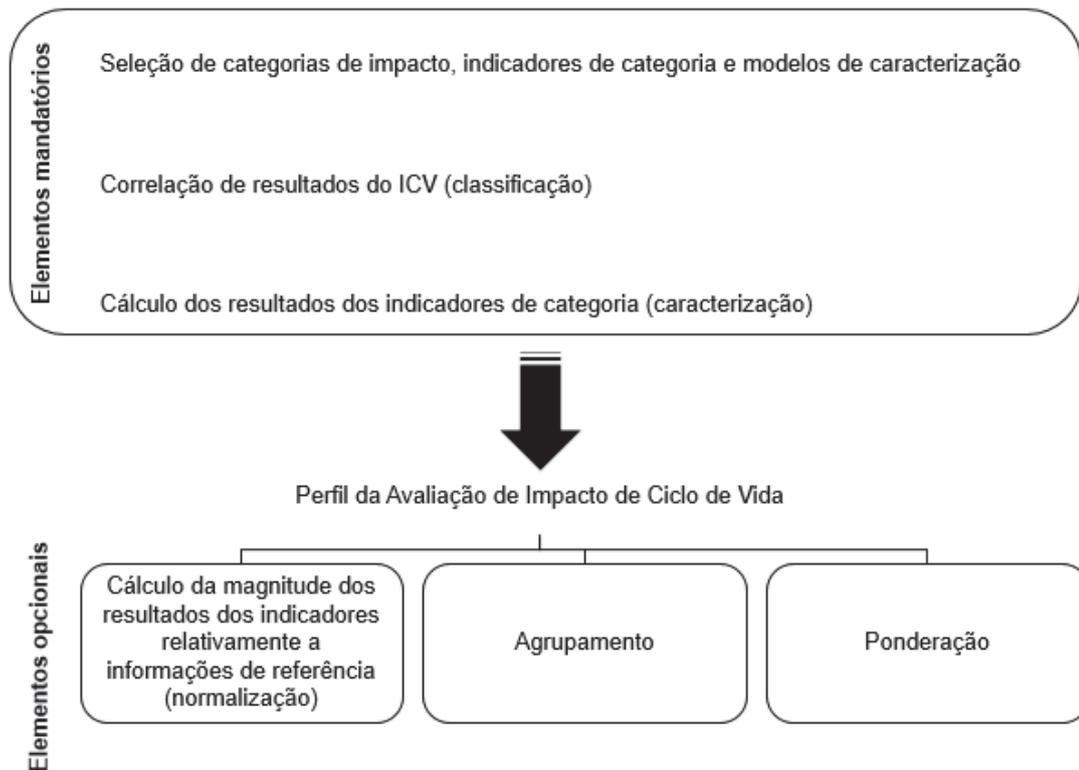
impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização, b) classificação – correlacionam-se as cargas ambientais de inventário com as diferentes categorias de impacto selecionadas anteriormente e, c) caracterização onde, de acordo com a ABNT NBR ISO 14044 (2009), são convertidos os resultados do ICV para unidades comuns e agregados os resultados convertidos dentro da mesma categoria de impacto, sendo as etapas de normalização, agrupamento e ponderação opcionais dentro uma AICV.

Em geral, os elementos mandatórios de uma AICV se resumem na seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização, passando para a classificação e caracterização dos resultados obtidos. O cálculo da magnitude dos resultados, o agrupamento dos mesmos e a ponderação são elementos opcionais.

Sendo a etapa de normalização, segundo a ABNT NBR ISO 14044 (2009), o cálculo da magnitude dos resultados dos indicadores de categoria com relação a alguma informação de referência, a etapa de agrupamento a reunião de categorias de impacto em um ou mais conjuntos conforme pré-definido na definição do objetivo e escopo e, por fim, a etapa de ponderação, que consiste no processo de conversão dos resultados de indicadores de diferentes categorias de impacto pela utilização de fatores numéricos baseados em escolha de valores.

De acordo com a ABNT NBR ISO14040 (2009), em geral, o processo de AICV envolve associar dados de inventário com categorias de impacto específicas e indicadores de categoria com o intuito de entender tais impactos e sua significância no ciclo de vida do produto.

FIGURA 7 - ELEMENTOS DA FASE DE AICV



Fonte: Adaptado de ABNT, 2009.

#### 2.2.4. Interpretação do ciclo de vida

Sendo a última fase de uma ACV, a interpretação dos resultados é onde as constatações das análises de inventário e da avaliação de impactos são consideradas em conjunto, podendo tomar a forma de conclusões e recomendações aos tomadores de decisão, consistentes com o objetivo e escopo de estudo (ABNT, 2009).

De acordo com Willers, Rodrigues e Silva (2013), a fase de interpretação dos resultados de uma ACV é onde as constatações da análise do inventário e da avaliação de impacto são combinadas com o objetivo e o escopo definidos, visando alcançar conclusões e recomendações.

A interpretação dos resultados é a última etapa de uma ACV e neste ponto, segundo Silva (2012), são tomadas as conclusões, recomendações e limitações do estudo.

Ainda segundo a ABNT NBR ISO 14044 (2009) os resultados das fases de ICV ou AICV devem ser interpretados de acordo com o objetivo e escopo do estudo e a interpretação deverá incluir uma avaliação e uma verificação dos resultados obtidos como entradas e saídas e das escolhas metodológicas realizadas, visando o entendimento da incerteza dos resultados.

### 2.3 SOFTWARES E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Por ser uma ferramenta complexa, de acordo com Ribeiro (2009), a ACV requer um número elevado de dados, tempo e recursos e dispõe de uma grande variedade de *softwares* para auxiliar na condução de seus estudos, tornando possíveis sua realização e garantindo resultados e conclusões de maior confiança.

Segundo Wernet *et al.* (2016), a obtenção de bons dados como base de um estudo de avaliação de ciclo de vida são fundamentais e, diante disso, muitos profissionais fazem uso de *softwares* com banco de dados já existentes.

Para Rodrigues *et al.* (2008) os *softwares* de ACV auxiliam na execução de todo o estudo permitindo o processamento mais fácil, imparcial e rápido dos dados obtidos, garantindo maior confiança e originando relatórios de maior consistência, uma vez que já dispõem de banco de dados, minimizando o tempo despendido em relação à coleta dos mesmos. Ainda para Rodrigues *et al.* (2008) esses *softwares* também realizam a avaliação de impacto e facilitam a interpretação dos resultados por meio de gráficos e tabelas.

Segundo Ribeiro (2009), com tantas vantagens, torna-se imprescindível a utilização de *softwares* para condução de uma ACV.

Neste contexto, surge o *software* SimaPro, que de acordo com Lemperos e Potting (2015) foi desenvolvido pela Pré Consults, na Holanda, e atualmente é muito utilizado por uma gama de engenheiros ambientais para fornecer informações baseadas no ciclo de vida de produtos e processos em geral.

Takeda, Tachard e Ometto (2010) realizaram uma vasta pesquisa sobre os métodos de AICV e concluíram que, embora existam uma grande variedade de métodos, os mais utilizados e citados em artigos científicos disponíveis em banco de dados internacionais concentram-se em seis famílias, sendo elas Eco-indicator 99, LIME, EPS 2000, Eco-indicator 95, CML 2000 e Impact 2002+.

De acordo com Mendes (2013) por não existirem métodos desenvolvidos especificamente para o contexto brasileiro ou da América do Sul é recomendada a utilização dos métodos de AICV que apresentam uma abrangência classificada como global para o escopo de suas categorias de impacto.

De encontro a isso, de acordo com Goedkoop *et al.* (2016), em 2016 é atualizado o método ReCiPe 2008 para a versão 2016, incluindo categorias de *midpoint* (orientado a problemas) e *endpoint* (orientado aos danos) e representativos em escala global e não mais europeia, como a versão de 2008.

Segundo Goedkoop *et al.* (2016), a base do método ReCiPe surgiu em meados do 2000 quando imediatamente após as conferências do SETAC, uma sessão especial concentrou-se na compreensão dos pontos fortes e fracos dos métodos de *midpoint* e *endpoint*, concluindo que seria desejável a existência de um método onde os indicadores de ponto médio e ponto final pudessem ser usados em conjunto.

Do ponto de vista de Mendes (2013), o método de ReCiPe é uma continuação dos métodos Eco-indicator 99 e CML 2002, integrando e harmonizando as abordagens *midpoint* e *endpoint* em uma estrutura consistente.

As categorias de impacto abordadas no método ReCiPe, segundo o Manual do Banco de Dados SimaPRO (2017), ao nível *midpoint* são alterações climáticas, depleção da camada de ozônio, emissão de radiação ionizante, formação de ozônio – com impacto na saúde humana, formação de partículas finas, formação de ozônio – com impacto nos ecossistemas terrestres, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade marinha, toxicidade cancerígena humana, toxicidade humana não carcinogênica, uso do solo, escassez de recursos fósseis e uso da água.

Ainda, de acordo com Goedkoop *et al.* (2016), ao nível *endpoint* a maioria das categorias de impacto intermediário, citadas anteriormente, são multiplicadas por fatores de danos e agregadas em três categorias de pontos finais, sendo elas: saúde humana, ecossistema e escassez de recursos.

Segundo Takeda, Tachard e Ometto (2010), a AICV tem grande importância dentro do processo de ACV, pois o método utilizado nesta fase é escolhido pelo executor da análise e não há um consenso sobre o método ideal para ser utilizado, uma vez que, dependendo do método escolhido, diferentes resultados podem ser

obtidos para o estudo já que apresentam abordagens, podendo ser de *midpoint*, *endpoint* ou uma combinação de ambas, categorias de impacto e formas de normalização e ponderação diferentes.

## 2.4 ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO CHÁ

De um modo geral atualmente existem poucos estudos de análise de ciclo de vida acerca de chás.

Em 2010, Doublet e Jungbluth, avaliaram o ciclo de vida de beber chá do tipo Darjeeling (uma espécie de chá preto fabricado na Índia e muito consumido na Grã-Bretanha) nas versões convencional e orgânica.

De acordo com Doublet e Jungbluth (2010) foram investigadas as contribuições do cultivo, processamento, transporte, embalagem, distribuição nos supermercados e transporte até a residência dos consumidores.

Os eco indicadores da preparação de uma xícara de chá (250 mL) para os cinco cenários descritos acima foram avaliados, principalmente, em relação ao método da escassez ecológica e de acordo com Doublet e Jungbluth (2010), foi possível verificar que no caso do chá orgânico o eco indicador mais importante consiste nas emissões causadas pela eletricidade e pelo calor usado durante o processamento, sendo esta contribuição semelhante para o chá convencional porque a fase de processamento é a mesma.

