

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CAMPUS SOROCABA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RENATA NOBRE DA CUNHA

**INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO FILME BOPP PRODUZIDO NO BRASIL**

Sorocaba  
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CAMPUS SOROCABA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RENATA NOBRE DA CUNHA

**INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO FILME BOPP PRODUZIDO NO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Orientação: Profa. Dra. Virgínia Aparecida da Silva Moris

Sorocaba  
2014

Cunha, Renata Nobre da.  
C972i Inventário do ciclo de vida do filme BOPP produzido no Brasil. / Renata  
Nobre da Cunha. -- 2015.  
119 f. : 28 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, *Campus*  
Sorocaba, Sorocaba, 2015

Orientador: Virgínia Aparecida da Silva Moris

Banca examinadora: Gil Anderi da Silva, Jane Maria Faustich de Paiva

Bibliografia

1. Polipropileno - Ciclo de vida do produto. 2. Inventário – ciclo de vida  
do produto. 3. Ciclo de vida do produto – aspectos ambientais. 3. I. Título. II.  
Sorocaba-Universidade Federal de São Carlos.

CDD 658.5

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca *Campus* Sorocaba.

RENATA NOBRE DA CUNHA

**"INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO FILME BOPP  
PRODUZIDO NO BRASIL"**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção, Área de Concentração: Gestão de Operações.  
Sorocaba, 26 de novembro de 2014

Orientador (a):



---

Prof. (a). Dr. (a). Virgínia Aparecida da Silva Moris  
DEPS/UFSCar

Examinadores (as):



---

Prof. (a). Dr. (a). Gil Anderi da Silva  
POLI/USP



---

Prof. (a). Dr. (a). Jane Maria Faustich de Paiva  
DEPS/UFSCar

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, por me guiar, proteger e pelas oportunidades que me foram dadas na vida. A Ele, dirijo minha maior gratidão, por me conceder os dons da fé e da esperança me impulsionando sempre a sonhar.

Agradeço aos meus pais, Cláudia e Octavio, com imenso carinho, orgulho, admiração e respeito, por este momento de realização. Vocês me deram a vida e me ensinaram a vivê-la com dignidade. Proporcionaram-me uma infância maravilhosa, cheia de alegrias e diversão, e uma vida acadêmica e adulta repleta de ensinamentos e responsabilidades, que levarei por toda a minha vida. Obrigada por sempre estarem ao meu lado, sendo compreensivos e dedicados.

Aos meus irmãos, Rafael e Roberta, e aos meus familiares, pela companhia constante, palavras de incentivo, momentos de alegria, carinho, cuidado e amizade e, por torcerem sempre por mim. Ao meu namorado, Werlen Araújo, por ser meu companheiro e por me dar força em momentos diversos de minha vida. Seu amor, carinho, paciência e dedicação foram primordiais para esta caminhada.

À professora orientadora, Dra. Virgínia Moris, pelos ensinamentos, amizade e paciência. Agradeço a todos os professores pelos ensinamentos e ajuda na condução deste trabalho. Em especial, agradeço aos professores Dr. Gil A. da Silva e Dra. Jane de Paiva pelas valiosas contribuições.

À Érica Akim, por todas as orientações a respeito do PPGEP-S, competência e disponibilidade de ajuda sempre que solicitada.

À empresa, nome não divulgado, por permitir a realização do estudo de caso deste trabalho, pela receptividade e interesse, além de contribuir a todo o momento com este estudo.

À CAPES, pela bolsa, e assim, por financiar esta pesquisa.

Aos meus amigos do Pará e do mestrado, que comigo compartilharam além dos conhecimentos e as experiências de vida, a amizade. Em especial, agradeço à Camila Teixeira, Sumaya de Araújo, Nadya Galo e Maritha Gomes, Alessandro Jordão, Carlos Calegari, Alisson Azevedo, Karim Pérez, Pedro Lugo, Maria Fernanda Marquez, Diego de La Vega, Alfredo Arteaga, Brena Silva, e Natália Macedo por fazerem parte do meu dia-a-dia, me apoiando e acolhendo neste momento de minha vida.

Por fim, à todas as pessoas que contribuíram direta e/ou indiretamente a este trabalho. Muito obrigada!

“Se você desenvolve os hábitos do sucesso, você fará do sucesso um hábito!”

Michael E. Angier

## RESUMO

CUNHA, R. N. **Inventário do ciclo de vida do filme BOPP produzido no Brasil**. 2014. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2014.

A crescente conscientização sobre a importância da proteção ambiental e dos possíveis impactos causados pelos processos produtivos impulsiona a se pesquisar métodos para melhor compreender e diminuir estes problemas. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica muito utilizada que busca avaliar os aspectos ambientais e minimizar os impactos potenciais no ciclo de vida de produtos ou processos. A descrição detalhada dos aspectos ambientais chama-se Inventário do Ciclo de Vida (ICV), no qual organiza os dados de entrada e saída de produto ou processo, considerando as matérias-primas, consumo de água e energia, emissões atmosféricas, efluentes líquidos, resíduos sólidos, entre outros. Deste modo, este trabalho apresenta o ICV do filme flexível de polipropileno biorientado (BOPP) produzido no Brasil por uma empresa localizada na região de Sorocaba, para fornecer subsídios referentes à produção do filme de BOPP que contribuam com a construção do banco de dados de ACV representativo da realidade brasileira. Para tal, foi utilizada a abrangência do "berço ao portão", que considera os aspectos ambientais desde a extração das matérias-primas até o portão da fábrica. Foram considerados como subsistemas do modelo representativo do sistema produtivo do BOPP a extração do petróleo; refino do petróleo - produção da nafta; produção do propeno; produção da resina de PP; produção do filme de BOPP; e os transportes marítimo (do petróleo importado) e rodoviário (da resina de PP). Para a elaboração do inventário, utilizou-se dados primários e secundários, coletados na empresa produtora do BOPP e de pesquisas bibliográficas, respectivamente. A partir da análise do inventário, foram identificados e discutidos os aspectos ambientais mais representativos (consumo de água, fonte energética, e emissões de CO, CO<sub>2</sub>, material particulado, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, e C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) a cada subsistema do inventário da produção do filme de BOPP em estudo. Os subsistemas de maior contribuição para o consumo da água e energia foram a produção da resina de PP e a produção do filme de BOPP. Em todos os subsistemas a emissão de CO<sub>2</sub> foi representativa, sendo o subsistema da produção do propeno o que mais emitiu, apresentando, também, representativas contribuições nas emissões de CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> e C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>.

**Palavras-chave:** Inventário do Ciclo de Vida, Aspectos Ambientais, Filme Flexível.

## ABSTRACT

The growing awareness of the importance of environmental protection and the possible impacts caused by production processes boost to research methods to better understand and reduce these problems. Assessment Life Cycle Assessment (LCA) is a widely used technique that seeks to assess the environmental aspects and minimize potential impacts in the life cycle of products or processes. A detailed description of the environmental aspects of the product is called Life Cycle Inventory (LCI), which organizes the input data and output of product or process, considering the raw materials, water and energy consumption, air emissions, liquid effluents, solid waste, among others. Thus, this work presents the ICV flexible polypropylene film (BOPP) produced in Brazil by a company located in the region of Sorocaba, to provide subsidies for the production of BOPP film that contribute to the construction of the LCA database representative of the Brazilian reality. To do this, it used the scope of the "cradle-to-gate", which considers environmental aspects from the extraction of raw materials to the factory gate. They were considered as subsystems of the representative model of the production of BOPP system of petroleum extraction; petroleum refining - production of naphtha; production of propylene; production of PP resin; production of BOPP film; and maritime transport (imported petroleum) and road (PP resin). For the preparation of the inventory, using primary and secondary data, collected in the company producer of BOPP and bibliographical research, respectively. From the inventory analysis, were identified and discussed the most representative environmental aspects (water consumption, energy source and emissions of CO, CO<sub>2</sub>, particulate matter, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> and C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) each subsystem inventory of the production of BOPP film under study. The greatest contribution of subsystems for the consumption of water and energy were the production of the resin PP and the production of BOPP film. In all subsystems CO<sub>2</sub> emissions was representative, being the propylene production subsystem what else issued, presenting also representing contributions in CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> and C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>.

**Keywords:** Life Cycle Inventory, Environmental Aspects, Flexible Film.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Ciclo de vida de um produto .....	25
Figura 2.2 - Fases do ciclo de vida .....	30
Figura 2.3 - Dimensões da ACV.....	31
Figura 2.4 - Grupo de participantes .....	38
Figura 2.5 - Métodos utilizados para estudos de ACV .....	39
Figura 2.6 - <i>Hotspots</i> identificados para o ciclo de vida da usina hidrelétrica de Itaipu .....	44
Figura 2.7 - Frequência de dissertações .....	45
Figura 2.8 - Frequência de teses .....	46
Figura 2.9 - Palavras-chave para a análise bibliométrica.....	50
Figura 2.10 - Aglomeração dos trabalhos em <i>clusters</i> .....	53
Figura 2.11 - Categorias de impacto resultantes da ACV .....	60
Figura 2.12 - Processo produtivo do filme de BOPP.....	61
Figura 4.1 - Sistema produtivo do filme de BOPP .....	67
Figura 4.2 - Processo produtivo do BOPP .....	72
Figura 4.3 - Fronteira do sistema .....	75
Figura 4.4 - Porcentagem de contribuição de cada subsistema .....	91

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Compreensão dos processos produtivos por meio de cadeias produtivas .....	27
Quadro 2.2 - Categorias de impacto ambiental .....	34
Quadro 2.3 - <i>Software</i> para ACV .....	36
Quadro 2.4 - Trabalhos acadêmicos em destaque .....	46
Quadro 2.5 - Áreas temáticas do CBGCV .....	48
Quadro 2.6 - Trabalhos excluídos da análise bibliométrica .....	51
Quadro 2.7 - Trabalhos que apresentam o maior número de citações .....	55
Quadro 2.8 - Indicadores de centralidade e <i>sigma</i> .....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Perfis ambientais da fabricação de FMP e TSP .....	42
Tabela 2.2 - Quantidade de trabalhos nas áreas de pesquisa .....	52
Tabela 2.3 - Anos de publicação das 82 publicações.....	52
Tabela 2.4 - <i>Ranking</i> dos maiores <i>clusters</i> .....	54
Tabela 4.1 - Importação de petróleo em 2013 .....	73
Tabela 4.2 - Inventário da extração de 1.000 kg de petróleo nacional e importado .....	78
Tabela 4.3 - Inventário do refino de 1.000 kg de petróleo .....	79
Tabela 4.4 - Fatores de alocação para derivados do petróleo.....	80
Tabela 4.5 - Inventário para produção de 1.000 kg de nafta .....	81
Tabela 4.6 - Inventário para 1.000 kg de propeno .....	83
Tabela 4.7 - Inventário da produção de 1.000kg de resina de PP.....	84
Tabela 4.8 - Especificações do filme com 25 µm de espessura .....	85
Tabela 4.9 - Inventário da produção de 1.000kg de filme de BOPP .....	86
Tabela 4.10 - Inventário de 1.000 kg km de petróleo importado e produção dos combustíveis .....	87
Tabela 4.11 - Inventário para transporte rodoviário de 1.000 kg km .....	89

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCV	Associação Brasileira de Ciclo de Vida
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
AMN	Associação Mercosul de Normalização
B-PET	Biopolitereftalato de Etileno
B2B	<i>Business to Business</i>
B2C	<i>Business to Customer</i>
B2G	<i>Business to Government</i>
BEES	<i>Building for Environmental and Economic Sustainability</i>
BOPP	Polipropileno Biorientado
BUS	Ministério do Meio Ambiente da Suíça
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBGCV	Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços
CML	<i>Institute of Environmental Science</i>
CMLCA	Gestão da Cadeia de Avaliação do Ciclo de Vida
COVNM	Compostos Orgânicos Voláteis Não-metanados
COPANT	Comissão Panamericana de Normas Técnicas
DB	Diclorobenzeno
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ECA	Ecotoxicidade Aquática
ECT	Ecotoxicidade Terrestre
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPD	<i>Environmental Product Declaration</i>
FMP	Fosfato de Magnésio Fundido
FOF	Formação Oxidantes Fotoquímicos
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GPPS	Poliestireno de Utilização Geral
HDPE	Polietileno de Alta Densidade
HFC	Hidrofluorcarbonetos

IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
ISI	<i>Institute for Scientific Information</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
LDPE	Polietileno de Baixa Densidade
MDO	<i>Machine Direction Orientation</i>
MDP	<i>Medium Density Particleboard</i>
MRI	<i>Midwest Research Institute</i>
NBR	Norma Brasileira
PA	Potencial de Acidificação
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PC	Policarbonato
PCV	Policloreto de Vinila
PE	Potencial de Eutrofização
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PET	Politereftalato de Etileno
PFC	Perfluorcarbonetos
PHAs	Polihidroxialcanoatos
PHA-G	Polihidroxialcanoatos de Grãos de Milho
PHA-S	Polihidroxialcanoatos de Palha de Milho
PLA	Poliláctico
PLA-G	Poliláctico de Processo Geral
PLA-NW	Poliláctico <i>NatureWorks</i>
PP	Polipropileno
PPGEP-S	Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Sorocaba
PR	Paraná
PRCO	Potencial de Redução da Camada de Ozônio
PTH	Potencial de Toxicidade Humana
PN	Potencial de Nutrificação
PV	Células fotovoltaicas