Para Doublet e Jungbluth (2010), no entanto, é possível concluir que a principal diferença entre o chá orgânico e o chá convencional é a participação das emissões no solo superior devido ao uso de pesticidas no cultivo convencional e o uso de compostagem no cultivo orgânico.

## 2.5 ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

Para Silva e Melo (2017) as ações humanas têm contribuído de forma adversa na qualidade do meio ambiente, fazendo com que além dos grandes acidentes ambientais, o crescimento populacional aliado ao aumento do consumo gere uma necessidade cada vez maior de explorar os recursos naturais, tornando a situação

ainda mais preocupante em virtude das formas de exploração e produção que são responsáveis por crescentes impactos ambientais, provocados por seus aspectos.

A ABNT NBR ISO14001, em sua versão 2015, define aspecto ambiental como elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização que interage ou possa interagir com o meio ambiente e causar impactos ambientais, que são modificações, tanto adversas quanto benéficas, total ou parcialmente resultantes dos aspectos ambientais de uma organização.

Por sua vez, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), em sua Resolução 01, de 1986, define impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais.

Uma vez que, de acordo com a ABNT NBR ISO14001, em sua versão 2015, os impactos ambientais podem ser classificados como benéficos (quando este representa uma mudança positiva no meio ambiente) e adversos (quando este representa uma mudança negativa no meio ambiente) é uma exigência desta norma que as empresas certificadas determinem os aspectos ambientais de suas atividades, produtos e serviços os quais ela possa controlar e aqueles que ela possa influenciar, e seus impactos ambientais associados, considerando uma perspectiva de ciclo de vida, a fim de que para estes sejam definidos mecanismos de controle ou planos de ação mitigadores.

Desta forma, segundo Henkels (2002), os aspectos ambientais podem ser diferenciados pelo seu controle: podem ser de controle direto, quando a organização exerce ou pode exercer controle efetivo e, controle indireto, quando a organização pode apenas exercer influência, notadamente junto às partes interessadas externas mas para isso, segundo Pereira *et al.* (2017), devem-se conhecer suas causas e ações.

Ainda, visando priorizar os maiores impactos ambientais que possam ser causados, um sistema de gestão ambiental (SGA) determina que a organização identifique aqueles aspectos que têm ou possam ter um impacto ambiental significativo, por meio do uso de um ou mais critérios estabelecidos pela

organização, uma vez que, a identificação dos aspectos e impactos ambientais é de fundamental importância para o conhecimento do seu desempenho ambiental (HENKELS, 2002).

### 3 METODOLOGIA

A metodologia de avaliação de ciclo de vida presente nesta dissertação segue as diretrizes da ferramenta de ACV segundo a norma ABNT NBR ISO14040 de 2009, aplicada ao processo de fabricação do chá mate a granel e por infusão, a base de erva-mate, em uma empresa da região sul do Brasil, que anualmente utiliza, aproximadamente, 450 toneladas de erva-mate na produção destes produtos.

#### 3.1. MAPEAMENTO DO CICLO DE VIDA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO

O mapeamento do ciclo de vida do processo de fabricação do chá mate a granel e por infusão é um dos processos mais importantes deste estudo e para delimitá-lo se fez necessária a consulta ao referencial bibliográfico disponível acerca da técnica de ACV e a realização de visitas técnicas à empresa foco do estudo para coleta de dados de consumo de matéria-prima, medição de quantidade de resíduos gerados, análise de procedimentos para compreensão de processos e entrevistas com os analistas de produção, fornecedores e parceiros.

O mapeamento do ciclo de vida dos produtos estudados veio de encontro às fronteiras de estudo delimitadas na proposta deste trabalho.

#### 3.2. INVENTÁRIO DAS PRINCIPAIS ENTRADAS E SAÍDAS NO CICLO DE VIDA DE FABRICAÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO

A etapa de avaliação do inventário do ciclo de vida (AICV) consistiu na coleta de dados de todas as entradas e saídas dos processos produtivos estudados bem como no estabelecimento de procedimentos de cálculo para correlacioná-los à unidade de massa funcional ao projeto de estudo.

A preparação prévia para a coleta de dados consistiu de revisão bibliográfica para orientar a melhor metodologia de obtenção de dados teóricos (quando não fosse possível realizar a medição) e também na construção de formulários para

coleta de dados, de acordo com o sugerido na ABNT NBR ISO14044, em seu anexo A e aqui representado no Apêndice I.

Para obter-se estudos de ACV confiáveis é imprescindível utilizar dados de boa qualidade e diante disso, os dados inventariados de entradas e saídas dos processos de produção avaliados foram obtidos, conforme citado anteriormente, durante visitas técnicas realizadas e a partir de amostra e medição direta das saídas dos processos estudados, consulta aos registros de consumos de matéria-prima, entrevistas com especialistas e cálculo direto de conversão de dados. A origem dos dados que compuseram as informações pertinentes aos sistemas de produto estudados podem ser melhor exemplificadas no QUADRO 01.

QUADRO 1 - CLASSIFICAÇÃO DA ORIGEM DOS DADOS CONSIDERADOS

		Chá Mate a Granel			Chá Mate por Infusão			
		Peneiramento	Envase	Embalagem	Peneiramento	Abastecimento	Envase	Plastificação
Entrada	Materiais	2 e 3	2 e 3	2	2 e 3	2 e 3	2	2
	Energia	4	1	1	4	4	1	1
Saída	Resíduos	1	1	1	1	1	1	1

Legenda:

1 – Medido

2 – Consulta aos registros de consumo de matéria-prima

3 – Entrevistas com especialistas

4 – Cálculo teórico do consumo de energia por meio da potência dos equipamentos (máquinas e iluminação) multiplicado pelo tempo de consumo

Fonte: O autor (2017)

Os dados referentes ao consumo de matérias-primas e energia e os resíduos gerados nos processos produtivos foram avaliados nos dias 20, 21 e 23 de junho e 2017 e 24 de agosto de 2017, nos dois turnos de produção.

Os dados obtidos foram inseridos no *software* SimaPro (versão 8) para cálculo da carga ambiental da produção do produto estudado. O SimaPro foi o *software* escolhido para desenvolvimento deste projeto em virtude de utilizar dados de *background* inventariados no banco de dados Ecoinvent (versão 3), um dos mais conhecidos mundialmente.

Os fluxos de entrada de matéria-prima foram classificados, no *software* SimaPro, como “entradas conhecidas da esfera tecnológica materiais” e o consumo de energia foi classificado como “entradas conhecidas da esfera tecnológica eletricidade”. Os fluxos de saída foram classificados em “saídas conhecidas para a esfera tecnológica produtos” para o caso do produto objeto deste estudo e os resíduos recicláveis gerados foram classificados em “saídas conhecidas para a esfera tecnológica co-produtos”, uma vez que estes entram como matéria-prima em outros processos externos à empresa. Já os resíduos não recicláveis, que são enviados à aterro e compostos em sua maioria por resíduos de varrição, fita adesiva e papel laminado, foram classificados como “fluxos finais de resíduos”.

Algumas medidas foram adotadas visando classificar os produtos inventariados como uma entrada no *software* SimaPro, uma vez que sua base de dados não possui todos os materiais que compõem os produtos estudados. Para o processo de fabricação do chá mate a granel as matérias-primas etiqueta não adesiva, papel filtro e tag sensorial foram inseridas no *software* como “papel”. Já para o processo de fabricação do chá mate por infusão as matérias-primas caixa master e caixa unitária foram somadas e inseridas no *software* como “papelão”. Ainda para inserção no *software* os resíduos de carvão foram somados aos resíduos não recicláveis já os resíduos de plástico polipropileno (PP) foram adicionados aos resíduos de plástico diversos, em virtude de sua destinação final ser a mesma.

Por apresentarem quantidades muito baixas de utilização e por não possuir entradas semelhantes aos consumos de fita adesiva e adesivo de poliacetato de vinila (PVA) no *software* utilizado, estas matérias-primas foram desconsideradas. Lopes (2012), em sua dissertação de mestrado intitulada como “Avaliação do Ciclo de Vida da Produção do Painel de Madeira MDP no Brasil” excluiu os sistemas que contribuíram com menos de 1% do consumo de recursos sem que isso apresentasse grandes consequências para os resultados finais.

### 3.3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) DO CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO, UTILIZANDO O SOFTWARE SIMAPRO

Sendo o presente estudo uma ACV do processo de fabricação do chá mate a granel e por infusão, definiu-se “fabricar chá mate” como a função do sistema.

Por sua vez, por tratar-se de um processo de produção a unidade funcional adotada para esta pesquisa foi definida como fabricar 1 kg de chá mate a granel e por infusão.

As relações entre o sistema de produto estudado e o meio ambiente se dão apenas no processo de transformação industrial necessárias para a produção do chá mate a granel e por infusão, porém o *software* SimaPro, utilizado para cálculo da carga ambiental do produto estudado, possui uma base de dados que relaciona cada insumo inventariado à carga ambiental da sua produção e distribuição fazendo com que a fronteira do sistema de produto abranja também as etapas anteriores do processo produtivo: a produção e distribuição dos materiais e energia consumidos no sistema de produto.

Dentro do *software* SimaPRO o método ReCiPe (2008) foi o escolhido para ser utilizado em virtude de sua normalização e aplicação ao contexto global, uma vez que ainda não existem métodos criados somente para a realidade brasileira.

Para a seleção das categorias de impacto a serem utilizadas foi levado em conta as principais questões ambientais envolvidas no processo de produção do chá mate a granel e por infusão e também no processo de obtenção de suas principais matérias-primas. Tais questões ambientais foram correlacionadas ao método de AICV obtendo-se as categorias de impacto pertinentes: alterações climáticas, depleção da camada de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, eutrofização marinha, toxicidade humana, formação de oxidantes fotoquímicos, emissão de material particulado, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade marinha, radiação ionizante, uso de solo agrícola, transformação de terras naturais, depleção da água e escassez de recursos fósseis, na categoria *midpoint* e impacto ao ecossistema e escassez de recursos para a categoria *endpoint*.

Apesar de não existirem efluentes líquidos e emissões atmosféricas no processo de produção do chá mate a granel e por infusão, os tipos de impacto

relacionados a estes aspectos foram considerados porque na obtenção da matéria-prima para a fabricação do produto estudado são importantes.

Em virtude do sistema de produto definido não apresentar multifuncionalidade o presente trabalho não contempla a definição de procedimentos de alocação.

#### 3.4. COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA PRODUÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL E CHÁ MATE POR INFUSÃO

A partir do mapeamento do ciclo de vida do processo de fabricação do chá mate a granel e por infusão e a partir do inventário das entradas e saídas de cada uma de suas etapas foi possível inserir os dados coletados no *software* SimaPro relacionando-os ao método ReCiPe (2008) para cálculo da carga ambiental das categorias de impacto selecionadas.

Com o auxílio das informações contidas no banco de dados disponível o *software* utilizado calculou os eco indicadores de cada processo, gerando gráficos e fluxogramas em rede das contribuições de cada sistema estudado, tornando possível a comparação do desempenho ambiental dos processos de produção levando em conta seus consumos de energia, recursos naturais e geração de resíduos sólidos.

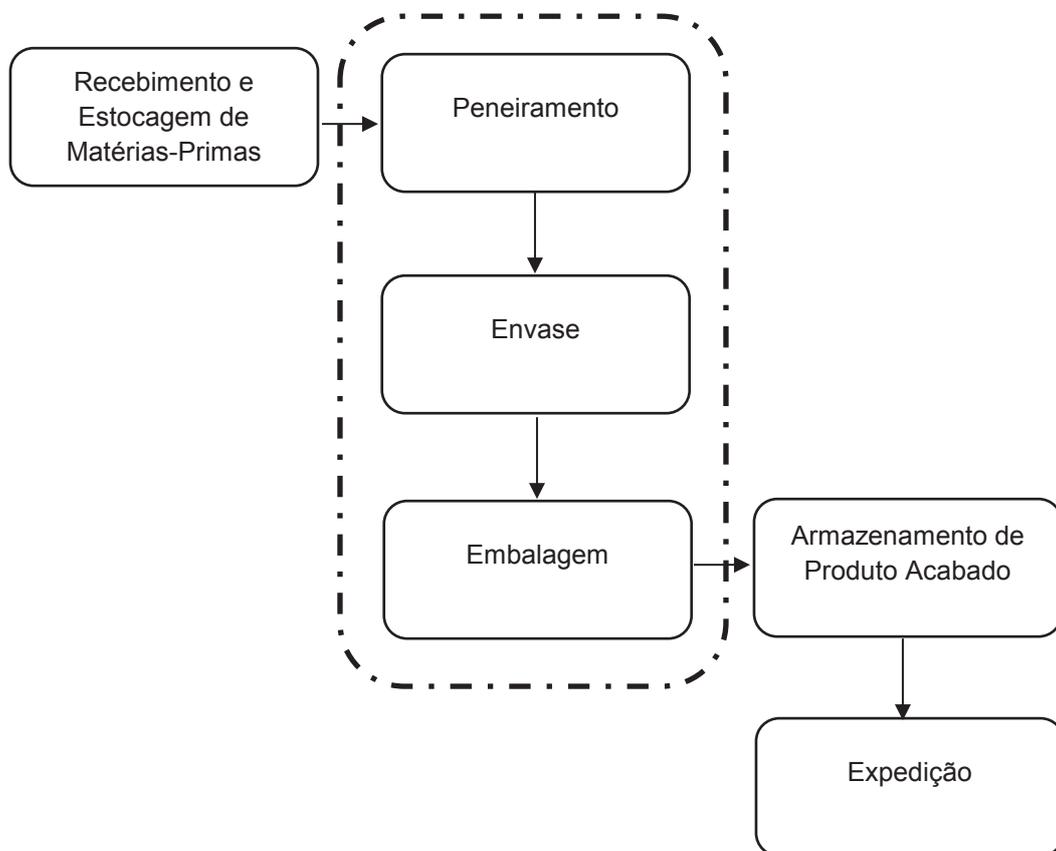
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. MAPEAMENTO DAS ETAPAS DO CICLO DE VIDA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO

Por meio de pesquisa bibliográfica acerca de análise de ciclo de vida de produtos e de visitas técnicas à empresa fabricante do produto estudado para coleta e medição de dados foi possível mapear as etapas envolvidas na ACV do processo de fabricação do chá mate a granel e por infusão, relacionando suas etapas com as fronteiras de estudo delimitadas na proposta deste trabalho.

As unidades de processo referente a fabricação do chá mate a granel, ilustradas na Figura 8, consistem em recebimento e estocagem de matérias-primas, peneiramento, envase, embalagem, armazenamento de produto acabado e expedição.

FIGURA 8 - SISTEMA DE PRODUTO DA FABRICAÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL

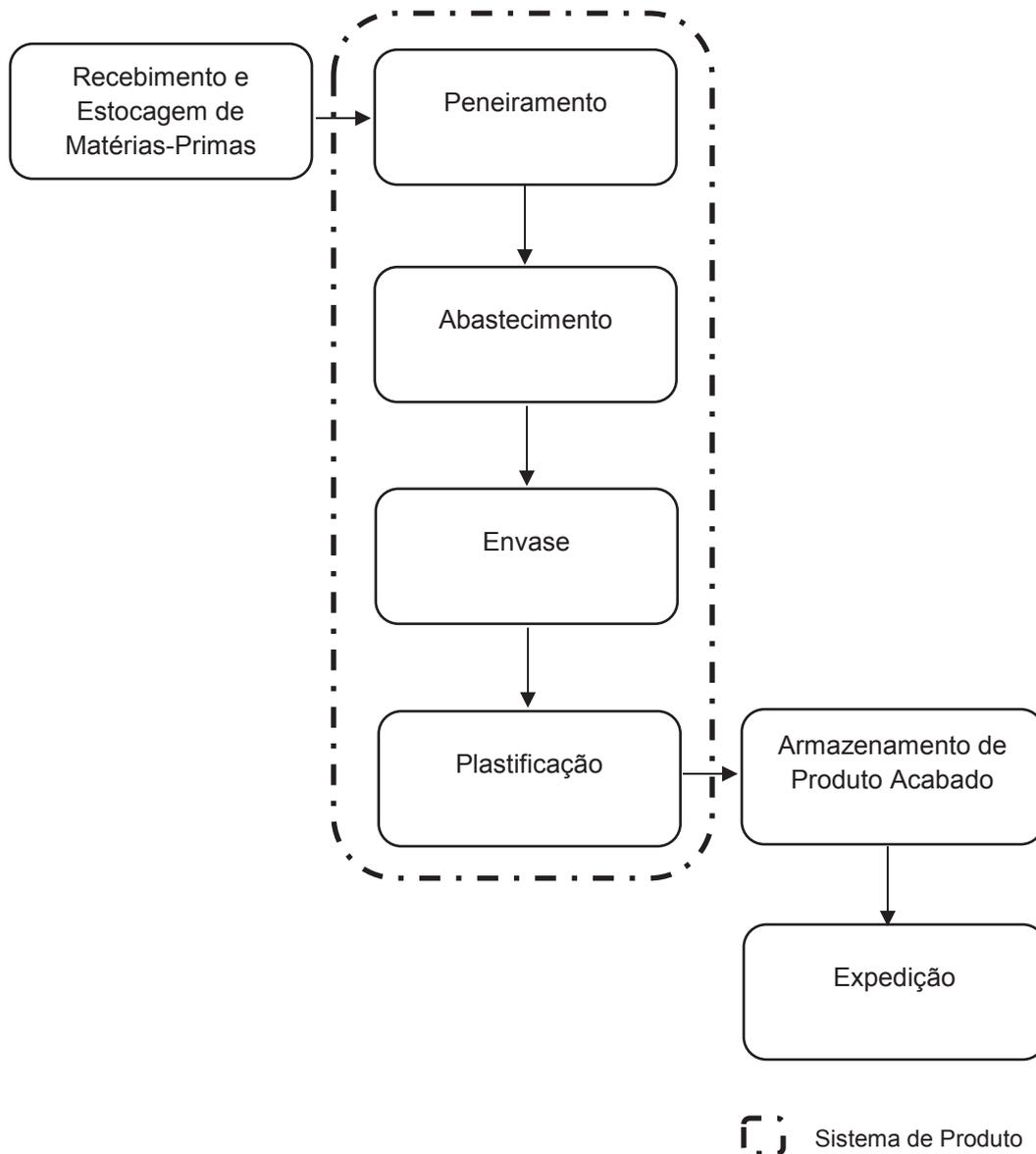


 Sistema de Produto

Fonte: O autor (2017)

Por sua vez, as unidades de processo referente a fabricação do chá mate por infusão são elencadas, na Figura 9, pelos processos de recebimento e estocagem de matérias-primas, peneiramento, abastecimento, envase, plastificação, armazenamento de produto acabado e expedição.

FIGURA 9 - SISTEMA DE PRODUTO DA FABRICAÇÃO DO CHÁ MATE POR INFUSÃO



Fonte: O autor (2017)

#### 4.2 INVENTÁRIO DAS PRINCIPAIS ENTRADAS E SAÍDAS NO CICLO DE VIDA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL E DO CHÁ MATE POR INFUSÃO

De acordo com Silva (2012) das quatro fases que constituem a ACV a construção do inventário do ciclo de vida é considerada a fase mais complexa, pois demanda maiores níveis de dedicação de tempo e de recursos capitais, humanos e financeiros.

Diante disso, por meio de visitas técnicas à empresa fabricante do produto estudado para coleta e medição de dados foi possível inventariar as entradas e saídas de cada etapa do processo produtivo delimitado na fronteira de estudo proposto neste trabalho (Figura 8 e 9), de acordo com o QUADRO 2.

QUADRO 2 - PRINCIPAIS ENTRADAS E SAÍDAS DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CHÁS A GRANEL E POR INFUSÃO

Produto	Entradas	Processos	Saídas
Chá mate a Granel	Energia elétrica Erva-mate	Peneiramento	Resíduos Sólidos Erva-mate peneirada
	Energia elétrica Erva-mate Embalagens de plástico	Envase	Resíduos Sólidos Erva-mate envasada
	Energia elétrica Embalagens de papelão Fita adesiva Tinta para codificação Solvente para codificação Cola	Embalagem	Resíduos Sólidos Chá mate a Granel
Chá mate por Infusão	Energia elétrica Erva-mate	Peneiramento	Resíduos Sólidos Erva-mate peneirada
	Energia elétrica Erva-mate	Abastecimento	Resíduos Sólidos
	Energia elétrica Erva-mate Embalagem de papelão Papel filtro Fio de algodão Etiqueta de papel Tinta para codificação Solvente para codificação Cola	Envase	Resíduos Sólidos Erva-mate envasada
	Energia elétrica Embalagem de plástico	Plastificação	Resíduos Sólidos Chá mate por Infusão

Fonte: O autor (2017)

A média das entradas e saídas inventariadas e associadas aos processos de produção estudados foram quantificadas e apresentadas em valores convertidos para a unidade funcional estabelecida no QUADRO 3 e QUADRO 4.