REDUC	Refinaria Duque de Caxias
REPA	<i>Resource and Environmental Profile Analysis</i>
RNR	Exaustão de recursos não renováveis
SC	Santa Catarina
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
TDO	<i>Transverse Direction Orienter</i>
TSP	Superfosfato Triplo
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos
UB	Unidade de brilho

## LISTA DE SÍMBOLOS

g	Gramas
kcal	Quilocaloria
kg	Quilograma
km	Quilômetro
l	Litro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
t	Tonelada
µm	Micrometro
%	Porcentagem
GJ	Gigajoule
CFC-11	Triclorofluormetano
Cl <sup>-</sup>	Cloretos
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	Hidrocarbonetos
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono (gás carbônico)
CO <sub>2</sub> -eq	Dióxido de carbono equivalente
CH <sub>3</sub> SH	Metanotiol (metil mercaptana)
CH <sub>4</sub>	Metano
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Etileno
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	Propeno
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Benzeno
H <sub>2</sub> S	Sulfeto de hidrogênio (gás sulfídrico)
Na <sup>x</sup>	Íons de sódio
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrogênio
N <sub>2</sub>	Nitrogênio gasoso (gás nitrogênio)
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
O <sub>3</sub>	Ozônio troposférico
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Fosfato
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pentóxido de difósforo
SF <sub>6</sub>	Hexafluoreto de enxofre
SO <sub>x</sub>	Óxidos de enxofre

SO<sub>2</sub>-eq

Dióxido de enxofre equivalente



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	18
1.1 Contextualização do problema e justificativa .....	18
1.2 Objetivo .....	20
1.3 Estrutura do trabalho .....	20
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	22
2.1 Avaliação do ciclo de vida.....	22
2.1.1 Histórico e conceito .....	23
2.1.2 Uso e limitações .....	26
2.1.3 Normalização .....	28
2.2 <i>Software</i> para ACV.....	35
2.3 Estudos de ACV e ICV.....	38
2.3.1 Estudos no Brasil.....	42
2.4 ACV para materiais poliméricos .....	48
2.4.2 Análise bibliométrica .....	49
2.4.2 Filme flexível de polipropileno biorientado .....	61
3. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	63
3.1 Método de pesquisa .....	63
3.2 Coleta de Dados.....	63
3.3 Estrutura ICV .....	65
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	66
4.1 Objetivo e escopo .....	66
4.1.1 Objetivo .....	66
4.1.2 Escopo do estudo.....	66
4.1.2.1 O sistema de produto .....	67
4.1.2.1.1Subsistema de extração do petróleo.....	68
4.1.2.1.2Subsistema de refino do petróleo (produção da nafta) .....	69
4.1.2.1.3Subsistema de produção do propeno .....	69
4.1.2.1.4Subsistema de produção da resina de PP .....	70
4.1.2.1.5Subsistema de produção do filme de BOPP.....	71
4.1.2.1.6Subsistema de transportes marítimo (do petróleo importado) e rodoviário (da resina de PP) .....	73
4.1.2.2 Função e unidade funcional do produto.....	74

4.1.2.3 Fluxo de referência .....	74
4.1.2.4 Fronteira do sistema.....	74
4.1.2.5 Procedimentos de alocação .....	75
4.1.2.6 Tipos de impacto, método de avaliação de impacto.....	76
4.1.2.7 Requisitos para qualidade de dados.....	76
4.1.2.8 Tipo e formato do relatório do estudo .....	76
4.2 Análise de inventário do ciclo de vida (ICV) .....	77
4.2.1 Inventário do subsistema de extração do petróleo.....	77
4.2.2 Inventário do subsistema de refino do petróleo (produção da nafta) .....	79
4.2.3 Inventário do subsistema de produção do propeno .....	82
4.2.4 Inventário do subsistema de produção da resina de PP .....	83
4.2.5 Inventário do subsistema de produção do filme de BOPP.....	85
4.2.6 Inventário do subsistema de transportes marítimo (do petróleo importado) e rodoviário (da resina de PP) .....	87
4.3 Tratamento dos dados a uma base comum e análise comparativa .....	89
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES .....	93
5.1 Sobre o objetivo da pesquisa.....	93
5.2 Limitações e dificuldades .....	94
5.3 Propostas futuras .....	95
REFERÊNCIAS.....	96
APÊNDICES .....	104
Apêndice I – Lista de dissertações.....	104
Apêndice II – Lista de teses.....	111
Apêndice III – Protocolo de pesquisa .....	114
Apêndice IV – Inventário consolidado para produção de 1.000 kg de filme de BOPP .....	117

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização do problema e justificativa

O desenvolvimento da tecnologia industrial tem contribuído para a alteração da natureza e extensão dos impactos ambientais das atividades industriais. Esgotamento dos recursos, poluição da água, ar e da terra, são exemplos dos problemas ambientais que surgiram como resultado de intervenções intensificadas no meio ambiente devido ao acelerado avanço tecnológico. Alguns desses problemas podem não ter um efeito imediato, fazendo com que empresas responsáveis por estes danos não se planejem de forma preventiva. (AZAPAGIC, 1999).

Segundo Gerngross (1999) a sustentabilidade de uma sociedade baseada em recursos finitos é um tema recorrente em debate científico e político. Um aspecto deste debate, além de explorar fontes alternativas de energia, é o desafio de fornecer produtos químicos (combustíveis, lubrificantes, adesivos, solventes, tintas, materiais, etc) para o consumo acelerado da sociedade, sem esgotar os recursos não renováveis.

Empresas não podem evitar a responsabilidade pela proteção do meio ambiente em geral, ou desempenho ambiental da sua organização, mais especificamente. São muitas vezes falhas operacionais que estão na raiz de catástrofes de poluição e às decisões de operações, que impactam, em longo prazo, as questões ambientais. Menos significativo no curto prazo, porém mais importante, em longo prazo, é o impacto ambiental dos produtos que não podem ser reciclados e processos que consomem grandes quantidades de recursos, como água e energia (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2010).

Um exemplo destas preocupações refere-se aos materiais derivados do petróleo, recurso não renovável, como, no caso, alguns materiais poliméricos. De acordo com Vink et al. (2003), os polímeros tornaram-se um elemento essencial da vida moderna por apresentarem vantagens como baixo peso, alta resistência, larga escala da aplicação, e a maturidade das tecnologias de produção subjacentes. Tais vantagens também levam a algumas das maiores preocupações sobre materiais à base de combustíveis fósseis. A durabilidade de vários tipos de plásticos (materiais poliméricos) contribui para o crescimento de desperdícios e problemas de eliminação de resíduos.

Especificamente, o polímero BOPP (polipropileno biorientado) é, segundo Tamura, Ohta, Kanai (2012) produzido em cerca de 40 milhões de toneladas por ano no mundo. O BOPP é responsável pelo uso de grande quantidade do PP

(polipropileno), uma vez que é adequado para os filmes de embalagem de alimentos ou de folhas industriais (fitas adesivas, etiquetas, plastificação, entre outros), devido ao seu elevado desempenho em termos de propriedades mecânicas e ópticas.

De acordo com Plástico (2014b), o Brasil possui a quinta maior produtora de BOPP no mundo, em que produz 127 mil toneladas ao ano, das quais 70% representam a demanda nacional. No ano de 2013, a demanda brasileira de filmes de BOPP foi estimada entre 140 mil e 150 mil toneladas (PLÁSTICO, 2014a).

Diante de tais vantagens nas propriedades do filme flexível de BOPP e a sua grande representatividade tanto no mercado brasileiro, como mundial, surgem-se questionamentos referentes ao consumo de recursos (matérias-primas, energia, água, dentre outros recursos) e a geração de resíduos e emissões (emissões atmosféricas, resíduos sólidos e efluentes líquidos) ao longo do sistema produtivo.

A crescente conscientização sobre a importância da proteção ambiental e dos possíveis impactos associados a produtos manufaturados e consumidos cada vez mais conscientes demonstram o interesse no desenvolvimento de técnicas para melhor compreender e diminuir estes impactos. Uma das técnicas em desenvolvimento com este propósito que pode auxiliar na redução de impactos ambientais é a Avaliação do Ciclo de Vida, ACV (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a).

Segundo Ribeiro (2009), a ACV é uma técnica de gestão ambiental utilizada para avaliar o desempenho ambiental de um produto/processo ou serviço ao longo de todo o seu ciclo de vida. O ciclo de vida é o conjunto de etapas de entradas e saídas encadeadas e sucessivas que incluem: a obtenção dos recursos naturais; as etapas de transformação necessárias à fabricação do produto principal; uso; distribuição e disposição final do produto no meio ambiente. A execução de um estudo de ACV compreende a identificação e quantificação das interações do ciclo de vida do produto ou serviço com o meio ambiente (aspectos ambientais), utilizando a estrutura de um inventário do ciclo de vida, e a avaliação dos potenciais impactos ambientais associados a essas interações.

Diante deste cenário, tem-se a questão de pesquisa:

Quais os aspectos ambientais associados ao sistema produtivo do filme de BOPP no Brasil, utilizando a técnica ACV?

Perante tal questionamento, o presente trabalho tem como foco de estudo o filme de BOPP produzido no Brasil, por uma empresa da região de Sorocaba, desde a

extração de matéria prima até o portão de fábrica. Foi elaborado o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do filme flexível a partir da coleta de dados primário e secundário em território nacional.

Para a elaboração do ICV, foram identificadas e quantificadas as entradas e saídas associadas ao ciclo de vida do filme BOPP, com a abrangência "*cradle to gate*", ou seja, do berço ao portão da fábrica. Foram considerados como subsistemas do modelo representativo do sistema produtivo do BOPP: extração do petróleo; refino do petróleo (produção da nafta); produção do propeno; produção da resina de PP; produção do filme de BOPP; e os transportes marítimo (do petróleo importado) e rodoviário (da resina de PP).

Por fim, foram realizadas discussões dos principais aspectos ambientais associados às etapas de fabricação do filme flexível no contexto brasileiro, assim como propostas de pesquisas futuras.

## **1.2 Objetivo**

O objetivo deste trabalho foi a elaboração do ICV do filme de BOPP fornecendo subsídios referentes à produção do filme para contribuir com o banco de dados de ACV com base na realidade brasileira.

## **1.3 Estrutura do trabalho**

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, subdivididos em tópicos. O primeiro e presente capítulo é introdutório, em que contextualiza o tema nas esferas mundiais e nacionais e justifica a escolha para seu estudo.

O segundo capítulo, apresenta a revisão de literatura utilizada para o desenvolvimento da pesquisa. Neste capítulo são apresentados os principais temas relevantes à Avaliação do Ciclo de Vida e ao Inventário do Ciclo de Vida, além da abordagem desta técnica focada em materiais poliméricos.

Em sequência, o terceiro capítulo consiste na metodologia da pesquisa, com a descrição dos materiais e métodos utilizados para a condução deste trabalho.

O quarto capítulo trata da análise dos resultados e discussões provenientes dos dados coletados para a elaboração do ICV.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões do trabalho, composta pelas considerações sobre o objetivo da pesquisa, as limitações e dificuldades encontradas, e as propostas futuras a este trabalho.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica sobre a Avaliação do Ciclo de Vida e o Inventário do Ciclo de Vida, além da aplicação da ACV em materiais poliméricos, visando obter a base teórica necessária para o desenvolvimento do trabalho.

Para tanto, o capítulo está estruturado em quatro seções: 1) abordagem do contexto histórico, conceito e a normalização da ACV; 2) principais *softwares* geralmente utilizados em trabalhos de ACV; 3) análise da ACV e do ICV no Brasil; 4) aplicações da ACV em materiais poliméricos, com o auxílio de uma análise bibliométrica, assim como as principais características do filme flexível de BOPP.

### 2.1 Avaliação do ciclo de vida

Segundo Amato Neto (2011a), o tema sustentabilidade ganha a cada vez mais destaque nos meios empresarial, acadêmico, governamental e na sociedade como toda. Diversos fóruns internacionais, que resultaram em acordos assinados por vários países, nas últimas duas décadas, como Eco-92; Agenda 21; Protocolo de Kyoto; Declaração de Política da Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável - Joanesburgo; Conferência de Bali; Encontro de Bangkok; e a Conferência sobre as Mudanças Climáticas de 2010 ou Cimeira de Cancun - México, vêm reafirmando a preocupação com o redirecionamento dos modelos de desenvolvimento no período pós-guerra, que supervalorizaram, quase em sua totalidade, a dimensão econômica do desenvolvimento, através da busca de soluções sustentáveis e do comprometimento com os acordos assinados.

Em virtude da crescente preocupação com o esgotamento dos recursos naturais e destruição do meio ambiente, as empresas vêm projetando produtos e utilizando processos cada vez mais ambientalmente corretos.

Segundo Heijungs, Huppes e Guinée (2010), o termo sustentabilidade tem dirigido aos decisores políticos, ambientalistas e industriais tomadores de decisão para a ampliação do foco em várias direções: a avaliação dos custos e benefícios foi expandida do privado ao social; a avaliação econômica foi expandida para incluir os aspectos ambientais e sociais; a compreensão de que todo participante é incorporado em uma cadeia de atividades tem levado ao desenvolvimento de noções como as cadeias de fornecimento, o ciclo de vida e responsabilidade estendida ao produtor.

Em busca do desenvolvimento sustentável, necessita-se de métodos e ferramentas para mensurar e comparar os impactos ambientais das atividades humanas para o fornecimento de bens e serviços. A ACV e abordagens relacionadas (como ICV, gestão do ciclo de vida, entre outros) são elementos essenciais para os esforços a tornar o desenvolvimento sustentável uma realidade (REBITZER et al., 2004).

Nesse contexto, a ACV é uma técnica importante de aprimoramento do processo produtivo e dos produtos de uma empresa. Sua abordagem de todo o ciclo de vida do produto permite a identificação e avaliação das fases críticas do processo industrial ou do produto ou serviço. Permite, ainda, a estimativa dos impactos potenciais cumulativos resultantes de todos os estágios do processo produtivo, ajudando os tomadores de decisão a selecionar seus produtos e processos de forma a causar o menor impacto ao meio ambiente (INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2013).

### **2.1.1 Histórico e conceito**

De acordo com Coltro (2007), os estudos de ACV, ainda em sua forma embrionária, tiveram início durante a primeira crise do petróleo, meados de 1960-1970, o que levou a sociedade se questionar sobre o limite da extração dos recursos minerais. Os primeiros estudos buscavam avaliar os processos produtivos e racionalizar o consumo de fontes energéticas esgotáveis, através de cálculo para mensurar o consumo de energia e, por isso, eram conhecidos como "análise de energia" (*energy analysis*).

O primeiro estudo de que se tem referência foi desenvolvido no início dos anos 70 pela Coca Cola, que contratou o *Midwest Research Institute* (MRI) para comparar os diferentes tipos de embalagens de refrigerante e selecionar qual deles se apresentava como o mais adequado do ponto de vista ambiental e de melhor desempenho com relação à preservação dos recursos naturais. Este processo de quantificação da utilização dos recursos naturais e de emissões utilizado pela Coca Cola, nesse estudo, passou a ser conhecido como REPA - *Resource and Environmental Profile Analysis* (INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2013).

O REPA, em 1974, foi aprimorado durante a realização de um estudo para a EPA (*Environmental Protection Agency*), sendo referenciado como o marco para o surgimento do conceito ACV (CHEHEBE, 2002).



Segundo o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (2013) um grande número de consultores passou a estudar a metodologia REPA, agregando novos critérios que permitiram melhor análise dos impactos ambientais.

Porém, Coltro (2007) cita que o interesse por estudos de ACV enfraqueceu após a crise do petróleo, ressurgindo na década de 80 em decorrência do crescente interesse pelo meio ambiente.

Desta forma, em 1985, na Europa, foi desenvolvido um procedimento similar ao REPA, chamado *Ecobalance*. Desempenharam, também, importante papel para o desenvolvimento da metodologia empregada na ACV, desde meados da década de 70 até os dias atuais, *Franklin Associates e Batelle*, nos EUA, *Ian Boustead*, na Inglaterra, e *Sundstrom*, na Suécia, que possuem um dos mais abrangentes bancos de dados sobre o assunto (CHEHEBE, 2002).

A partir de um estudo contratado pelo Ministério do Meio Ambiente da Suíça (BUS), foi introduzido na metodologia REPA um sistema de ponderação que utilizava padrões de referência para a saúde humana e para agregar dados sobre os impactos ambientais. Em 1991, com base neste modelo foram desenvolvidos os primeiros *softwares* específicos para os estudos de ACV, os *Ökobase I e II* (INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2013).

Conforme Chehebe (2002), além dos estudos citados, o *Centre of Environmental Studies* na Universidade de *Leiden* (Holanda), a empresa francesa *Ecobilan* e o grupo de estudo sobre ACV do Conselho de Ministros Nórdicos têm contribuído para o desenvolvimento dessa metodologia.

Finnveden (1999) afirma que a Avaliação do Ciclo de Vida obteve um amplo desenvolvimento durante a década de 1990 e atingiu um certo nível de harmonização e padronização. ACV foi principalmente desenvolvida para a análise de produtos e processos, mas também pode ser aplicado a serviços.

Para Vink et al. (2003) a ACV é uma técnica para contabilizar os impactos ambientais associados a um produto ou serviço. O termo ciclo de vida indica que todas as fases da vida útil de um produto, como mostra a Figura 2.1, desde a extração de recursos à disposição final, são consideradas.

Figura 2.1 - Ciclo de vida de um produto



Fonte: United Nations Environment Programme (2009)

Todo produto ou processo resulta, em impacto sobre o meio ambiente, que pode ocorrer durante a obtenção de matéria-prima, processamento ou transporte, no consumo ou pós-consumo. Todavia, para gerenciar os aspectos e impactos relacionados ao ciclo de vida de um produto ou processo são necessárias informações de apoio à tomada de decisão (XAVIER, CORREIA, 2013).

De acordo com Mendonça, Pontes e Souza (2013), para que produtos sejam mais sustentáveis, os atores envolvidos com todas as fases do ciclo de vida precisam estabelecer maneiras de melhorar o desempenho ambiental, social e econômico de suas atividades. Esse caminho, deve ser percorrido por todos, uma vez que cada fase influencia para a sustentabilidade do produto.

O Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (2013), explica que a ACV considera inclusive:

- a produção de energia;
- os processos que envolvem a manufatura;
- as questões relacionadas com as embalagens;

- o transporte;
- o consumo de energia não renovável;
- os impactos relacionados com o uso, ou aproveitamento e
- o reuso do produto ou mesmo questões relacionadas com o lixo ou recuperação / reciclagem.

Contudo, pode-se afirmar que a ACV trata-se de uma técnica de apoio à tomada de decisões, pois gera informações, mas não resolve problemas (AMATO NETO, 2011b).

### **2.1.2 Uso e limitações**

A ACV assume uma visão ambiental holística de um processo, produto ou serviço ao longo de sua vida útil (VIGON E JENSEN, 1995; VON BLOTTNITZ E CURRAN, 2007; SEIFFERT, 2011). Essa perspectiva permite as empresas examinarem todos os aspectos ambientais e suas operações, e as ajuda a integrar questões ambientais em seu processo global de tomada de decisões (SEIFFERT, 2011).

Os processos produtivos podem ser estudados com cadeias lineares ou com cadeias cíclicas, mas ambos os conceitos visam proporcionar sustentabilidade e ecoeficiência. Xavier e Correia (2013) listam possibilidades destes diferentes tipos de cadeias, como mostra o Quadro 2.1.

A escolha dentre as possibilidades de cadeias produtivas estabelece responsabilidade aos diferentes atores envolvidos, podendo ser somente do produtor, fornecedor, consumidor, vendedor ou de múltiplos atores.

A ACV é uma técnica para apoiar as organizações a melhor compreender, controlar e encontrar maneiras para reduzir os impactos ambientais de seus bens e serviços (SEIFFERT, 2011). Tanto a redução no consumo de energia e na extração de matérias-primas quanto à diminuição da geração e descarte de resíduos no meio ambiente fazem parte de um processo sistemático que contempla interesses sociais, ambientais, políticos e econômicos (XAVIER E CORREIA, 2013).

**Quadro 2.1 - Compreensão dos processos produtivos por meio de cadeias produtivas**

<b>Cadeias produtivas</b>	<b>Possibilidades</b>
<b>Cadeias lineares</b>	- do berço ao túmulo: gestão dos materiais desde a aquisição dos recursos (matéria, energia, mão de obra) até a disposição final dos resíduos;
	- da produção ao pós-venda: gestão dos materiais desde o processo produtivo até a venda do produto;
	- do pós-venda ao túmulo: gestão dos materiais nas etapas subsequentes à venda do produto e concluindo com a disposição final;
	- do berço à produção: gestão dos materiais desde a aquisição dos recursos até o processo produtivo;
	- do berço ao pós-venda: gestão dos materiais desde a aquisição dos recursos até a venda do produto.
<b>Cadeias cíclicas</b>	- do berço ao berço: gestão dos materiais desde a aquisição dos recursos até que eles, depois de processados e usados, voltem ao processo como materiais básicos.

Fonte: Xavier e Correia (2013)

A ACV, segundo o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (2013), pode ser de grande utilidade para:

- o desenvolvimento de produtos;
- a escolha de tecnologias;
- a identificação da fase do ciclo de vida em que os impactos ocorrem;
- a seleção de indicadores ambientais relevantes para avaliação de projetos;
- a reformulação de produtos ou processo;

Ao longo das duas últimas décadas, a metodologia da ACV e os dados relacionados tornaram-se uma técnica adequada para abordar e influenciar beneficemente os aspectos ambientais da sustentabilidade de praticamente todas as atividades antrópicas (BAITZ et al., 2012).

Porém, a técnica possui limitações, que de acordo com o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (2013) devem ser consideradas tanto na elaboração dos estudos quanto no uso dos seus resultados.

Estudos de ACV são intensivos em tempo, recursos financeiros e humanos. Dependendo da profundidade do estudo que se pretende conduzir, a coleta de

dados pode ainda ser dificultada por várias outras razões. A não disponibilidade de dados importantes pode afetar o resultado final do estudo e, por consequência, a sua confiabilidade (CARVALHO, 2008b).

Seiffert (2011) explica que fazer projeções com base nas informações da ACV também pode ser questionável, visto que um estudo de ACV focado em questões locais pode não ser adequado em aplicações regionais ou globais, e vice-versa.

Segundo Carvalho (2008b), a ACV, por sua natureza, não é uma técnica capaz de medir qual produto ou processo é o mais eficiente tanto em relação ao custo quanto em relação a outros fatores, já que não mede, por exemplo, impactos reais ambientais, e sim impactos potenciais.

Reivindicações ou afirmações comparativas são delicadas, podendo ser assumidas erroneamente ou mal fundamentadas. Em decorrência disto, é importante que os dados envolvidos no estudo sejam coletados e analisados com clareza e transparência. Considerando-se as peculiaridades de um estudo de ACV, é necessário conhecer os aspectos básicos conceituais para a sua realização (SEIFFERT, 2011).

### **2.1.3 Normalização**

Estudos de ACV, aparentemente iguais, realizados com escopos diferentes, encontrando-se resultados distintos, devido às considerações feitas, fronteiras adotadas (temporal, geográfica e tecnológica), logísticas de abastecimento de matérias-primas, matrizes energéticas, entre outros aspectos, ocasionou confusão acerca da sua interpretação do que seria um sistema mais adequado para o meio ambiente (COLTRO, 2007).

Segundo o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (2013), este fato foi agravado pelo surgimento e proliferação dos chamados Rótulos Ambientais. Inicialmente, estes eram atribuídos com base em apenas um aspecto ambiental do produto ou serviço, não levando em consideração todas as fases do ciclo de vida do produto. Os resultados controversos dessas iniciativas de rotulagem conduziram à consideração da utilização da Avaliação do Ciclo de Vida como um dos critérios para o seu desenvolvimento. Este novo uso da ACV, que tinha implícita a comparação entre produtos, ao mesmo tempo em que aparentemente era uma saída tecnicamente correta para o impasse dos rótulos ambientais, tornava imperiosa a necessidade de se padronizar e sistematizar a ACV.

Em função disso, a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) iniciou os primeiros trabalhos de sistematização e padronização dos termos e critérios da ACV. Igualmente, em 1993, a *International Organization for Standardization* - ISO criou o Comitê Técnico TC 207 para elaborar normas de sistemas de gestão ambiental e suas ferramentas. Este Comitê é o responsável por umas das mais importantes séries de normas internacionais, a série ISO 14000, que inclui as normas de ACV (INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2013).

As normas ISO 14000 são uma família de normas que buscam estabelecer ferramentas e sistemas para a administração ambiental de uma organização (DIAS, 2011).

Segundo Amato Neto (2011a) o objetivo da série de normas ISO 14000 é melhorar o desempenho ambiental, permitindo ainda emitir o certificado às organizações credenciadas que estejam em conformidade aos requisitos das normas.