QUADRO 3 - INVENTÁRIO DOS FLUXOS DE ENTRADA E SAÍDA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL

FLUXOS DE ENTRADA E SAÍDAS	DADOS CONVERTIDOS PARA A UNIDADE FUNCIONAL (kg de matéria-prima ou KWh de energia consumido/ kg de Erva-mate processada)		UNIDADE DE MEDIDA	ORIGEM DOS DADOS
<b>SAÍDAS CONHECIDAS PARA A ESFERA TECNOLÓGICA PRODUTOS E CO-PRODUTOS</b>				
Erva-mate para chá mate por infusão	1		kg	Medido
Resíduos de plásticos diversos	$1,5 \cdot 10^{-2}$		kg/kg	Medido
Resíduos orgânicos de refugo de erva	$3,8 \cdot 10^{-2}$		kg/kg	Medido
Resíduos de papel e papelão diversos	$2,3 \cdot 10^{-2}$		kg/kg	Medido
<b>ENTRADAS CONHECIDAS DA ESFERA TECNOLÓGICA (MATERIAIS, COMBUSTÍVEIS E ELETRICIDADE)</b>				
Poliétileno, alta densidade, granulado	$8,9 \cdot 10^{-3}$		kg/kg	Medido
Policloreto de vinila, granulado	$9,1 \cdot 10^{-4}$		kg/kg	Medido
Papelão	$1,3 \cdot 10^{-1}$		kg/kg	Medido
Energia elétrica	$7,9 \cdot 10^{-2}$		kWh/kg	Medido e calculado
<b>SAÍDAS (FLUXOS FINAIS DE RESÍDUOS)</b>				
Resíduos não recicláveis	$8,8 \cdot 10^{-3}$		kg/kg	Medido

Processo de Produção Chá Mate a Granel

Fonte: O autor (2017)

QUADRO 4 - INVENTÁRIO DOS FLUXOS DE ENTRADA E SAÍDA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO CHÁ MATE POR INFUSÃO

FLUXOS DE ENTRADA E SAÍDAS	DADOS CONVERTIDOS PARA A UNIDADE FUNCIONAL (kg de matéria-prima ou KWh de energia consumido/ kg de Erva-mate processada)	UNIDADE DE MEDIDA	ORIGEM DOS DADOS
<b>SAÍDAS CONHECIDAS PARA A ESFERA TECNOLÓGICA PRODUTOS E CO-PRODUTOS</b>			
Erva-mate para chá mate por infusão	1	kg	Medido
Resíduos de plásticos diversos	$1,2 \cdot 10^{-3}$	kg/kg	Medido
Resíduos orgânicos de refugo de erva	$1,2 \cdot 10^{-2}$	kg/kg	Medido
Resíduos de papel e papelão diversos	$2,8 \cdot 10^{-2}$	kg/kg	Medido
<b>ENTRADAS CONHECIDAS DA ESFERA TECNOLÓGICA (MATERIAIS, COMBUSTÍVEIS E ELETRICIDADE)</b>			
Poliétileno, alta densidade, granulado	$1,0 \cdot 10^{-2}$	kg/kg	Medido
Polipropileno, granulado	$2,1 \cdot 10^{-2}$	kg/kg	Medido
Policloreto de vinila, granulado	$1,9 \cdot 10^{-3}$	kg/kg	Medido
Papelão	$3,3 \cdot 10^{-1}$	kg/kg	Medido
Fio de algodão	$1,5 \cdot 10^{-2}$	kg/kg	Medido
Tinta para codificação	$2,4 \cdot 10^{-5}$	kg/kg	Medido
Solvente para codificação (metil etil cetona)	$1,0 \cdot 10^{-4}$	kg/kg	Medido
Papel para impressão	$1,2 \cdot 10^{-1}$	kg/kg	Medido
Energia elétrica	$4,9 \cdot 10^{-1}$	kWh/kg	Medido e calculado
<b>SAÍDAS (FLUXOS FINAIS DE RESÍDUOS)</b>			
Resíduos não recicláveis	$1,8 \cdot 10^{-3}$	kg/kg	Medido

Fonte: O autor (2017)

### 4.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL E DO CHÁ MATE POR INFUSÃO, UTILIZANDO O SOFTWARE SIMAPRO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o ciclo de vida do processo de produção do chá mate a granel e por infusão, comparando seu desempenho ambiental e subsidiando um melhor entendimento da carga ambiental entre os dois tipos de processos e matérias-primas utilizadas na produção dos produtos abordados, auxiliando na tomada de decisão, por parte da indústria, de melhores práticas ambientais.

A seguir são apresentados os resultados referentes aos eco indicadores ambientais para os produtos avaliados nesta dissertação de mestrado, considerando as categorias de impacto ambiental selecionadas para o método ReCiPe (2008). Tais resultados foram obtidos com base na correlação dos dados de inventário com as categorias de impacto ambiental, conforme fatores de equivalência já existentes do método.

O QUADRO 5 refere-se a porcentagem de contribuição dos eco indicadores obtidos pelas matérias-primas utilizadas na produção do chá mate a granel e por infusão no que diz respeito ao impactos ambientais potenciais avaliados. Nela é possível observar que o consumo de papelão é o mais significativo, tanto para o chá mate a granel quanto por infusão, contribuindo com 80,1% e 39,6% respectivamente, das contribuições para o potencial impacto de mudanças climáticas causado pelos produtos.

Este resultado vem de encontro a grande quantidade de emissões atmosféricas existente em todo o ciclo de vida do papel e da celulose que, de acordo com Subak e Craighill (1999) é de 460 toneladas de emissões de CO<sub>2</sub> equivalente (um dos gases causadores do efeito estufa).

Para Igari *et al.* (2009) apesar de haver grandes oportunidades de melhoria no ciclo de vida do papel e da celulose grandes investimentos de mitigação o setor tem feito, visando resultados significativos de eficiência.

QUADRO 5 – PORCENTAGEM DE CONTRIBUIÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS PARA OS ECO INDICADORES DO CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO POR KG DE ERVA-MATE PRODUZIDO

(continua)

Categoria	Depleção							Formação de Oxidantes Fotoquímicos	Emissão de Material Particulado
	Mudanças Climáticas	da Camada de Ozônio	Acidificação Terrestre	Eutrofização de Água Doce	Eutrofização Marinha	Toxicidade Humana			
Consumo de Energia Elétrica	8,7	3,0	6,5	6,5	5,1	7,5	5,4	6,2	
Consumo de Papelão	80,1	27,4	86,6	92,7	92,9	90,8	83,7	88,6	
Consumo de Plástico Policloreto de Vinila (PCV)	2,2	69,3	1,9	0,4	0,4	1,2	1,7	1,8	
Consumo de Plástico Polietileno	8,9	0,2	4,9	0,3	1,5	0,3	9,0	3,2	
Consumo de Energia	10,5	6,3	8,0	8,2	4,2	10,3	5,4	7,6	
Consumo de Papel	38,4	18,7	36,1	38,2	33,8	34,7	52,1	39,9	
Consumo de Papelão	39,6	23,4	43,8	48,3	31,7	50,4	34,0	44,3	
Consumo de Plástico Policloreto de Vinila (PVC)	0,9	48,9	0,8	0,1	0,1	0,5	0,5	0,7	
Consumo de Plástico Polietileno	1,9	0,07	1,0	0,07	0,2	0,09	1,5	0,7	
Consumo de Plástico Polipropileno	4,0	0,1	2,1	0,3	0,5	0,1	2,9	1,4	
Consumo de Solvente (Metil etil cetona)	0,01	0,007	0,01	0,006	0,002	0,007	0,01	0,008	
Consumo de Tinta	0,009	0,005	0,005	0,004	0,01	0,004	0,004	0,006	
Fio de Algodão	4,5	2,4	7,9	4,5	29,3	3,7	3,3	5,2	

Chá Mate por Infusão

QUADRO 5 – PORCENTAGEM DE CONTRIBUIÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS PARA OS ECO INDICADORES DO CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO POR KG DE ERVA-MATE PRODUZIDO (conclusão)

Categoria	Radiação Ionizante	Ecotoxicidade Terrestre	Ecotoxicidade de Água Doce	Ecotoxicidade Marinha	Depleção da Água	Uso de Solo Agrícola	Transformação de Terras Naturais	Escassez de Recursos Fósseis
Consumo de Energia Elétrica	9,3	21,0	16,4	15,1	24,4	1,5	46,1	5,4
Consumo de Papelão	90,3	78,0	81,8	83,2	73,8	98,4	53,4	70,9
Consumo de Plástico Policloreto de Vinila (PCV)	0,08	0,6	1,0	1,0	0,5	0,02	0,04	1,9
Consumo de Plástico Polietileno	0,2	0,3	0,8	0,8	1,2	0,02	0,4	21,6
Consumo de Energia	13,1	2,8	18,2	18,0	20,9	2,8	46,3	7,1
Consumo de Papel	31,2	23,4	36,1	36,5	12,0	19,2	29,8	35,1
Consumo de Papelão	51,8	4,4	37,2	40,6	25,8	74,1	22,0	38,0
Consumo de Plástico Policloreto de Vinila (PVC)	0,02	0,03	0,3	0,4	0,1	0,0007	0,01	0,8
Consumo de Plástico Polietileno	0,06	0,008	0,3	0,1	N.D.	0,0005	0,07	5,02
Consumo de Plástico Polipropileno	0,1	0,01	0,3	0,3	N.D.	0,001	0,1	10,4
Consumo de Solvente (Metil etil cetona)	0,009	0,0001	0,007	0,007	N.D.	0,0001	0,007	0,04
Consumo de Tinta	0,006	0,01	0,005	0,004	N.D.	0,001	0,06	0,009
Fio de Algodão	3,6	69,2	7,6	3,9	40,5	3,8	1,6	3,3

\*N.D. = Não detectado

Fonte: O autor (2017)

No que diz respeito à depleção da camada de ozônio o consumo de plástico do tipo policloreto de vinila (PVC) apresentou maior contribuição para o chá mate a granel (69,3%) que para o chá mate por infusão (48,9%).

O consumo de papel e papelão como matéria-prima para os produtos estudados é o maior contribuinte para o potencial de impacto da acidificação terrestre em virtude do processo produtivo do papel e da celulose que emite gases acidificantes que, quando dispostos no meio ambiente, podem precipitar em forma de chuva ácida.

Levando em contas que, de acordo com Figuéiredo *et al.* (2007) a eutrofização das águas significa seu enriquecimento por nutrientes levando ao crescimento excessivo de plantas aquáticas com conseqüente desequilíbrio do ecossistema aquático e progressiva degeneração de corpos lânticos, o consumo de papel e papelão representou também um maior potencial de eutrofização de água doce e eutrofização de água marinha em virtude dos efluentes das indústrias de papel e celulose que são importantes fontes de contaminação das águas (BARROS e NOZAKI, 2002).

As emissões atmosféricas das indústrias de papel e celulose podem ser um dos fatores que contribuem para os 90,8% de potencial de toxicidade humana para a produção do chá mate a granel e 50,4% para a produção do chá mate por infusão, porque em seu processo produtivo muitos gases prejudiciais ao meio ambiente e, conseqüentemente à saúde humana, são gerados.