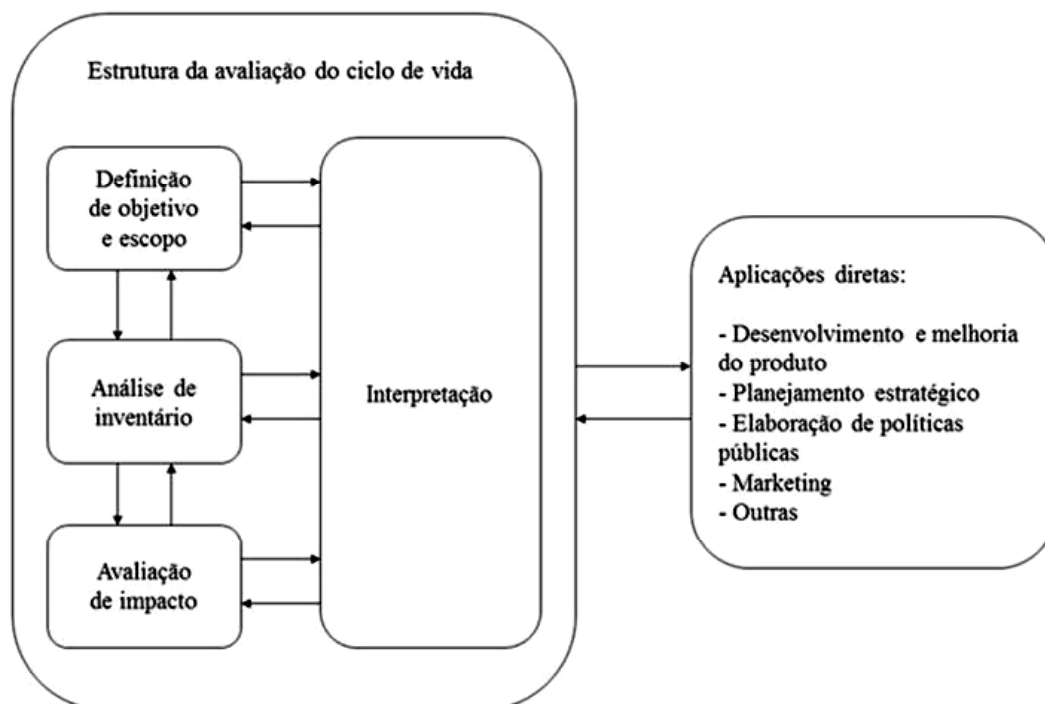
As normas da série 14040 são de caráter orientativo, não contendo especificações para finalidades de registro ou certificação, sendo complementares à implantação da norma ISO 14001. As normas ISO 14040 e ISO 14044 são as responsáveis pela normalização no campo da ACV, apresentam grande importância às normas focadas no produto e processo (SEIFFERT, 2011).

No Brasil, as normas da série 14040 foram internalizadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, publicando normas equivalentes as da ISO. Atualmente, as normas da série 14040 em vigor em território brasileiro, para a orientação de estudos de ACV, são a NBR ISO 14040 e a NBR ISO 14044 publicadas no ano de 2009.

De acordo com a *International Organization for Standardization* (2006a), a Avaliação do Ciclo de Vida é a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009a), a técnica da ACV é dividida em quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados, conforme visualizado na Figura 2.2.

Figura 2.2 - Fases do ciclo de vida



Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009a)

A ACV é uma técnica iterativa, ou seja, informações de fases individuais são utilizadas nas demais fases. Na ocorrência de limitações ou restrições ao longo do estudo, as fases da ACV devem ser retrabalhadas considerando estas novas informações. De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009a), a ACV tipicamente não abrange aspectos sociais ou econômicos de um produto, mas a abordagem de ciclo de vida pode ser aplicada a esses outros aspectos.

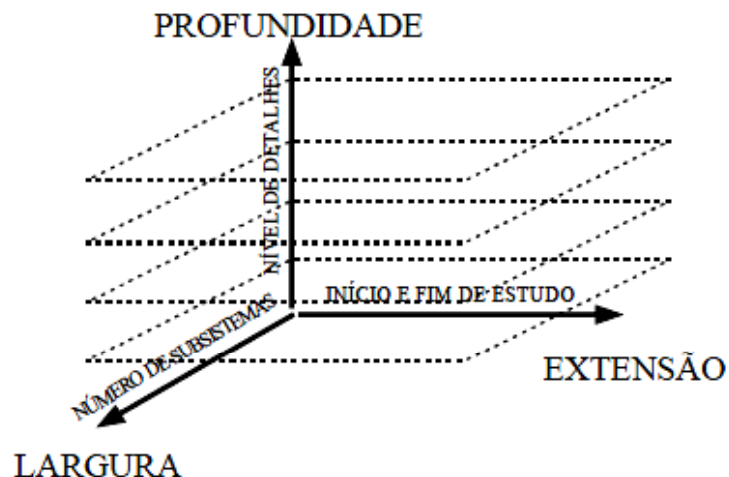
A definição do objetivo e escopo, que correspondem a primeira fase, são os elementos-chave que demonstraram a profundidade e abrangência de um estudo de ACV. Precisam ser claramente definidos e consistentes com a aplicação pretendida.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009b) explica que para definir o objetivo, consideram-se os seguintes itens:

- a aplicação pretendida: para que se utiliza o estudo;
- as razões para a realização do estudo: quais motivações levaram à condução do estudo;
- o público-alvo: a quem se pretende comunicar os resultados do estudo;
- se existe a intenção de utilizar os resultados em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente.

De acordo com Chehebe (2002) o escopo, como visualizado na Figura 2.3, deve referir-se às três dimensões: onde iniciar e parar o estudo do ciclo de vida (extensão da ACV); quantos e quais subsistemas incluir (largura da ACV); e o nível de detalhes do estudo (profundidade da ACV).

Figura 2.3 - Dimensões da ACV



Fonte: Chehebe (2002)

Por este motivo, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009b) lista os itens a serem considerados para definir o escopo de forma clara.

- o sistema de produto a ser estudado: a descrição física do sistema deve envolver uma descrição quantitativa de todos os fluxos de matéria e insumos de produção, entradas e saídas (SEIFFERT, 2011). A maneira para melhor descrever o sistema é utilizando fluxogramas de processo que demonstrem as unidades de processo e suas inter-relações (CHEHEBE, 2002);
- a função do sistema de produto: representa a definição clara das características de desempenho do produto a ser modelado. A função selecionada depende do objetivo e do escopo do estudo (CHEHEBE, 2002);
- unidade funcional: definida como o desempenho quantificado de um sistema de produto e tem como objetivo primário servir de unidade de referência do estudo, ou seja, todos os dados de entrada e saída do sistema são relacionados a esta unidade (COLTRO, 2007);
- fluxo de referência: medida para relacionar os aspectos ambientais de entrada e saída para cada um dos subsistemas compreendidos pelo sistema de produto em estudo (GALDIANO, 2006);



- a fronteira do sistema: os limites de um sistema determinam quais unidades de processo devem ser incluídas no estudo de uma ACV (CHEHEBE, 2002); Segundo Coltro (2007), são estabelecidas pelas dimensões: geográficas (delimitação da área do sistema estudado); temporais (perspectiva de tempo do estudo, isto é, passado, presente ou futuro); em relação aos sistemas naturais (especificação do início e do fim do sistema); de dentro do sistema técnico, relacionadas à produção (definição das atividades que constam no ciclo de vida do produto, determinando quais serão incluídas e excluídas do estudo); e de dentro do sistema, relacionadas com o ciclo produtivo de outros produtos (determinação de carga ambiental distribuída entre os vários coprodutos, quando um processo produtivo gera diversos produtos);
- procedimentos de alocação: convém a necessidade de procedimentos de alocação quando se tratar de sistemas que envolvem múltiplos produtos. Trata-se da repartição dos fluxos de entrada ou saída de um processo ou sistema de produto entre o sistema de produto em estudo e outro(s) sistema(s) de produto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a);
- requisitos de dados: tais dados podem ser coletados nos locais de produção associados aos processos elementares dentro da fronteira do sistema, ou podem ser obtidos e calculados a partir de outras fontes. Na prática, todos os dados podem incluir uma mistura de dados medidos, calculados ou estimados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009b);
- requisitos de qualidade de dados: os estudos de ACV, geralmente, geram grandes quantidades de dados e informações. Deste modo, é necessário definir as metas de qualidade de dados para assegurar que o estudo seja confiável. Os requisitos de qualidade de dados especificam as características estabelecidas dos dados necessários, que estejam de acordo com os objetivos e aplicações do estudo (SEIFFERT, 2011);
- metodologia de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) e tipos de impactos: definir quais categorias de impacto, indicadores das categorias e modelos de caracterização serão incluídos na ACV (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009b);
- interpretação a ser utilizada: consiste na identificação e análise dos resultados do estudo (CHEHEBE, 2002);

- tipo e formato do relatório requerido ao estudo: elaborado de forma a possibilitar a utilização dos resultados e sua interpretação de acordo com os objetivos do estudo (CHEHEBE, 2002);

- tipo de revisão crítica: Se aplicável, incluir um grupo de revisão crítica independente para garantir a credibilidade dos resultados (CHEHEBE, 2002);

- pressupostos e limitações.

A segunda fase, o inventário do ciclo de vida, envolve a reunião e quantificação dos dados de entrada e saída associados ao sistema em estudo. Esta fase envolve a coleta de dados necessários para o alcance dos objetivos do estudo em questão (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a).

A coleta de dados é um processo complexo e intensivo em recursos. Na medida em que os dados e informações para uma ACV sejam coletados, eventualmente pode-se perceber a necessidade da realização de ajustes em seu escopo ou nas especificações do estudo em virtude de limitações ou restrições não previstas (SEIFFERT, 2011).

Vigon e Jensen (1995) afirmam que não há um padrão em que os dados são coletados, processados e apresentados, o que potencialmente afeta os resultados do estudo. Por este motivo, os pesquisadores da ACV precisam ser cautelosos em tirar conclusões.

De acordo com Seiffert (2011), os procedimentos de cálculo são necessários para gerar o inventário de resultados aos fluxos de referência e para uma unidade funcional do sistema definido. A este processo são realizadas as seguintes etapas:

- preparação dos dados e cálculos dentro de cada subsistema;
- desenvolvimento da análise dos dados para identificar problemas, falhas, inconsistências até o momento não visualizadas;
- agregação dos dados oriundos de diferentes fontes, se necessário;
- estabelecimento da conexão entre os subsistemas para permitir a realização de cálculos para o sistema completo;
- compreensão do relacionamento entre unidades funcionais de cada sistema ao comparar sistemas de produtos ou serviços.

A terceira fase, AICV, é composta de informações adicionais aos resultados da avaliação do ICV, visando um melhor entendimento da relevância ambiental (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a).

O objetivo da avaliação do impacto do ciclo de vida é compreender e avaliar a magnitude e importância dos impactos ambientais baseados na análise do inventário. A metodologia de avaliação de impactos pode ser subdividida em: classificação, caracterização e valoração dos impactos ambientais do ciclo de vida. A classificação é um agrupamento e seleção de dados do inventário do ciclo de vida em categorias de impacto. A caracterização é a análise e quantificação do impacto em cada categoria selecionada. Um fator importante é o uso de dados físicos, químicos, biológicos e toxicológicos relevantes que descrevam os impactos potenciais. Por fim, a valoração pode envolver interpretação, ponderação e ordenação dos dados de análises de inventário, envolvendo o julgamento de valor, aos quais estará associado certo nível de subjetividade (SEIFFERT, 2011).

Segundo Chehebe (2002) as categorias de problemas ambientais normalmente utilizadas podem ser visualizadas no Quadro 2.2.

**Quadro 2.2 - Categorias de impacto ambiental**

<b>Categorias de impacto</b>	<b>Classificação e caracterização</b>
<b>Exaustão de recursos não renováveis (RNR)</b>	A extração de combustíveis fósseis ou minerais, minérios, etc. O RNR é a medida em relação à oferta global do recurso.
<b>Potencial Aquecimento global (PAG)</b>	Quantidades crescentes de dióxido de carbono CO <sub>2</sub> , óxido nitroso (N <sub>2</sub> O), metano (CH <sub>4</sub> ), aerossóis, como hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorcarbonetos (PFC), hexafluoreto de enxofre (SF <sub>6</sub> ), e outros gases na atmosfera terrestre estão conduzindo a uma absorção cada vez maior das radiações emitidas pela Terra e, conseqüentemente, a um aquecimento global. O PAG é expresso em kg de CO <sub>2</sub> -eq.
<b>Potencial de Redução da Camada de Ozônio (PRCO)</b>	A exaustão da camada de ozônio conduz a um crescimento na quantidade de raios ultravioletas que atingem a superfície da Terra, o que pode resultar no crescimento de doenças, danos a diversos tipos de materiais e interferências com o ecossistema. Em sua maioria, o CFC-11 é o composto de referência.
<b>Potencial de Toxicidade Humana (PTH)</b>	A exposição a substâncias tóxicas (através do ar, água ou solo, especialmente através da cadeia alimentar) causa problemas à saúde humana. O PTH é a medida como a massa do corpo humano que estaria exposta ao limite toxicologicamente aceitável por 1 kg de substância.
<b>Ecotoxicidade Aquática (ECA) e Terrestre (ECT)</b>	A flora e a fauna podem sofrer danos, algumas vezes até irreversíveis, causados por substâncias tóxicas. A ecotoxicidade é definida tanto para a água quanto para o solo, sendo a medida do volume de água e massa de solo que estariam poluídas a um nível crítico por 1 kg de substância, respectivamente.
<b>Potencial Acidificação (PA)</b>	A deposição ácida, resultante da emissão de óxidos de nitrogênio e enxofre (NO <sub>x</sub> e SO <sub>x</sub> , respectivamente) para a atmosfera, solo ou para a água pode conduzir a mudanças na acidez da água e do solo, com efeito tanto sobre a fauna quanto sobre a flora. O PA é expresso em kg de SO <sub>2</sub> -eq.
<b>Formação Oxidantes Fotoquímicos (FOF)</b>	Sob a influência dos raios ultravioletas, os óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> ) reagem com as substâncias orgânicas voláteis, produzindo oxidantes fotoquímicos que causam o nevoeiro. O FOF é expresso em kg de etileno (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ).
<b>Potencial de Nutrição (PN)</b>	A adição de nutrientes à água ou ao solo aumenta a produção de biomassa. Na água, isso conduz a uma redução na concentração de oxigênio, o que afeta outros organismos, como os peixes. Tanto no solo quanto na água a nutrição pode levar a alterações indesejáveis no número de espécies no ecossistema e portanto a problemas relativos à biodiversidade. O PN é expresso em kg de fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ).