De acordo com Piotto (2003) somente no processo Kraft, que é um dos mais empregados na produção da celulose, são gerados NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, VOC, compostos de enxofre de forma reduzida, compostos de cloro e material particulado.

Isto explica também a alta contribuição do consumo de papel e papelão no potencial de formação de oxidantes fotoquímicos e no potencial de emissões de material particulado.

O potencial de radiação ionizante apresentou altos índices de contribuição para o consumo de papel e papelão, uma vez que, possuindo uma série de aplicações industriais os materiais radioativos são amplamente utilizados na indústria em scanners (para medição de nível, densidade, vazão mássica, sólidos,

etc) visando melhorar continuamente o produto final, garantindo sua qualidade (FUHR, 2012).

O consumo de fio de algodão apresenta maior contribuição para o potencial de ecotoxicidade terrestre uma vez que de acordo com Santos (1997) as emissões atmosféricas dos gases de combustão em uma indústria têxtil podem ser acompanhados de agentes causadores de grandes impactos ambientais como a chuva ácida.

No caso do potencial de depleção da água o fio de algodão tornou a apresentar-se mais expressivo uma vez que, de acordo com Santos (1997), a água é um dos elementos básicos para o processo de produção do setor têxtil principalmente nas etapas de beneficiamento da malha de algodão.

Os efluentes gerados pela indústria de papel e celulose podem ainda ser elencados aos altos índices de ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade de água doce e depleção da água porque, de acordo com Furley (2009), estes efluentes podem apresentar compostos sólidos dissolvidos, amônia, metais, oxidantes, compostos voláteis e sólidos suspensos – que são as principais causas de toxicidade nos efluentes.

O consumo de papel e papelão apresentou ainda o maior percentual de contribuição para o potencial de uso de solo agrícola e potencial de transformação de terras naturais para o processo de produção do chá mate a granel e por infusão. Este fato é característico da utilização do solo para o plantio da matéria-prima e a construção de áreas produtivas para a indústria de papel e celulose.

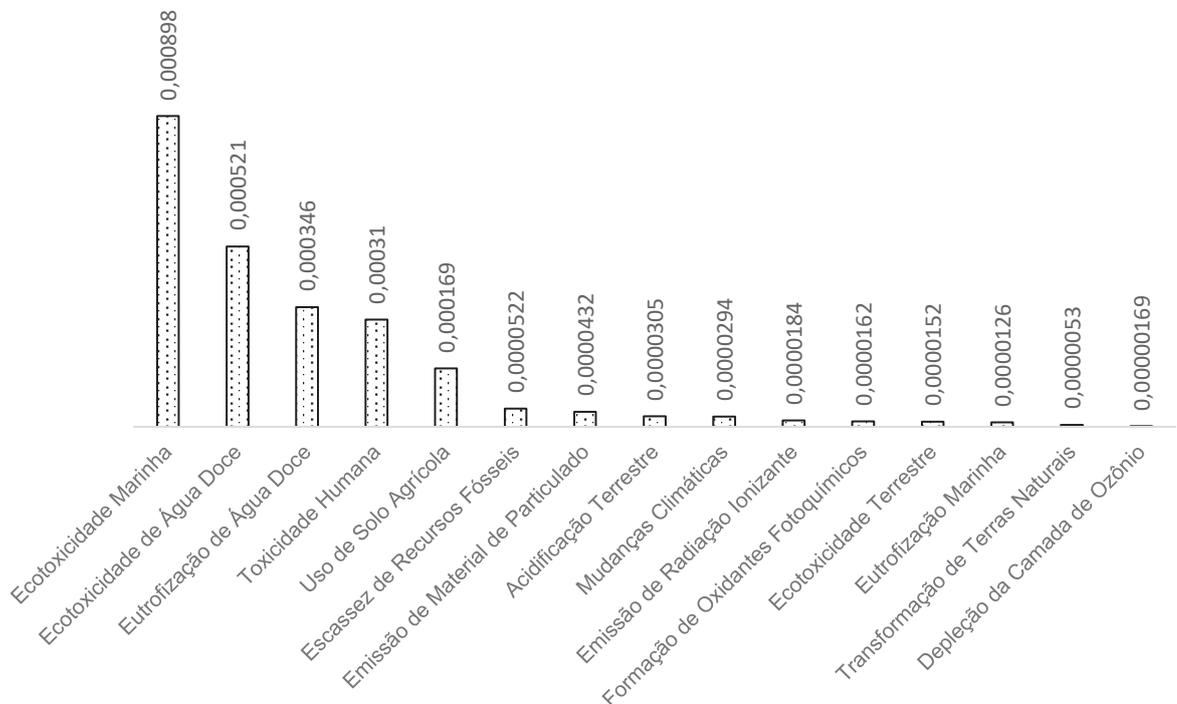
Por fim, o percentual de 70,9% no consumo de papelão para o chá mate a granel e 38% para o chá mate por infusão apresentou o maior potencial de contribuição para a escassez de recursos fósseis, uma vez que de acordo com Piotto (2003) combustíveis fósseis são amplamente utilizados na indústria de papel e celulose.

#### 4.4 COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO POR MEIO DOS PRINCÍPIOS DA TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

De acordo com Mendes (2013) uma das aplicações pretendidas com a avaliação de ciclo de vida por meio de *softwares* e métodos de avaliação é o cálculo de uma única pontuação (eco indicadores) que possa ser utilizada, dentre outros fins, para avaliar o impacto geral de um processo utilizando a técnica de ACV.

Na Figura 10 e Figura 11 é possível analisar o resultado dos eco indicadores obtidos na avaliação de ciclo de vida do processo de produção do chá mate a granel e por infusão. Nos dois casos os eco indicadores mais expressivos são ecotoxicidade marinha, seguido pela ecotoxicidade e eutrofização de água doce e toxicidade humana.

FIGURA 10 - ECO INDICADORES DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL



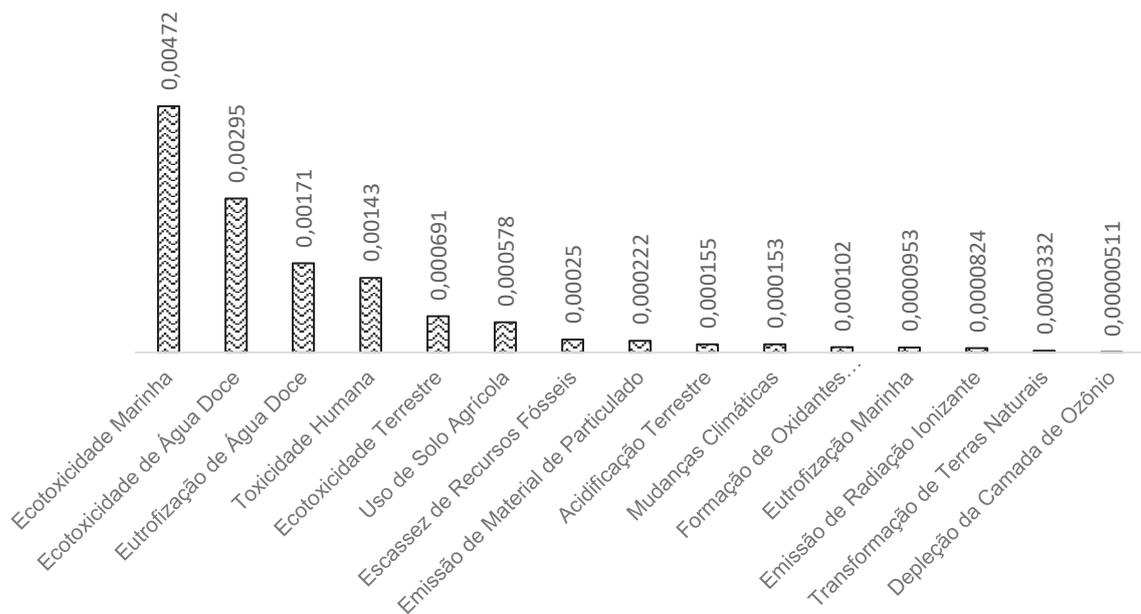
Fonte: O autor (2017)

Para o processo de produção do chá mate a granel e por infusão os eco indicadores ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade de água doce, eutrofização de

água doce e toxicidade humana foram mais expressivos e tem sua maior contribuição por meio do consumo de papel e papelão como matéria-prima, em virtude de seu processo de beneficiamento que pode emitir gases e efluentes perigosos que se não gerenciados corretamente podem tornar-se altamente tóxicos para o meio ambiente e à saúde humana.

Na sequência o quinto mais importante eco indicador para a avaliação de ciclo de vida do processo de produção de chá mate a granel é o uso de solo agrícola cuja justificativa para este resultado permeia pela larga utilização do solo para o plantio da matéria-prima e a construção de áreas produtivas para o papel e a celulose.

FIGURA 11 - ECO INDICADORES DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO CHÁ MATE POR INFUSÃO



Fonte: O autor (2017)

No caso do processo de produção do chá mate por infusão o quinto eco indicador mais importante é a ecotoxicidade terrestre seguido pelo uso de solo agrícola. No processo industrial têxtil da fibra de algodão além dos gases de combustão são emitidos para o meio ambiente fuligem, dióxidos de carbono e dióxidos de enxofre (SANTOS, 1997) que, quando precipitados podem ser agentes da chuva ácida ocasionando no primeiro caso a ecotoxicidade terrestre. No segundo caso, por sua vez, a utilização de solo agrícola também se dá pela larga

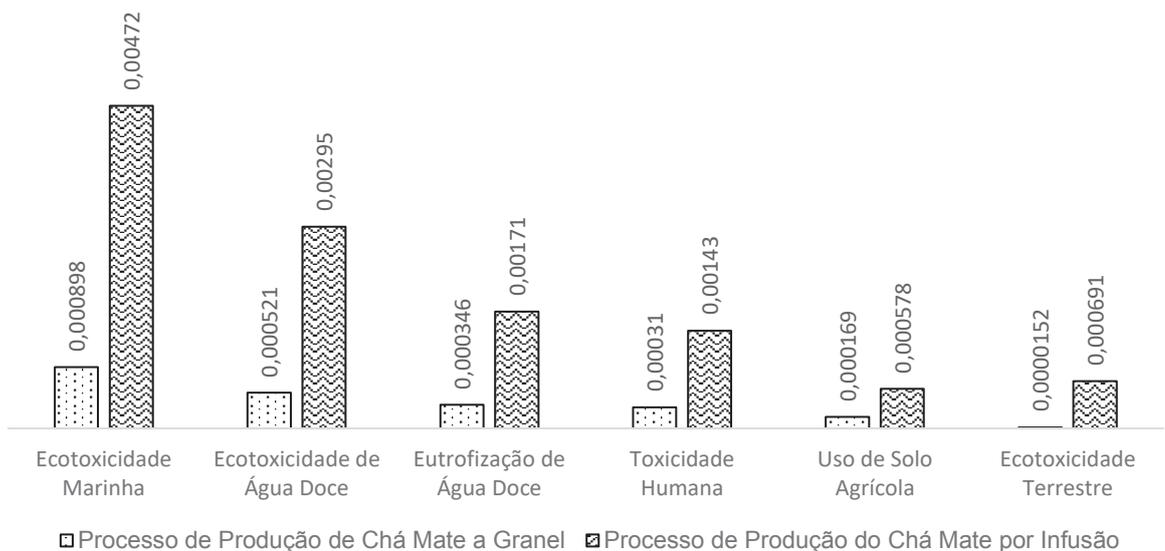
utilização do solo para o plantio da matéria-prima e a construção de áreas produtivas para o beneficiamento da fibra têxtil.