Fonte: Chehebe (2002)

Por fim, a última fase abrange a interpretação do ciclo de vida, na qual os resultados da ICV e AICV são analisados como base para conclusões, recomendações e tomadas de decisões (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a).

Seiffert (2011) explica que as conclusões de um estudo de ACV respondem as metas definidas. Conclusões e interpretação da ACV podem ser apresentadas ao final tanto da fase de inventário como da fase de avaliação de impactos. A meta básica é organizar os resultados do estudo em informações compreensíveis e significativas para os tomadores de decisão, e tornar os métodos e os dados transparentes para o público.

## **2.2 Software para ACV**

Um inventário do ciclo vida exige a aquisição e a síntese de uma quantidade significativa de dados. Os dados vêm de muitas fontes diferentes, tais como: dados da empresa, proprietários, consultores, laboratórios e universidades, e bases de dados privadas. No entanto, não é incomum, a esses bancos de dados, a utilização de diferentes hipóteses sobre como modelar os dados, tais como quais unidades, fluxos de referência, ou períodos de tempo utilizados. O elemento-chave na criação de um ICV é a manutenção da transparência de como os dados foram apurados (modelado, estimado, calculado, etc, e os pressupostos subjacentes), de modo que o usuário final tenha a informação completa dos dados (CURRAN, 2004).

Em decorrência à expressiva quantidade de dados para o desenvolvimento do ICV, já existem bases de dados disponíveis em *softwares* de ACV ou publicamente, em sites específicos. De acordo com Curran (2004), o Quadro 2.3 mostra uma lista de software de ACV disponíveis no mercado.

O *Athena Impact Estimator for Buildings* permite que arquitetos, engenheiros e pesquisadores obtenham respostas para a ACV em implicações ambientais de edificações (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2013). É aplicável para novas construções, reformas e acréscimos em todos os tipos de construção norte-americana. Pode modelar mais de 1.200 combinações de montagem (ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE, 2013).

De acordo com United States Environmental Protection Agency (2013), o *software* BEES (*Building for Environmental and Economic Sustainability*) pode ser

usado para equilibrar o desempenho ambiental e econômico dos produtos de construção. O BEES é destinado a projetistas, construtores e fabricantes de produtos, em que inclui dados de desempenho ambientais e econômicos reais para 230 produtos de construção (NATIONAL INSTITUTE FOR STANDARDS AND TECHNOLOGY, 2013).

**Quadro 2.3 - Software para ACV**

<b>Softwares de ACV</b>	<b>Fomentador</b>	<b>Localização</b>
<b>Athena Impact Estimator for Buildings</b>	Athena Institute	Canadá
<b>BEES</b>	National Institute for Standards and Technology	Estados Unidos
<b>Boustead Model</b>	Boustead Consulting Ltd.	Reino Unido
<b>CMLCA</b>	Institute of Environmental Science (CML)	Holanda
<b>GaBi</b>	PE Europe & IKP	Alemanha
<b>KCL-ECO</b>	KCL	Finlândia
<b>LCAiT</b>	CIT Ekologik	Suécia
<b>SimaPro</b>	Pre Consultants	Holanda
<b>TEAM<sup>TM</sup></b>	Ecobilan	França
<b>Umberto</b>	Institute for Environmental Informatics	Alemanha

Fonte: Adaptada de Curran (2004)

O *Boustead Model* é uma ferramenta de modelagem computacional para cálculos de inventário de ciclo de vida (BOUSTEAD CONSULTING LTD, 2013). Segundo United States Environmental Protection Agency (2013), o *software* permite aos usuários manipular os dados no banco de dados e selecionar um adequado método de apresentação de dados a partir de uma série de opções.

De acordo com UNIVERSITEIT LEIDEN (2013), o CMLCA é uma abreviatura de Gestão da Cadeia de Avaliação do Ciclo de Vida. É uma ferramenta de *software* que se destina a apoiar as etapas técnicas do processo de ACV. O programa assume que o usuário está ciente dos princípios básicos da ACV, pois dispõe de pequeno manual e uma facilidade de ajuda limitada.

O GaBi é um programa que apoia aplicações de negócios, como: o desenvolvimento de produtos que atendam às normas ambientais; redução do uso de material, energia e recursos da maneira mais rentável; desenvolvimento de produtos com pegadas ambientais menores, como menos emissões de gases de efeito estufa, redução do consumo de água e resíduos; melhora a eficiência das cadeias de valor (GABI, 2013).

De acordo com United States Environmental Protection Agency (2013), o GaBi possui versões diferentes, a educacional e para o uso profissional da ACV, afim de avaliar o ciclo de vida ambiental, custo e perfis sociais de produtos, processos e tecnologias. O *software* dispõe de um abrangente banco de dados com cobertura mundial.

O KCL é um programa a ser utilizado para aplicar ACV em sistemas complicados com diversos módulos e fluxos. Inclui alocação, avaliação de impacto (caracterização, normalização e ponderação), e recursos gráficos. (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2013). O *software* tem sido utilizado, por exemplo, para construir um modelo para os fluxos de fibras de madeira na produção de papel e cartão na Europa Ocidental, que compreende um sistema de 660 módulos, 1900 fluxos e 7200 equações lineares que descrevem o sistema (EUROPEAN COMMISSION, 2013).

O LCAiT tem sido utilizado para a avaliação ambiental de produtos e processos. Obtém um banco de dados de avaliação de impacto, incluindo fatores de caracterização e de ponderação (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2013).

Segundo Carvalho (2008b) o SimaPro é uma ferramenta comercial de ACV que permite recolher, analisar e monitorizar o desempenho ambiental de produtos e serviços. O usuário pode modelar e analisar ciclos de vida complexos de produtos e serviços, de forma sistemática e transparente.

O *software* SimaPro é totalmente integrado com a base de dados *Ecoinvent*, muito referenciada em estudos de ACV, e é utilizado para uma variedade de aplicações, como: cálculo da pegada de carbono; design do produto e eco-design; declarações ambientais de produtos; impacto ambiental de produtos ou serviços; relatórios ambientais; determinação de indicadores de desempenho (PRE-SUSTAINABILITY, 2013).

O TEAM<sup>TM</sup> é uma ferramenta profissional para avaliar perfis de ciclo ambientais e de custo de vida de produtos e tecnologias. Contém amplo banco de dados, cerca de 600 módulos, com cobertura mundial (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2013). Permite ao usuário criar e usar um grande banco de dados, para modelar qualquer sistema representando as operações associadas a produtos, processos e atividades, e para calcular os inventários de ciclo de vida associados e potenciais impactos ambientais, em conformidade com a série de

normas ISO 14040. Além disso, permite executar simulações e comparação de cenários através da definição de variáveis (EUROPEAN COMMISSION, 2013).

Umberto é um *software* utilizado para visualizar sistemas de fluxo de materiais e energéticos (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2013). Pode ser aplicado em vários projetos, como: avaliar produtos e processos em critérios econômicos, ecológicos e sociais; modelar processos de produção, materiais e fluxos de energia ou pegadas de carbono; visualizar os processos e as avaliações do ciclo de vida com diagramas ilustrativos; otimizar os custos, o consumo de recursos e seu desempenho ambiental (UMBERTO SOFTWARE, 2013).

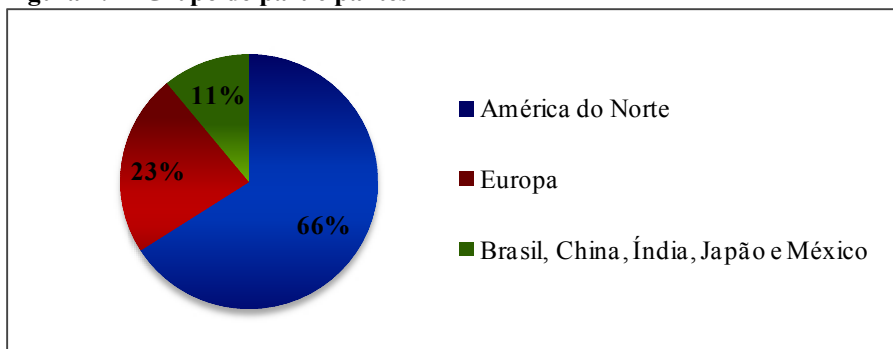
### 2.3 Estudos de ACV e ICV

Segundo Baitz et al. (2012), a aplicação da ACV na prática deve cumprir três critérios básicos: ser confiável, a fim de garantir a credibilidade das informações e resultados gerados; deve estar adequada às rotinas e práticas de informação existentes nas empresas para assegurar a aplicabilidade e; deve fornecer informações quantitativas e relevantes para informar os tomadores de decisão.

No trabalho de Cooper e Fava (2006) foi realizada uma pesquisa na *internet (web survey)*, de caráter informal, para investigar como a ACV está sendo estudada, baseando-se em como os resultados estão sendo utilizados, quais benefícios têm sido encontrados com o uso da técnica, e quais as barreiras para o aumento da aplicação da ACV. Os resultados foram relatados e avaliados, de acordo com o perfil dos participantes.

Participaram da pesquisa 65 pesquisadores da técnica ACV dos quais 66% eram da América do Norte, 23% da Europa, e os 11% restantes do Brasil, China, Índia, Japão e México, como mostra a Figura 2.4.

**Figura 2.4 - Grupo de participantes**

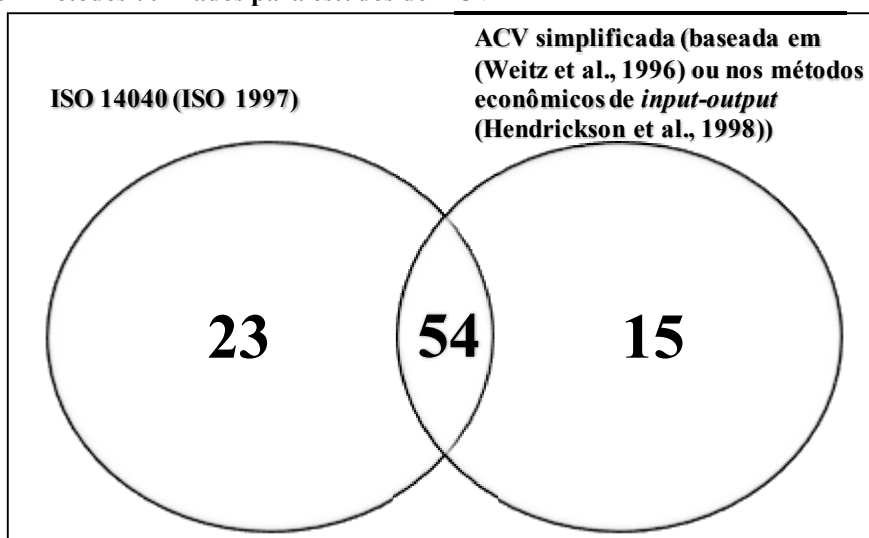


Fonte: Elaborada pela autora, baseado em Cooper e Fava (2006)

O grupo de entrevistados pertencem às organizações em: 47% correspondentes à produção de materiais (fabricação/construção), 20% compostos pela academia, consultoria e governo (ambos com 11%), 6% organizações não governamentais, e outros com 5%.

De acordo com a pesquisa de Cooper e Fava (2006), estudos de ACV têm sido realizados de acordo com dois métodos. Como ilustrado na Figura 2.5, 77% dos praticantes da ACV utilizam as recomendações da norma ISO 14040, e 69% a ACV simplificada, baseada em (Weitz et al., 1996) ou nos métodos econômicos de *input-output* (Hendrickson et al., 1998). Além disso, 54% dos entrevistados fazem uso de ambos os métodos, 23% utilizam somente a norma ISO 14040 e 15% somente a ACV simplificada como método para estudos desta técnica.

**Figura 2.5 - Métodos utilizados para estudos de ACV**



Fonte: Elaborada pela autora, baseado em Cooper e Fava (2006)

Weitz et al. (1996) explicam que a ACV simplificada é uma parte do processo de definição da meta e escopo da ACV. A meta é reduzir o tempo e custo de execução, a serem balanceados em oposição à manutenção da utilidade dos resultados.

Por outro lado, Hendrickson et al. (1998) explicam que a utilização de métodos econômicos de *input-output* em ACV significa que a mesma é baseada em uma técnica econômica que medi os impactos diretos e indiretos sobre a economia entre ramos de atividades de uma região. Este método para um estudo de ACV busca descrever os efeitos ambientais de cada ramo de atividade por unidade de produção total do mesmo ramo.