Os eco indicadores escassez de recursos fósseis, emissão de particulado, acidificação terrestre, mudanças climáticas, emissão de radiação ionizante, formação de oxidantes fotoquímicos, ecotoxicidade terrestre, eutrofização marinha, transformação de terras naturais e depleção da camada de ozônio são elencados em sequência dos demais indicadores com representação menos expressiva.

Para ambos os processos produtivos não foram avaliados, na forma de eco indicador, a categoria de impacto depleção da água porque para esta não há parâmetro de normalização existente no *software*, conforme Figura 10 e Figura 11.

Na Figura 12 são comparados os seis eco indicadores mais expressivos para o processo de produção do chá mate a granel e por infusão e nele é possível observar que a fabricação do produto por infusão é a mais expressiva em relação a eco indicadores para todas as categorias de impacto analisadas, em virtude da maior utilização de tipologias de matérias-primas que envolvem o produto beneficiado.

FIGURA 12 - COMPARAÇÃO DOS ECO INDICADORES DA ACV DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO CHÁ MATE A GRANEL E POR INFUSÃO



Fonte: O autor (2017)

#### 4.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Apesar das considerações e dos detalhes apresentados neste estudo algumas limitações foram verificadas e deverão ser comentadas e levadas em conta porque podem ser representativas no caso de reprodução desta pesquisa e/ou na comparação dos resultados deste estudo com outros.

A primeira limitação do estudo partiu da exclusão do consumo de tinta e solvente de codificação para o processo de produção do chá mate a granel, porque a indústria e seus fornecedores não possuem o controle do consumo real destes materiais para a produção de seus produtos.

Outra limitação advém da necessidade de cálculo teórico do consumo de energia para algumas áreas, em virtude de não possuir medição setorizada. Esta limitação pode superestimar o consumo, uma vez que nem sempre todos os equipamentos funcionam de forma contínua e conjunta.

Em virtude desta pesquisa não ter a intenção de divulgação de seus resultados ao público externo, uma análise crítica não foi necessária e a ausência deste procedimento também pode ser considerada uma limitação.

Também foi verificada limitação no uso de métodos de AICV disponíveis, uma vez que ainda não foram criados métodos voltados para a realidade brasileira. Contudo, esta buscou ser contornada utilizando o método ReCiPe (2008), disponível no *software* SimaPro, com abrangência e normalização global de caracterização de avaliação de impactos potenciais.

Por fim, por não tratar-se puramente de uma ACV o presente estudo trará seus resultados dispostos na forma de uma dissertação de mestrado e ainda que consista em uma avaliação comparativa do desempenho ambiental da produção industrial do chá mate a granel e por infusão, utilizando os princípios da técnica de ACV, a análise crítica não foi realizada por tratar-se de um estudo preliminar sem o intuito de divulgação ao público externo.

## 5 CONCLUSÃO

Apesar da crescente utilização das técnicas relacionadas a ACV para estudos de impactos ambientais voltados à produtos verifica-se uma lacuna de métodos e modelos de avaliação adaptados às realidades regionais brasileiras, fazendo com que os métodos existentes tragam resultados mais generalistas e voltados ao contexto global.

Contudo, os resultados obtidos no presente estudo levaram a conclusão de que o processo de produção do chá mate por infusão representa maior contribuição negativa para o meio ambiente, quando comparado com o processo de produção do chá mate a granel, em virtude de uma maior utilização de matérias-primas e consumo de energia.

Os eco indicadores do chá mate por infusão são cinco vezes maior para as categorias ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade de água doce, toxicidade humana e uso de solo agrícola, podendo chegar a quarenta e cinco vezes mais para a ecotoxicidade terrestre em virtude do consumo de fio de algodão.

Por este resultado sugere-se o desenvolvimento de produtos com matérias-primas mais sustentáveis do ponto de vista ambiental, com o intuito de otimizar os processos existentes, diminuindo a pegada ambiental da gama de produtos fabricados e promovendo o conceito de desenvolvimento sustentável.

Por tratar-se de uma comparação do desempenho ambiental da produção industrial de diferentes tipos de chás para comercialização utilizando princípios da ACV, evidenciou-se a necessidade de um mapeamento e um inventário de quantificação e qualificação envolvendo uma maior quantidade de processos a fim de caracterizar o presente estudo como uma ACV *gate to gate*.

Os resultados obtidos refletem a realidade da indústria e dos processos de produção estudados para as variáveis e considerações pré-estabelecidas, levando em conta as limitações encontradas e podendo alterar-se no caso de mudanças de cenários e do espaço temporal analisado.

Por fim, como sugestões de trabalhos futuros é possível citar a avaliação de ciclo de vida da cadeia de erva-mate visando uma avaliação do tipo “berço ao túmulo” para os produtos chá mate a granel e por infusão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABITANTE, A. L. **Modelagem dinâmica e análise de um sistema de controle de umidade de folhas de erva-mate em secadores contínuos de esteira.** 78 p. Dissertação (Mestrado em Processos Térmicos e Químicos) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14001:** Sistemas de Gestão Ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14040:** Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14044:** Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro. 2009.

BARROS, M. J.; NOZAKI, J. **Redução de poluentes de efluentes das indústrias de papel e celulose pela floculação/coagulação e degradação fotoquímica.** Revista Química Nova, v. 25, n. 5, p. 736-740, 2002.

BERTÉ, K. A. S. **Tecnologia da erva-mate solúvel.** Curitiba, 160 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2011.

BOGUSZEWSKI, J. H. **Uma história cultural da erva-mate: o alimento e suas representações.** 130 p. Dissertação (Mestrado em História) – Setor de Ciências Humanas, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2007.

BRASIL. Resolução nº 1 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, de 23 de janeiro de 1986. **Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.**

COELHO FILHO, O.; SACCARO JUNIOR, N. L.; LUEDEMANN, G. **O uso da análise de ciclo de vida (ACV) nas políticas públicas: condicionantes e estratégias de implementação da ACV no Brasil.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Boletim Regional, Urbano e Industrial. Brasília, v. 12, p. 29-35, jul./dez. 2015.

COLPO, A. Z. C. **Perfil fitoquímico e capacidade antioxidante de extratos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hill.).** 102 p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade Federal do Pampa, Uruguai, Rio Grande do Sul, 2012.

DOUBLET, G., JUNGBLUTH, N. **Life cycle assessment of drinking Darjeeling tea: conventional and organic Darjeeling tea.** Uster, 2010. Relatório técnico.

EVANGELISTA, P.; SOUZA, H. H.; TORRES, E.; GONÇALVES, J. **Desempenho Ambiental de Edificações: Avaliação do Ciclo de Vida em Empreendimento Residencial**. Trabalho apresentado no 15 Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Maceió, 2014.

ESMELINDRO, M.C.; TONIAZZO, G.; WACZUK, A.; DARIVA, C.; OLIVEIRA, D. **Caracterização físico-química da erva-mate: influência das etapas do processamento industrial**. Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas. Maio a agosto de 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v22n2/a16v22n2.pdf>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2017.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; TEIXEIRA, A. S.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; PAULINO, W. D.; MOTA, S.; ARAÚJO, J. C. **Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização**. Revista de Engenharia Ambiental e Sanitária, v. 12, n. 4, p. 399-409, out. /dez. 2007.

FREITAS, R. A.; MARQUES, S. S. S.; SOUZA, T. N.; SILVEIRA, C. C. N.; SILVA, A. L. N.; BORGES, J. F. C.; SOUZA, J. H. K. **O consumo do chimarrão e o câncer de esôfago**. Brazilian Journal of Surgery and Clinical Research, v. 14, n.3, p. 118-123, mar. /mai. 2016.

FRIETTO, A. L. **Avaliação de contaminantes metálicos e impactos ambientais no cultivo e processamento da erva-mate**. 94 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, 2008.

FUHR, J. C. **Avaliação de um plano de proteção radiológica de uma indústria química**. Porto Alegre, 92 p. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2012.

GERHARDT, M. **História ambiental da erva-mate**. Florianópolis, 290 p. Tese (Doutorado em História Cultural). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013.

GOEDKOOP, M., OELE, M., LEIJTING, J., PONSIOEN, T., MEIJER, E. **Introduction to LCA with SimaPRO**. San Francisco, Califórnia. 2016.

HENKELS, C. **A Identificação de Aspectos e Impactos Ambientais: Proposta de um Método de Aplicação**. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2002.

IGARI, A., PELA, S., MANTOVANI, M., FERREIRA, Z. **Mudanças climáticas e o setor de papel e celulose no Brasil**. Trabalho apresentado no Seminário Mitigação de Gases de Efeito Estufa: A Experiência Setorial e Regional no Brasil. São Paulo, 2009.

FURLEY, T. H. **Identificação da causa da toxicidade de efluentes de fábricas de celulose e papel da América Latina.** Revista O Papel, v. 70, n. 3, p. 34-42, mar. 2009.

LEMPEROS, X. C., POTTING, J. **Comparison of Klimatkalkyl, LICCER & SimaPro: Three models to quantify life cycle energy and carbon dioxide in early road infrastructure planning.** Royal Institute of Technology. Estocolmo, mai., 2015.

LOPES, D. A. **Avaliação do Ciclo de Vida da Produção do Pannel de Madeira MDP no Brasil.** 207 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MACCARI JUNIOR, A. **Análise do pré-processamento da erva-mate para chimarrão.** Campinas, 215 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2005.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Manual da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill).** Curitiba: Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural, 1989.

McManus, M. C., TAYLOR, C. M. **The changing nature of life cycle assessment.** Revista Biomass and Energy, v. 82, p. 13-26, nov. 2015.

MELO, S. S.; NUNES, N. S. I.; BAUMGARTEN, C.; TRESSOLDI, C.; FACCIN, G.; ZANUZO, K.; MICHELS, M. K.; CUNHA, N.; SPECHT, S.; SILVA, M. W. **Efeito da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil) sobre o perfil metabólico em ratos alimentados com dietas hiperlipídicas.** Revista Alimentos e Nutrição, Araraquara, v. 18, n. 4, p. 439-447, out. /dez. 2007.