Na pesquisa Cooper e Fava (2006) a ACV foi considerada como uma boa técnica para analisar os impactos ambientais de produtos, de forma quantitativa para estimar os recursos do ciclo de vida e dos encargos, e uma maneira de quantificar alternativas em sistemas de produtos. Além disso, esta técnica agrega valor ao produto, ao fornecer informações adicionais para equipes de projeto e desenvolvimento de produto, além de fornecer informações ambientais para os clientes.

Por outro lado, foram encontradas como dificuldades para o aumento da utilização da ACV o tempo e recursos disponíveis para a coleta de dados, a complexidade da metodologia de um estudo ACV, e a falta de clareza quanto aos benefícios relativos, em comparação com os custos de realização dos estudos.

A partir destes resultados, Cooper e Fava (2006) sugeriram um maior desenvolvimento e financiamento dos bancos de dados de inventário do ciclo de vida, incluindo uma abordagem/modelo padrão de coleta de dados.

Vigon e Jensen (1995) também já haviam afirmado, anos atrás, a necessidade do desenvolvimento de ferramentas mais sistemáticas para avaliar a qualidade dos dados em estudos de ACV, em consonância com o objetivo do estudo.

A proposta do trabalho de Baitz et al. (2012) é melhorar a cooperação no uso da ACV na teoria e na prática. Para isto, os autores listam dez aspectos fundamentais para definir o cenário:

1. Indústria precisa entender novos métodos científicos e as universidades precisam entender os limites práticos que existem, onde serão aplicados esses novos métodos. A indústria necessita de métodos abrangentes, bem aceitos, consistentes e com alta credibilidade para implementar a ACV em processos de negócios e de comunicação, enquanto a academia precisa da indústria para aplicar suas novas descobertas.

2. A maioria dos trabalhos de ACV publicados foi desenvolvida no meio acadêmico. A maioria dos trabalhos realizados, compilados e colocados em prática pela indústria não foram publicados devido às implicações comerciais.

3. A existência da troca de informações detalhadas da cadeia de suprimentos em ambientes B2B "*business to business*" suporta aplicações da ACV nos negócios.

4. Os novos praticantes da ACV devem estar cientes de que o B2B "*business to business*", B2C "*business to customer*", B2G "*business to government*" e redes acadêmicas existem, embora com objetivos diferentes, e deve compreender as

semelhanças e diferenças entre essas redes, a fim de estabelecer ligações entre os diferentes grupos.

5. O principal objetivo da ACV no negócio é para aprimorar os produtos e processos; isso depende de uma base científica de métodos aplicável e consistente.

6. O principal objetivo da ACV na academia é aprimorar os métodos; isso depende de aplicação em estudos de caso, como a validação de sua aplicação prática.

7. Troca de informações da cadeia de valor e do B2B "*business to business*" é essencial para o trabalho de ACV.

8. As informações da ACV usadas para a comunicação com os clientes (muitas vezes não especialistas da técnica) devem ser claras e compreensíveis.

9. Praticante de ACV deve reconhecer as distinções entre "ciência mais recente" e "boas práticas".

10. Prática profissional exige dados que refletem a realidade técnica e, portanto, adequados para várias aplicações de sustentabilidade (ACV, EPD "*Environmental Product Declaration*" - Declaração ambiental do produto, avaliações de sustentabilidade, as abordagens "*footprinting*", pegadas ecológicas, industrial, de carbono, etc).

Nas últimas duas décadas, a percepção era principalmente que a prática deve aprender com a teoria e aplicar novos aspectos de forma tão eficiente e tão rapidamente quanto possível. Atualmente, esta visão vem se modificando, na qual tanto a academia quanto a indústria contribui para o desenvolvimento da técnica ACV, devido a forte ciência empregada e aplicações bem-sucedidas em negócios, respectivamente (BAITZ et al., 2012).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009a), em alguns casos, o objetivo da ACV pode ser alcançado através da realização da análise de inventário e de uma interpretação. Esse procedimento é usualmente denominado estudo de ICV. Estudos de ICV são semelhantes aos de ACV, mas excluem a fase da avaliação de impacto ambiental. Além disso, não podem ser confundidos com a fase de inventário de um estudo de ACV.

### 2.3.1 Estudos no Brasil

Avaliação do Ciclo de Vida, cujas origens remontam à década de 1960, encontra-se difundida em muitos países, com estudos diversos, os quais têm contribuído para a consolidação desta técnica em todo o mundo. Já é possível perceber a estruturação e organização envolvendo o tema ACV no Brasil. O país oferece um vasto campo de oportunidades para aplicação da técnica, seja em setores da indústria e agroindústria, seja na área acadêmica, cujos objetivos estão voltados para o desenvolvimento de estudos e pesquisas visando à identificação de problemas na área ambiental (WILLERS, RODRIGUES, SILVA, 2012).

O estudo de Silva e Kulay (2005) aplicou a ACV para realizar a comparação de desempenho ambiental entre fertilizantes fosfatados, fosfato de magnésio fundido (FMP) e superfosfato triplo (TSP). Para isto, foi utilizada a abordagem "*cradle to gate*", ou seja, "berço ao portão", aos sistemas de produtos, e definida a unidade funcional de 41,66 kg de  $P_2O_5$ , o que corresponde a 208 kg de FMP (20% de  $P_2O_5$ ) e 93 kg de TSP (45% de  $P_2O_5$ ). As categorias de impacto escolhidas para a AICV foram: Potencial de Aquecimento Global (PAG); Potencial de Redução da Camada de Ozônio (PRCO); Potencial de Toxicidade Humana (PTH); Ecotoxicidade Aquática (ECA); Potencial de Acidificação (PA); Potencial de Eutrofização (PE). Para tal, utilizou-se o método CML 2 (2000), com a ajuda do *software* SimaPro 5. Os resultados destas categorias de impacto estão descritos na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1 - Perfis ambientais da fabricação de FMP e TSP**

<b>Categorias de impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>FMP (20% <math>P_2O_5</math>)</b>	<b>TSP (45% <math>P_2O_5</math>)</b>
<b>Potencial Aquecimento global (PAG)</b>	kg $CO_2$ eq.	160	46
<b>Potencial de Redução da Camada de Ozônio (PRCO)</b>	kg CFC-11 eq.	$9.87 \times 10^{-6}$	$5.79 \times 10^{-6}$
<b>Potencial Toxicidade humana (PTH)</b>	kg 1,4-diclorobenzeno eq.	11.1	6.2
<b>Ecotoxicidade Aquática (ECA)</b>	kg 1,4-diclorobenzeno eq.	0.93	0.31
<b>Potencial de Acidificação (PA)</b>	kg $SO_2$ eq.	0.20	0.33
<b>Potencial de Eutrofização (PE)</b>	kg $PO_4^{3-}$ eq.	0.12	0.98

Fonte: Silva e Kulay (2005)

Os resultados mostram que para o PAG a produção de 208 kg de FMP gera 160 kg de CO<sub>2</sub> eq. e 93 kg de TSP gera 46 kg de CO<sub>2</sub> eq. De acordo com Silva e Kulay (2005), o resultado para o FMP foi destacado devido à queima de combustíveis fósseis em usinas termelétricas brasileiras, já para o TSP pela queima de combustíveis fósseis no transporte do concentrado de fosfato entre as unidades de processamento de minérios e as plantas de fertilizantes.

Em relação ao PRCO, o FMP gera  $9.87 \times 10^{-6}$  kg CFC-11 eq. e o TSP,  $5.79 \times 10^{-6}$  kg. Para o PTH, a geração de 11.1 kg 1,4-diclorobenzeno (DB) eq. pode estar associada com as emissões atmosféricas de Ni, As e V e as perdas líquidas PAH quantificadas no estudo. Já a geração de 6.2 kg 1,4- DB eq. pode estar relacionada especialmente com as emissões atmosféricas As, PAH e C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>. Para a ECA, a geração de 0.93 kg 1,4- DB eq. do FMP e 0.31 kg 1,4- DB eq. do TSP é justificada pelas emissões de gases.

A produção de FMP e TSP impacta o meio ambiente, em termos de PA, por meio de emissões atmosféricas de SO<sub>2</sub>. Por fim, a fabricação FMP mostrou que as perdas de fosfato durante a fabricação real do produto é o principal impacto em termos de PE. O potencial de eutrofização do sistema produto TSP também é devido à contaminação dos cursos de água, principalmente no subsolo, por fósforo (SILVA e KULAY, 2005).

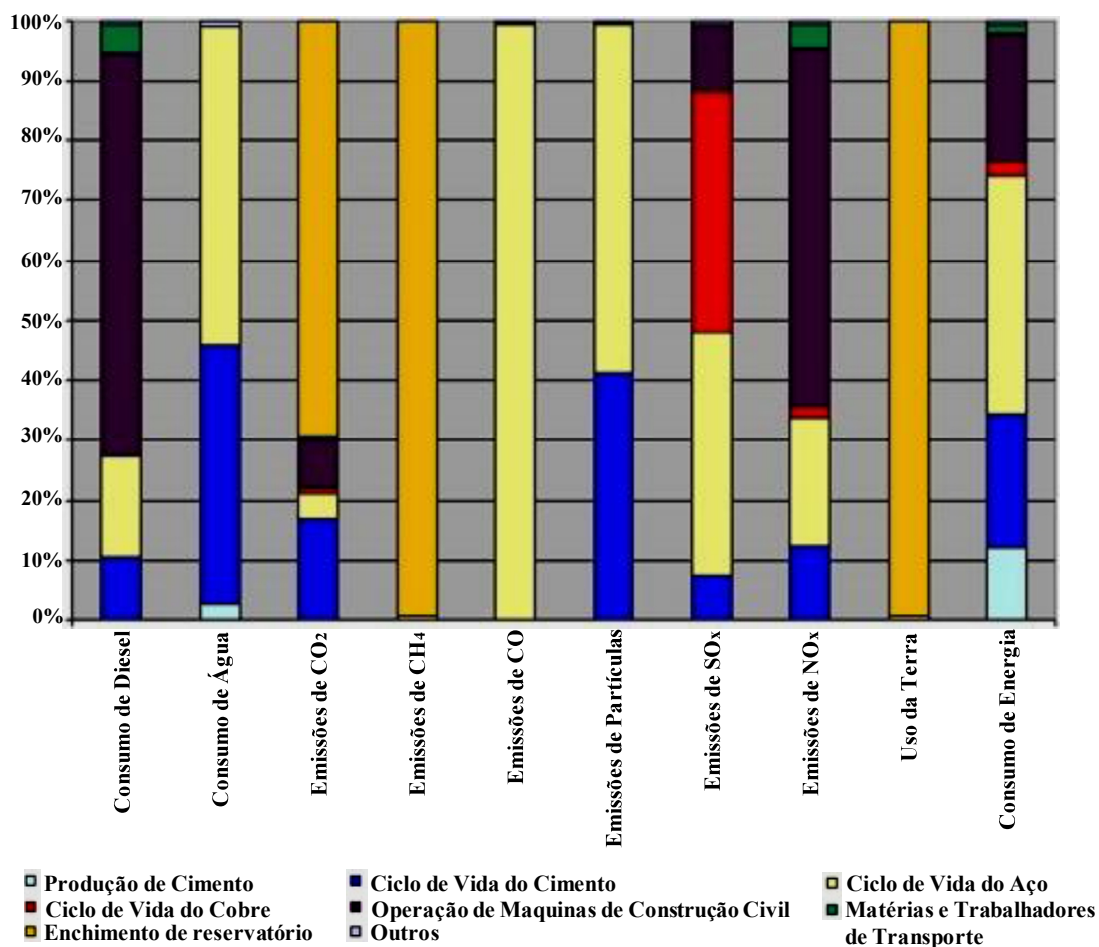
Ao se tratar de estudo de ICV, Ribeiro e Silva (2010) desenvolveram um ICV da usina hidrelétrica de Itaipu, a maior usina hidrelétrica do mundo, responsável pela produção de 23,8% do consumo de eletricidade do Brasil. Focando nos investimentos de capital para construção e operação da barragem, o inventário foi elaborado para ser utilizado como um banco de dados para as ACVs da produção de hidroeletricidade brasileira.

Como resultado, além do inventário apresentado no estudo, foi possível determinar pontos críticos de impacto ambiental (*hotspots*), como mostra a Figura 2.6, em que relaciona os encargos ambientais mais relevantes dos principais processos avaliados.

De acordo com Ribeiro e Silva (2010), para o enchimento do reservatório, foram os encontrados *hotspots* (emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, além do uso da terra); ao ciclo de vida do aço: água e consumo de energia, CO, particulados, emissões SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>, ao ciclo de vida do cimento: consumo de água e energia, CO<sub>2</sub> e as emissões

de partículas e para a operação de máquinas de construção civil: consumo de diesel, e emissões de NO<sub>x</sub>.

Figura 2.6 - Hotspots identificados para o ciclo de vida da usina hidrelétrica de Itaipu



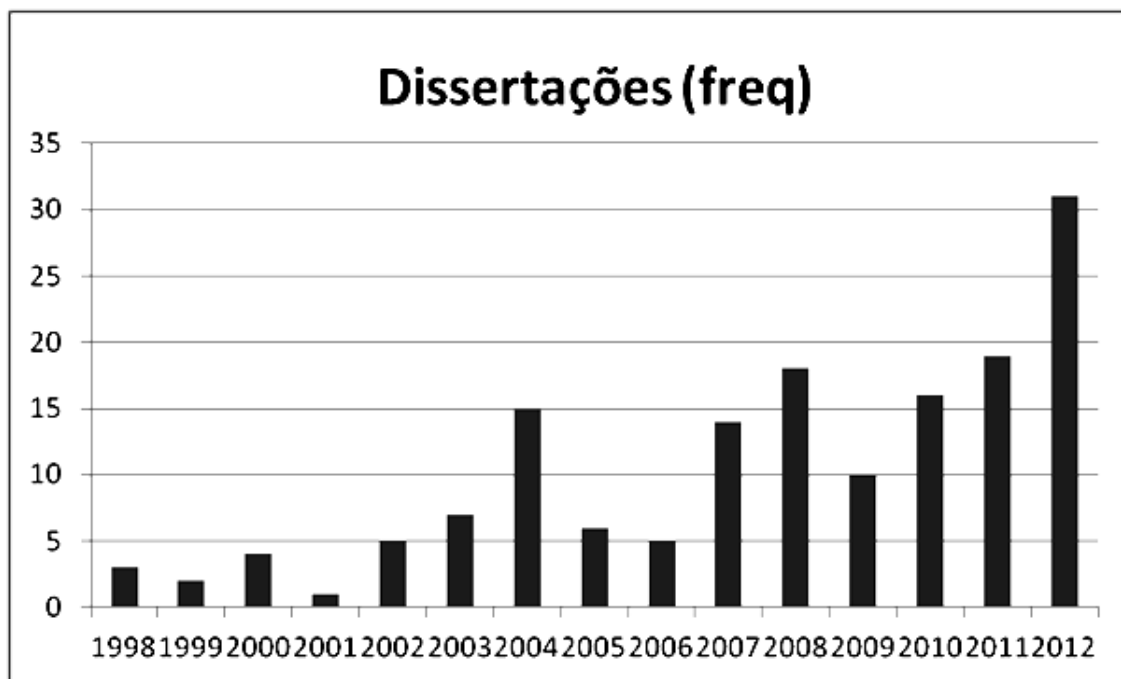
Fonte: Ribeiro e Silva (2010)

A partir de uma busca realizada na base de dados da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) foi possível observar a abrangência da técnica ACV na área acadêmica brasileira. A análise foi realizada em trabalhos de pós-graduação de caráter *stricto sensu*, ou seja, a abordagem do tema em dissertações e teses.

Para a busca foram selecionadas as palavras-chave "avaliação do ciclo de vida" e "análise do ciclo de vida". Justifica-se a escolha dessas duas palavras-chaves devido o tema abordado ser nomeado das duas maneiras. Foi realizado um refinamento dos trabalhos, a fim de descartar os que poderiam aparecer em duplicidade, decorrente a busca por duas palavras-chave, e também exclui aqueles que não tratam da técnica ACV.

Com isso, foram encontradas 156 dissertações realizadas entre 1998 e 2012. A distribuição dessas dissertações pode ser analisada pela Figura 2.7.

Figura 2.7 - Frequência de dissertações



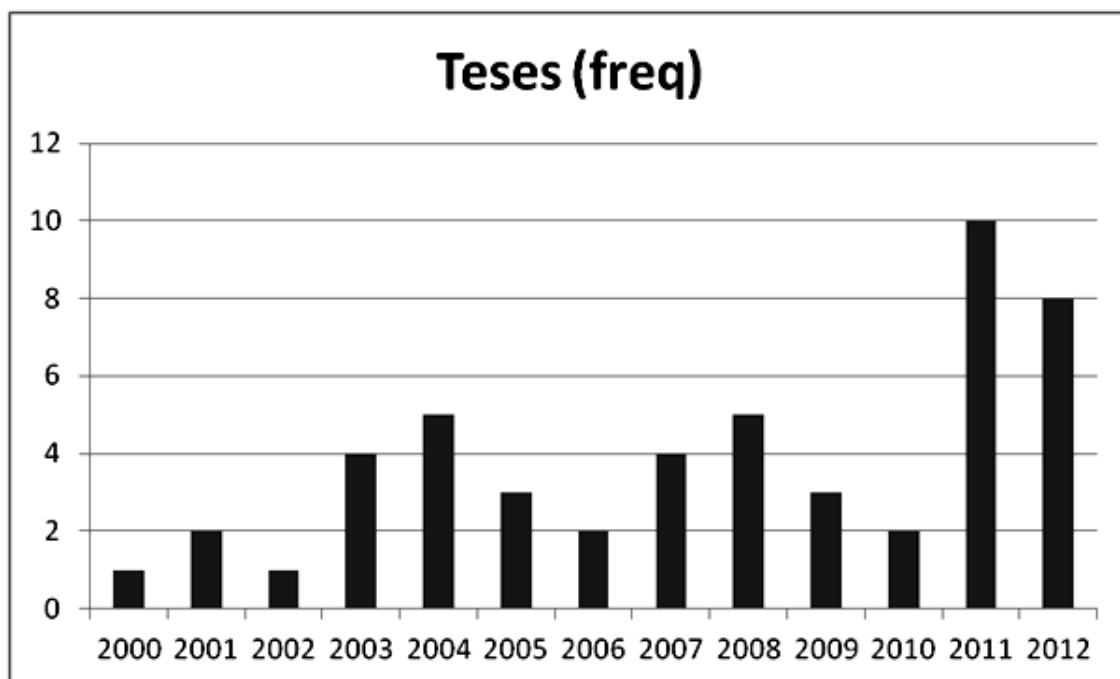
Fonte: Elaborada pela autora

O Figura 2.7 demonstra, que mesmo ocorrendo oscilações entre a publicação das dissertações, há uma crescente ao longo dos anos, sendo só no ano de 2012 foram realizadas 31 dissertações. A lista de dissertações com seus respectivos anos de realização pode ser observada no Apêndice I.

Em relação às teses, foi encontrado um total de 50, realizadas entre o ano 2000 e 2012. Conforme o Figura 2.8, também é possível observar oscilações, e mesmo assim, uma crescente principalmente nos últimos anos. Em 2011 foram publicadas 10 teses e 8 no ano de 2012. A lista de teses com seus respectivos anos de publicação pode também ser observada no Apêndice II.

No trabalho de Silva (2012), foi realizada a aplicação da ACV na produção de painel MDP (*Medium Density Particleboard*), com o intuito de analisar o ciclo de vida produtivo do painel, com abrangência "*cradle to gate*", ou seja, do "berço ao portão da fábrica". Seguindo as instruções das normas ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006), e o auxílio do *software* GaBi, foi observado que duas das matérias-primas utilizadas na cadeia produtivo do MDP são os principais *hotspots* e que as categorias de impactos mais relevantes é a respeito da eutrofização e ecotoxicidade.

Figura 2.8 - Frequência de teses



Fonte: Elaborada pela autora

Destas listas, os trabalhos acadêmicos do Quadro 2.4 se destacaram, pois possuem informações que se relacionam com o presente estudo. Essas informações retratam a realidade brasileira à cada produto estudado nesses estudos.

Quadro 2.4 - Trabalhos acadêmicos em destaque

Trabalhos acadêmicos	Informações relevantes
VIANNA, F. C. <b>Análise de ecoeficiência: avaliação do desempenho econômico-ambiental do biodiesel e petrodiesel.</b> 2006.	O trabalho apresenta uma análise de ecoeficiência para comparar o desempenho econômico-ambiental do biodiesel e do petrodiesel. Para isto, utiliza como indicador ambiental o ICV de cada um dos dois produtos. Para o petrodiesel estão contidos os ICVs de extração do petróleo nacional e importado; transporte marítimo do petróleo importado; e refino do petróleo.
FENDRICH, M. <b>Inventário do ciclo de vida de uma empresa fabricante de polipropileno: estudo de caso.</b> 2008.	O estudo apresenta o ICV do PP utilizando como fronteira do sistema o processo produtivo da resina de PP.
VIANA, M. M. <b>Inventário do ciclo de vida do biodiesel etílico do óleo de girassol.</b> 2008.	Neste trabalho, é desenvolvido os ICVs da nafta e dos transportes marítimo e rodoviário por estarem interligados aos principais subsistemas do ICV em estudo.
RIBEIRO, P. H. <b>Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados.</b> 2009.	O estudo apresenta o ICV da nafta e do propeno para compor o ICV do fertilizante sulfato de amônio.

Fonte: Elaborada pela autora

No Brasil, existem também outras diretrizes que abordam a Avaliação do Ciclo de Vida. A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é o órgão responsável pela normalização técnica do Brasil, a qual fornece a base necessária ao desenvolvimento tecnológico do país. Atualmente existem duas normas em vigor a respeito da técnica ACV, a NBR ISO 14040:2009 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura e a NBR ISO 14044:2009 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Ambas são traduções das normas ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006), respectivamente.

A ABNT é uma entidade privada, sem fins lucrativos, sendo a representante oficial no Brasil das seguintes entidades internacionais: ISO - *International Organization for Standardization*, IEC - *International Electrotechnical Commission*; e das entidades de normalização regional COPANT - Comissão Panamericana de Normas Técnicas e a AMN - Associação Mercosul de Normalização (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

A ABCV (Associação Brasileira de Ciclo de Vida) é uma sociedade civil nacional, sem fins lucrativos, que contribui para a expansão e consolidação do tema no território brasileiro.

Na página digital da ABCV é possível encontrar maiores informações a respeito da associação e da técnica ACV, como sua definição, história, aplicações e notícias gerais, como congressos, workshop, além de reunir trabalhos de teses, dissertações, artigos e em outros tipos de documentos ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CICLO DE VIDA (2013).

O IBICT (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia) também é um meio que divulga a Avaliação de Ciclo de Vida no Brasil. O instituto criou a Comunidade ACV, a qual suas informações podem ser encontradas na página digital (INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2013).

O *website* abrange diversas informações a respeito da técnica, como conceito, histórico, as fases, além de explicar o porquê de utilizá-la, o uso nas empresas e governos. Dedicar também um espaço para expor em quais normalizações a ACV está inserida, tanto na série ISO (*International Organization for Standardization*) quanto na ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Encontra-se ainda informações sobre eventos, casos de sucesso, publicações e notícias relevantes ao tema.



No Brasil, foi criado um congresso específico sobre a análise do ciclo de vida, o CBGCV (Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços). É um evento bienal que proporciona um intercâmbio de conhecimento entre pesquisadores, instituições públicas e diversos segmentos industriais, a fim de fortalecer a técnica ACV no Brasil.

O primeiro evento ocorreu em Curitiba (PR) nos dias 29, 30 e 31 de outubro de 2008. O segundo foi realizado na cidade de Florianópolis (SC) nos dias 24 a 26 de Novembro de 2010 com o tema "Colaborando com decisões sustentáveis". O terceiro congresso aconteceu em Maringá nos dias 03 a 06 de setembro de 2012 e teve como tema "Novos Desafios para um Planeta Sustentável" (CONGRESSO, 2013). O quarto e último, até o momento, ocorreu em São Bernardo do Campo entre os dias 09 e 12 de novembro de 2014, no qual promoveu debates sobre o pensamento do ciclo de vida, estimulando padrões de produção e consumo ecologicamente sustentáveis e socialmente justos. O congresso reúne apresentações de trabalhos técnicos, além de mesas-redondas, palestras e mini-cursos. As áreas temáticas podem ser observadas no Quadro 2.5.

**Quadro 2.5 - Áreas temáticas do CBGCV**

<b>Áreas Temáticas</b>	
<b>Gestão ambiental</b>	Energias Alternativas
<b>Rotulagem ambiental</b>	Agroindústria e Florestas
<b>ICV (Avaliação de Inventário de Ciclo de Vida)</b>	Biocombustíveis
<b>Design for sustainability</b>	Pegada de carbono
<b>Aplicações (Estudos de caso, metodologia)</b>	Pegada hídrica
<b>Avaliação de impacto</b>	Green Supply Chain Management

Fonte: CONGRESSO (2013)

## **2.4 ACV para materiais poliméricos**

A ACV tem sido uma técnica utilizada para análise de diversos segmentos de produtos a fim de estudar seu ciclo de vida, iniciando desde a extração de matéria-prima até a disposição final.

Deste modo, propõem-se organizar os trabalhos acadêmicos por área de pesquisa e identificar os trabalhos e autores mais citados que aplicaram a ACV em materiais poliméricos, utilizando uma análise bibliométrica.

### 2.4.2 Análise bibliométrica

Segundo Araújo (2007) a bibliometria surge no século XX como sintoma da necessidade do estudo e da avaliação das atividades de produção e comunicação científica. Para Fonseca (1986) a bibliometria é uma técnica quantitativa e estatística de medição dos índices de produção e disseminação do conhecimento científico.