MENDES, N. C. **Métodos e modelos de caracterização para a avaliação de impacto do ciclo de vida: análise e subsídios para a aplicação no Brasil.** 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MENDES, N. C., BUENO C., OMETTO, A. R. **Avaliação de impacto do ciclo de vida: revisão dos principais métodos.** Revista da Associação Brasileira de Engenharia de Produção, v. 26, n. 1, p. 160-175, jan. /mar. 2016.

OMETTO, A. R. **Avaliação do Ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia.** São Carlos, 209 p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PAVAN, A. L. R. **Análise de modelos de caracterização de impactos do uso da terra para a avaliação de impacto do ciclo de vida e recomendações para subsidiar a aplicação no Brasil.** 137 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

PEREIRA, G. R.; REBELO, S.; WAHRLICH, J.; SILVA, F. A.; SIMIONI, F. J. **Avaliação dos aspectos e impactos ambientais de uma unidade de reciclagem**

**de resíduos da construção civil.** Trabalho apresentado no VIII Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, Curitiba, Paraná, Brasil. 2017.

PIOTTO, Z. C. **Eco-eficiência na indústria de celulose e papel – estudo de caso.** 379 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

LEMPEROS, X. C.; POTTING, J. **Comparison of Klimatkalkyl, Liccer e SimaPro: Three models to quantify life cycle energy and carbon dioxide in early road infrastructure planning.** Royal Institute of Technology. Estocolmo, 2015.

PRADO, M. R. **Análise do inventário do ciclo de vida de embalagens de vidro, alumínio e PET utilizadas em uma indústria de refrigerantes no Brasil.** Curitiba, 172 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2007.

REIS, E. A. **Fluxo e tecnologias de informação no contexto brasileiro de inventário de ciclo de vida.** Marília, 107 p. Tese (Doutorado em Ciência da Informação) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2015.

RIBEIRO, P. H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados.** 375 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ROCHA, D. S. **Estudo do metabolismo de ratos diabéticos submetidos ao tratamento com erva-mate (*Ilex paraguariensis*).** 87 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas) – Setor de Fisiologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ROCHA JUNIOR, W. F. **Análise do agronegócio da erva-mate com o enfoque da nova economia institucional e o uso da matriz estrutural prospectiva.** Florianópolis, 133 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2001.

RODRIGUES, C. R. B., ZOLDAN, M. A., LEITE, M. L. G., OLIVEIRA, I. L. **Sistemas computacionais de apoio a ferramenta análise de ciclo de vida do produto (ACV).** Trabalho apresentado no 28º Encontro nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

SAMPAIO, M. S., LIMA, F. M. R. S., CANCHUMANI, G. A. L. **Inventário do ciclo de vida da produção de óxidos de terras raras a partir de um minério brasileiro.** Trabalho apresentado no 24º Encontro Jornada de Iniciação Científica – CETEM, Rio de Janeiro, 2016.

SANTIN, D.; WENDLING, I.; BENEDETTI, E. L.; MORANDI, D.; DOMINGOS, D. M. **Sobrevivência, crescimento e produtividade de plantas de erva-mate produzidas por miniestacas juvenis e por sementes.** Revista de Ciência Florestal, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 571-579, jul. /set. 2015.

SANTOS, S. **Impacto ambiental causado pela indústria têxtil**. Associação Brasileira de Engenharia de Produção. Florianópolis, Santa Catarina. 1997.

SERAFIM, R. A. **Efeito da aplicação de extrato da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) assistido por ultrassom na estabilidade oxidativa de linguiça suína**. 57 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Alimentos) – Setor de Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

SILVA, A. H.; MORAES, C. A. M.; MODOLO, R. C. E. **Avaliação ambiental do setor calçadista e a aplicação da análise de ciclo de vida: uma abordagem geral**. Trabalho apresentado no VI Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. São José dos Campos, São Paulo, Brasil. 2015.

SILVA, A. P. L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. 207 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SILVA, L. C.; MELO, D. C. P. **O processo de avaliação de aspectos e impactos ambientais em um sistema de gestão ambiental com referência na ISO14001**. Revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible, v. 10, n. 28, p. 2-23, fev. 2017.

SILVA, V.; SILVA, M. **Análise do ciclo de vida aplicada ao setor de construção civil: revisão da abordagem e estado atual**. Trabalho apresentado no VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Salvador, Bahia, Brasil. 2000.

SUBAK, S., CRAIGHILL, A. **The contribution of the paper cycle to global warming**. International Journal Devoted to Scientific, Engineering, Socio-Economic and Policy Responses to Environmental Change. v. 4, n. 2, p. 113-136, jun. 1999.

TAKEDA, A., TACHARD, A. L., OMETTO, A. R. **Levantamento de métodos de avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV) mais recorrentes em estudos**. 2º Congresso Brasileiro em Gestão de Ciclo de Vida em Produtos e Serviços. Florianópolis, Santa Catarina, 2010.

VALT, R. B. G. **Análise do ciclo de vida de embalagens de PET, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais**. 193 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

WILLERS, C. D., RODRIGUES, L. B., SILVA, C. A. **Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais**. Revista da Associação Brasileira de Engenharia de Produção, v. 23, n. 2, p. 436-447, abr./jun. 2013.

WERNET, G., BAUER, C., STEUBING, B., REINHARD, J., MORENO-RUIZ, E., WEIDEMA, B. **The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology**. The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 21, n. 9, p. 1218-1230, set. 2016.

## APÊNDICE 1 – FICHAS DE COLETA DE DADOS PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CHÁ MATE A GRANEL

FICHA DE COLETA DE DADOS			
PROCESSO PRODUTIVO:		Fabricação de Chá Mate a Granel	
ETAPA DO PROCESSO PRODUTIVO:		Peneiramento	
DATA: 20/06/2017			
BALANÇO DE MASSA			
ENTRADAS (Recursos naturais e matérias-primas)		Saídas (Resíduos sólidos)	
QUANTIDADE DE ERVA-MATE PROCESSADA: 350 Kg			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Erva-Mate Talinho	350 Kg	Resíduos de Carvão	1,15 Kg
Erva-Mate Chilena	3500 Kg	Resíduos de Refugo de Erva	7,15 Kg
		Resíduos de Ráfia	2 Kg
Consumo de Energia: 15,108 KWh			
Comentários: A quantidade de energia consumida e de resíduos gerados refere-se a 350 kg de erva-mate do tipo talinho processada.			

FICHA DE COLETA DE DADOS			
PROCESSO PRODUTIVO:		Fabricação de Chá Mate a Granel	
ETAPA DO PROCESSO PRODUTIVO:		Peneiramento	
DATA: 21/06/2017			
BALANÇO DE MASSA			
ENTRADAS (Recursos naturais e matérias-primas)		Saídas (Resíduos sólidos)	
QUANTIDADE DE ERVA-MATE PROCESSADA: 350 Kg			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Erva-Mate Talinho	350 Kg	Resíduos de Carvão	4,2 Kg
Erva-Mate Chilena	3500 Kg	Resíduos de Refugo de Erva	9,28 Kg
		Resíduos de Ráfia	2 Kg
Consumo de Energia: 15,108 KWh			
Comentários: A quantidade de energia consumida e de resíduos gerados refere-se a 350 kg de erva-mate do tipo talinho processada.			

FICHA DE COLETA DE DADOS			
PROCESSO PRODUTIVO:		Fabricação de Chá Mate a Granel	
ETAPA DO PROCESSO PRODUTIVO:		Envase	
DATA: 20/06/2017			
BALANÇO DE MASSA			
ENTRADAS (Recursos naturais e matérias-primas)		Saídas (Resíduos sólidos)	
QUANTIDADE DE ERVA-MATE PROCESSADA: 23526 Kg			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Filme PEAD	246,45 Kg	Refugo de Erva	6,025 Kg
		Plástico	1,05 Kg
Consumo de Energia: 0,09 KWh			
Comentários:			
A quantidade de energia consumida refere-se a 23526 kg de erva-mate processada, já os resíduos sólidos referem-se a quantidade gerada na produção de 350 Kg de erva-mate granel.			

FICHA DE COLETA DE DADOS			
PROCESSO PRODUTIVO:		Fabricação de Chá Mate a Granel	
ETAPA DO PROCESSO PRODUTIVO:		Envase	
DATA: 21/06/2017			
BALANÇO DE MASSA			
ENTRADAS (Recursos naturais e matérias-primas)		Saídas (Resíduos sólidos)	
QUANTIDADE DE ERVA-MATE PROCESSADA: 22470 Kg			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Filme PEAD	179,75 Kg	Refugo de Erva	5 Kg
		Plástico	4,9 Kg
Consumo de Energia: 0,12 KWh			
Comentários:			
A quantidade de energia consumida refere-se a 22470 kg de erva-mate processada, já os resíduos sólidos referem-se a quantidade gerada na produção de 350 Kg de erva-mate granel.			

<b>FICHA DE COLETA DE DADOS</b>			
PROCESSO PRODUTIVO:		Fabricação de Chá Mate a Granel	
ETAPA DO PROCESSO PRODUTIVO:		Embalagem	
DATA: 20/06/2017			
<b>BALANÇO DE MASSA</b>			
ENTRADAS (Recursos naturais e matérias-primas)		Saídas (Resíduos sólidos)	
QUANTIDADE DE ERVA-MATE PROCESSADA: 23526 Kg			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Caixa Master	972 Kg	Resíduos de Papel e Papelão	7,72 Kg
Caixa Unitária	1781,05 Kg	Resíduos de Plástico	0,8 Kg
Cola Hot Melt	35 Kg	Resíduos Não Recicláveis	0,45 Kg
Filme Strech	22,5 Kg		
Fita Adesiva	8,34 Kg		
Tinta de Codificação			
Solvente de Codificação			
Consumo de Energia: 705,18 KWh			
Comentários: A quantidade de energia consumida refere-se a 23526 kg de erva-mate processada, já os resíduos sólidos referem-se a quantidade gerada na produção de 350 Kg de erva-mate granel.			

<b>FICHA DE COLETA DE DADOS</b>			
PROCESSO PRODUTIVO:		Fabricação de Chá Mate a Granel	
ETAPA DO PROCESSO PRODUTIVO:		Embalagem	
DATA: 21/06/2017			
<b>BALANÇO DE MASSA</b>			
ENTRADAS (Recursos naturais e matérias-primas)		Saídas (Resíduos sólidos)	
QUANTIDADE DE ERVA-MATE PROCESSADA: 22470 Kg			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Caixa Master	1080 Kg	Resíduos de Papel e Papelão	8,52 Kg
Caixa Unitária	2159,49 Kg	Resíduos de Plástico	0,4 Kg
Cola Hot Melt	30 Kg	Resíduos Não Recicláveis	0,4 Kg
Filme Strech	19,8 Kg		
Fita Adesiva	5,52 Kg		
Tinta de Codificação			
Solvente de Codificação			
Consumo de Energia: 967,4 KWh			
Comentários:			
A quantidade de energia consumida refere-se a 22470 kg de erva-mate processada, já os resíduos sólidos referem-se a quantidade gerada na produção de 350 Kg de erva-mate granel.			

**APÊNDICE 2 – FICHAS DE COLETA DE DADOS PROCESSO DE FABRICAÇÃO  
DE CHÁ MATE POR INFUSÃO**

<b>FICHA DE COLETA DE DADOS</b>			
PROCESSO PRODUTIVO:		Fabricação de Chá Mate por Infusão	
ETAPA DO PROCESSO PRODUTIVO:		Peneiramento	
DATA: 24/08/2017			
<b>BALANÇO DE MASSA</b>			
ENTRADAS (Recursos naturais e matérias-primas)		Saídas (Resíduos sólidos)	
QUANTIDADE DE ERVA-MATE PROCESSADA: 410 Kg			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Erva-mate Natural	410 Kg	Resíduo de Refugo de Erva	1 Kg
		Resíduos Não Recicláveis	0,06 Kg
Consumo de Energia: 2,225 KWh			
Comentários: A quantidade de energia consumida e de resíduos gerados refere-se a 410 kg de erva-mate processada.			

<b>FICHA DE COLETA DE DADOS</b>			
PROCESSO PRODUTIVO:		Fabricação de Chá Mate por Infusão	
ETAPA DO PROCESSO PRODUTIVO:		Abastecimento	
DATA: 20/06/2017			
<b>BALANÇO DE MASSA</b>			
ENTRADAS (Recursos naturais e matérias-primas)		Saídas (Resíduos sólidos)	
QUANTIDADE DE ERVA-MATE PROCESSADA: 700 Kg			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Erva-Mate Peneirada Natural	700 Kg	Resíduos de Ráfia	4 Kg
Consumo de Energia: 251,805 KWh			
Comentários: A quantidade de energia consumida e os resíduos sólidos referem-se a quantidade consumida/gerada na produção de 700 Kg de erva-mate natural.			

<b>FICHA DE COLETA DE DADOS</b>			
PROCESSO PRODUTIVO:		Fabricação de Chá Mate por Infusão	
ETAPA DO PROCESSO PRODUTIVO:		Abastecimento	
DATA: 21/06/2017			
<b>BALANÇO DE MASSA</b>			
ENTRADAS (Recursos naturais e matérias-primas)		Saídas (Resíduos sólidos)	
QUANTIDADE DE ERVA-MATE PROCESSADA: 700 Kg			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Erva-Mate Peneirada Natural	700 Kg	Resíduos de Ráfia	4 Kg
Consumo de Energia: 251,805 KWh			
Comentários: A quantidade de energia consumida e os resíduos sólidos referem-se a quantidade consumida/gerada na produção de 700 Kg de erva-mate natural.			

<b>FICHA DE COLETA DE DADOS</b>			
PROCESSO PRODUTIVO:		Fabricação de Chá Mate por Infusão	
ETAPA DO PROCESSO PRODUTIVO:		Abastecimento	
DATA: 23/06/2017			
<b>BALANÇO DE MASSA</b>			
ENTRADAS (Recursos naturais e matérias-primas)		Saídas (Resíduos sólidos)	
QUANTIDADE DE ERVA-MATE PROCESSADA: 700 Kg			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Erva-Mate Peneirada Natural	700 Kg	Resíduos de Ráfia	4 Kg
Consumo de Energia: 251,805 KWh			
Comentários: A quantidade de energia consumida e os resíduos sólidos referem-se a quantidade consumida/gerada na produção de 700 Kg de erva-mate natural.			

<b>FICHA DE COLETA DE DADOS</b>			
PROCESSO PRODUTIVO:		Fabricação de Chá Mate por Infusão	
ETAPA DO PROCESSO PRODUTIVO:		Envase	
DATA: 20/06/2017			
<b>BALANÇO DE MASSA</b>			
ENTRADAS (Recursos naturais e matérias-primas)		Saídas (Resíduos sólidos)	
QUANTIDADE DE ERVA-MATE PROCESSADA: 1938 Kg			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Adesivo PVA	7 Kg	Resíduos de Papel e Papelão	18,13 Kg
Caixa Unitária	697,78 Kg	Resíduos de Plástico	0,1 Kg
Etiqueta Não Adesiva	0,1068 Kg	Resíduos Não Recicláveis	0,8 Kg
Fio de Algodão Cru	25,67 Kg	Resíduos de Refugo de Erva	6,6 Kg
Papel Filtro	142,33 Kg		
Tag Sensorial	91,2 Kg		
Tinta de Codificação	0,048 L		
Solvente de Codificação	0,228 L		
Consumo de Energia: 165,3 KWh			
Comentários:			
A quantidade de energia consumida refere-se a 1938 kg de erva-mate processada, já os resíduos sólidos referem-se a quantidade gerada na produção de 700 Kg de erva-mate natural.			

<b>FICHA DE COLETA DE DADOS</b>			
PROCESSO PRODUTIVO:		Fabricação de Chá Mate por Infusão	
ETAPA DO PROCESSO PRODUTIVO:		Envase	
DATA: 21/06/2017			
<b>BALANÇO DE MASSA</b>			
ENTRADAS (Recursos naturais e matérias-primas)		Saídas (Resíduos sólidos)	
QUANTIDADE DE ERVA-MATE PROCESSADA:		2096,4 Kg	
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Adesivo PVA	7 Kg	Resíduos de Papel e Papelão	18,32 Kg
Caixa Unitária	623,54 Kg	Resíduos Não Recicláveis	1,1 Kg
Etiqueta Não Adesiva	0,1424 Kg	Resíduos de Refugo de Erva	6,8 Kg
Fio de Algodão Cru	35,4 Kg		
Papel Filtro	154,2 Kg		
Tag Sensorial	98,7 Kg		
Tinta de Codificação	0,052 L		
Solvente de Codificação	0,228 L		
Consumo de Energia:		220,3 KWh	
Comentários:			
A quantidade de energia consumida refere-se a 2096,4 kg de erva-mate processada, já os resíduos sólidos referem-se a quantidade gerada na produção de 700 Kg de erva-mate natural.			

<b>FICHA DE COLETA DE DADOS</b>			
PROCESSO PRODUTIVO:		Fabricação de Chá Mate por Infusão	
ETAPA DO PROCESSO PRODUTIVO:		Envase	
DATA: 23/06/2017			
<b>BALANÇO DE MASSA</b>			
ENTRADAS (Recursos naturais e matérias-primas)		Saídas (Resíduos sólidos)	
QUANTIDADE DE ERVA-MATE PROCESSADA: 2305,2 Kg			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Adesivo PVA	7 Kg	Resíduos de Papel e Papelão	18,69 Kg
Caixa Unitária	801,70 Kg	Resíduos Não Recicláveis	0,74 Kg
Etiqueta Não Adesiva	0,0712 Kg	Resíduos de Refugo de Erva	7 Kg
Fio de Algodão Cru	37,23 Kg		
Papel Filtro	170,1 Kg		
Tag Sensorial	110,1 Kg		
Tinta de Codificação	0,056 L		
Solvente de Codificação	0,228 L		
Consumo de Energia: 200,38 kWh			
Comentários:			
A quantidade de energia consumida refere-se a 2305,2 kg de erva-mate processada, já os resíduos sólidos referem-se a quantidade gerada na produção de 700 Kg de erva-mate natural.			

<b>FICHA DE COLETA DE DADOS</b>			
PROCESSO PRODUTIVO:		Fabricação de Chá Mate por Infusão	
ETAPA DO PROCESSO PRODUTIVO:		Plastificação	
DATA: 20/06/2017			
<b>BALANÇO DE MASSA</b>			
ENTRADAS (Recursos naturais e matérias-primas)		Saídas (Resíduos sólidos)	
QUANTIDADE DE ERVA-MATE PROCESSADA: 1938 Kg			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Filme PE Termoencolhível	22,1 Kg	Resíduos de Papel e Papelão	2,1 Kg
Filme Polipropileno	50,21 Kg	Resíduos de Plástico	0,9 Kg
Filme PVC	3,6 Kg	Resíduos Não Recicláveis	0,4 Kg
Consumo de Energia: 62,7 KWh			
Comentários: A quantidade de energia consumida refere-se a 1938 kg de erva-mate processada, já os resíduos sólidos referem-se a quantidade gerada na produção de 700 Kg de erva-mate natural.			

<b>FICHA DE COLETA DE DADOS</b>			
PROCESSO PRODUTIVO:		Fabricação de Chá Mate por Infusão	
ETAPA DO PROCESSO PRODUTIVO:		Plastificação	
DATA: 21/06/2017			
<b>BALANÇO DE MASSA</b>			
ENTRADAS (Recursos naturais e matérias-primas)		Saídas (Resíduos sólidos)	
QUANTIDADE DE ERVA-MATE PROCESSADA: 2096,4 Kg			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Filme PE Termoencolhível	23,4 Kg	Resíduos de Papel e Papelão	1,9 Kg
Filme Polipropileno	52,3 Kg	Resíduos de Plástico	0,4 Kg
Filme PVC	3,6 Kg	Resíduos Não Recicláveis	0,2 Kg
Consumo de Energia: 93,53 KWh			
Comentários: A quantidade de energia consumida refere-se a 2096,4 kg de erva-mate processada, já os resíduos sólidos referem-se a quantidade gerada na produção de 700 Kg de erva-mate natural.			

FICHA DE COLETA DE DADOS			
PROCESSO PRODUTIVO:		Fabricação de Chá Mate por Infusão	
ETAPA DO PROCESSO PRODUTIVO:		Plastificação	
DATA: 23/06/2017			
BALANÇO DE MASSA			
ENTRADAS (Recursos naturais e matérias-primas)		Saídas (Resíduos sólidos)	
QUANTIDADE DE ERVA-MATE PROCESSADA: 2305,2 Kg			
Material	Quantidade	Material	Quantidade
Filme PE Termoencolhível	20,1 Kg	Resíduos de Papel e Papelão	2,5 Kg
Filme Polipropileno	38,76 Kg	Resíduos de Plástico	1,1 Kg
Filme PVC	5,3 Kg		
Consumo de Energia: 105,7 KWh			
Comentários: A quantidade de energia consumida refere-se a 2305,2 kg de erva-mate processada, já os resíduos sólidos referem-se a quantidade gerada na produção de 700 Kg de erva-mate natural.			