O termo "bibliometria" foi criado por Paul Otlet em 1934 no seu "*Traité de Documentation*" (FONSECA, 1986). Porém, segundo Vanti (2002) o uso da palavra "bibliometria" foi popularizado por Alan Pritchard em 1969 quando sugeriu que esta deveria substituir o termo "bibliografia estatística", que vinha sendo utilizado desde a menção feita em 1922 por Edward Wyndham Hulme em uma conferência na Universidade de Cambridge. Para Pritchard (1969) o termo "bibliografia estatística" é inapropriado, não é muito descritivo, e pode ser confundido com estatísticas em si ou bibliografias sobre estatísticas. Desta forma, Pritchard (1969) descreve bibliometria como a aplicação da matemática e métodos estatísticos para livros e outros meios de comunicação, ou seja, que busca quantificar os processos da comunicação escrita.

Para a realização da análise bibliométrica neste trabalho foi utilizado o *software* CiteSpace, um programa gratuito desenvolvido por Chaomei Chen da Universidade de Drexel. De acordo com Chen (2004), CiteSpace é uma aplicação Java para análise e visualização de redes de co-citação. Para Pinto e Barquín (2005) tem a finalidade de visualizar a evolução de uma rede através de um número de intervalos de tempo, representando seus nós e suas frequências.

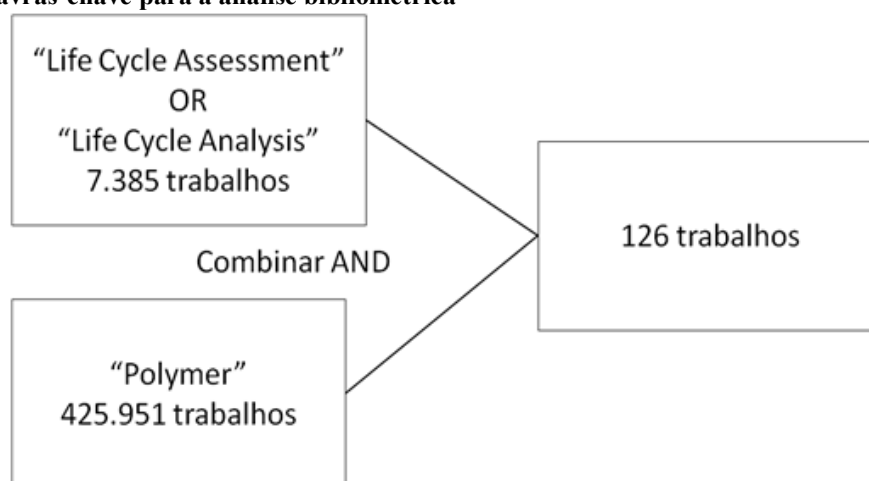
O CiteSpace representa a literatura científica por meio de uma rede sintetizada a partir de uma série de redes individuais. Cada rede individual é construída a partir de artigos publicados em intervalo de tempo estabelecido, conhecida como uma fatia de tempo. O CiteSpace integra essas redes individuais e forma uma visão geral de como um campo científico vem evoluindo ao longo do tempo. Cada artigo publicado normalmente cita uma série de referências. Estas referências são representados como nós de uma rede de co-citação. A conectividade entre os nós de tais referências representa quantas vezes eles são citados pelos mesmos artigos. (CHEN et al., 2012).

A entrada para o CiteSpace é um conjunto de arquivos de dados bibliográficos (CHEN, 2004). A principal fonte de dados de entrada é a *Web of Science*, uma coleção multidisciplinar de periódicos que está inserida na ISI (*Institute for Scientific Information*) *Web of Knowledge*, uma plataforma virtual para acesso e

pesquisa de informação científica e acadêmica. A *Web of Science* fornece aos pesquisadores, profissionais, estudantes, universidades e instituições de pesquisa o acesso rápido e fácil para bancos de dados altamente citadas em todo o mundo, abrangendo mais de 12 mil periódicos de alto impacto. Os periódicos encontrados podem ser correntes ou retrospectivos em ciências, ciências sociais, artes e humanidades, com cobertura desde 1900 (THOMSON REUTERS, 2013).

A realização da análise bibliométrica iniciou-se com a escolha das palavras-chave utilizadas para a pesquisa na *Web of Science*. Foram escolhidas as palavras "*Life Cycle Assessment*", "*Life Cycle Analysis*" e "*Polymer*". Os resultados obtidos com a busca foram combinados, conforme Figura 2.9, totalizando em 126 trabalhos.

**Figura 2.9 - Palavras-chave para a análise bibliométrica**



Fonte: Elaborada pela autora

Foi estabelecido o intervalo de tempo entre 1990-2013 para a busca dos trabalhos, pois conforme Azapagic (1999), a ACV tem recebido maior atenção e desenvolvimento metodológico somente no início da década de 1990, quando sua relevância como um auxílio na tomada de decisão de gestão ambiental, tanto corporativa e pública se tornou mais evidente.

Optou-se pela combinação "OR" entre as palavras-chave "*Life Cycle Assessment*" e "*Life Cycle Analysis*" e "*LCA*" para unir todos os resultados que estão relacionados ao tema. Com o resultado dessa interação, foi realizada a combinação "AND" com a palavra-chave "*Polymer*", a fim de encontrar somente os trabalhos que tratam da aplicação da ACV em polímeros. Após as combinações, foi feito um refinamento dos trabalhos a fim de excluir aqueles que não estariam dentro do tema de pesquisa. Deste modo, foram realizados três refinamentos:

1- Escolha das categorias da *Web of Science*, disponibilizadas no *ISI Web of Knowledge*. Nesta pesquisa foram mantidas as categorias "environmental sciences", "engineering environmental", "energy fuels", "engineering chemical", "engineering manufacturing", "materials science multidisciplinary", "polymer science", "materials science composites". Com o refinamento 110 trabalhos foram mantidos.

2- Escolha do tipo de documento, optando somente por "article", resultando em 89 trabalhos.

3- Exclusão de trabalhos da análise bibliométrica. Os trabalhos excluídos podem ser visualizados no Quadro 2.6.

**Quadro 2.6 - Trabalhos excluídos da análise bibliométrica**

<b>Trabalhos</b>	<b>Justificativa</b>
KÖHLER, A. R. et al. Studying the potential release of carbon nanotubes throughout the application life cycle. <b>Journal of Cleaner Production</b> , v. 16, n. 8, p. 927-937, 2008.	O artigo não trata da aplicação da ACV para materiais poliméricos.
HUDA, M. S. et al. The effect of silane treated-and untreated-talc on the mechanical and physico-mechanical properties of poly (lactic acid)/newspaper fibers/talc hybrid composites. <b>Composites Part B: Engineering</b> , v. 38, n. 3, p. 367-379, 2007.	O artigo não realiza a aplicação da ACV. O termo é encontrado somente no capítulo de referências como título de trabalhos utilizados para referenciar outros assuntos do artigo.
BOGGS, B. K.; BOTTE, G. G. On-board hydrogen storage and production: An application of ammonia electrolysis. <b>Journal of Power Sources</b> , v. 192, n. 2, p. 573-581, 2009.	O artigo não trata da aplicação da ACV para materiais poliméricos.
BOURMAUD, A.; BALEY, C. Rigidity analysis of polypropylene/vegetal fibre composites after recycling. <b>Polymer Degradation and Stability</b> , v. 94, n. 3, p. 297-305, 2009.	O artigo não faz o uso da técnica ACV para o desenvolvimento do estudo, utiliza como citação de outros trabalhos que aplicaram a técnica em polímero/compósitos de fibra natural.
KALE, G.; AURAS, R.; SINGH, S. P. Comparison of the degradability of poly (lactide) packages in composting and ambient exposure conditions. <b>Packaging Technology and Science</b> , v. 20, n. 1, p. 49-70, 2007.	O artigo não faz o uso da técnica ACV para o desenvolvimento do estudo, utiliza como citação de outros trabalhos que aplicaram a técnica para comparar a eficiência energética dos polímeros PLA (Polilactato), PP (Polipropileno) e PS (Poliestireno).
BARBOZA, E. S. et al. Determination of a recyclability index for the PET glycolysis. <b>Resources, Conservation and Recycling</b> , v. 53, n. 3, p. 122-128, 2009.	O artigo não realiza a aplicação da ACV. Utiliza como citação de outros trabalhos que aplicaram a técnica para referenciar outros assuntos do artigo.
ZHANG, HC. et al. Investigation of a multiple trigger active disassembly element. <b>CIRP Annals-Manufacturing Technology</b> , v. 61, n. 1, p. 27-30, 2012.	O artigo não realiza a aplicação da ACV. Utiliza como citação de outro trabalho que aplicou a técnica para referenciar outros assuntos do artigo.

Fonte: Elaborada pela autora

Foram excluídos aqueles que, de certa maneira, não aplicam a ACV em materiais poliméricos. Para tanto, foi lido o *abstract*, e quando necessário, o restante do artigo, com foco principal na metodologia. Com este refinamento foram mantidos 82 trabalhos.

Após os refinamentos, foi possível organizar os trabalhos acadêmicos em áreas de pesquisa. A Tabela 2.2 mostra a quantidade de artigos nas principais áreas de conhecimento ao tema abordado.

**Tabela 2.2 - Quantidade de trabalhos nas áreas de pesquisa**

Áreas de pesquisa	Número de trabalhos	% de (82)
<b>Engineering</b>	51	62,195 %
<b>Environmental Sciences Ecology</b>	37	45,122 %
<b>Materials Science</b>	19	23,171 %
<b>Energy Fuels</b>	17	20,732 %
<b>Polymer Science</b>	17	20,732 %
<b>Chemistry</b>	9	10,976 %
<b>Physics</b>	7	8,537 %

Fonte: Traduzida da *ISI Web of Science*

Esses artigos foram exportados da *Web of Science* para serem os dados de entrada do programa. O escopo da pesquisa inclui os campos - autores, resumo, título, fonte, palavras-chave, áreas de pesquisa - em cada registro bibliográfico e o período de 1995 a 2013, devido às publicações terem ocorrido neste intervalo de tempo, como mostra a Tabela 2.3.

**Tabela 2.3 - Anos de publicação das 82 publicações**

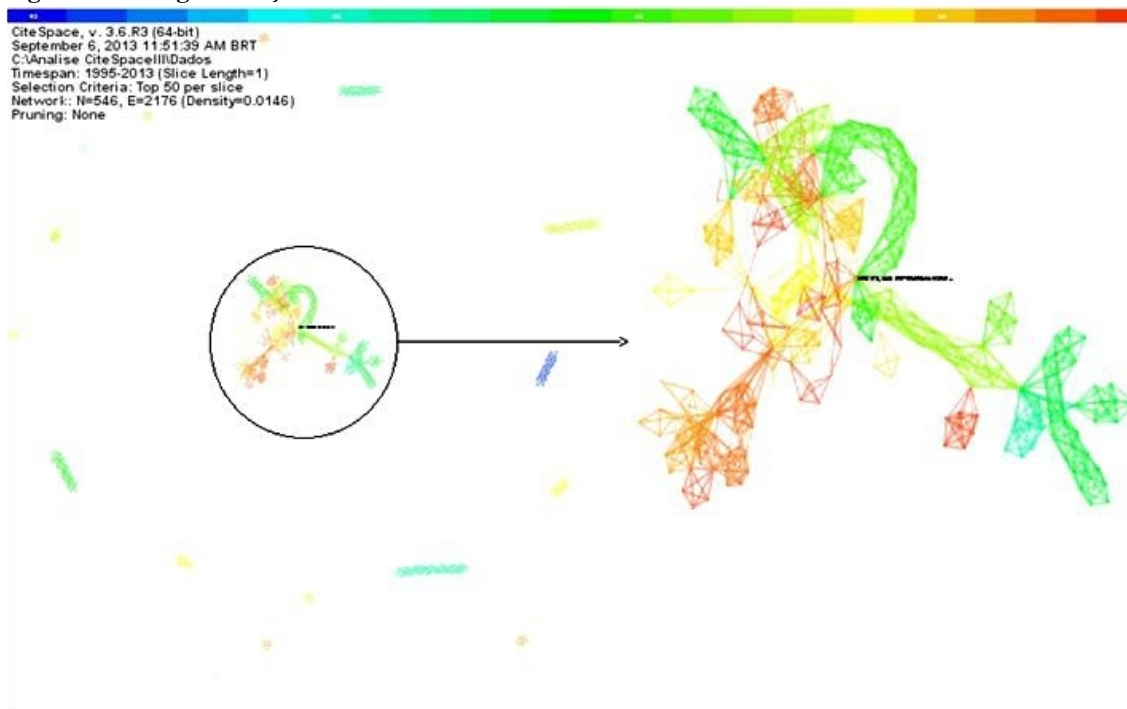
Anos de publicação	Contagem do registro	% de 82
<b>2012</b>	14	17,073 %
<b>2013</b>	14	17,073 %
<b>2010</b>	13	15,854 %
<b>2011</b>	13	15,854 %
<b>2009</b>	5	6,098 %
<b>2003</b>	3	3,659 %
<b>2004</b>	3	3,659 %
<b>2007</b>	3	3,659 %
<b>2008</b>	3	3,659 %
<b>1995</b>	2	2,439 %
<b>2001</b>	2	2,439 %
<b>2006</b>	2	2,439 %
<b>1996</b>	1	1,220 %
<b>1998</b>	1	1,220 %
<b>2000</b>	1	1,220 %
<b>2002</b>	1	1,220 %
<b>2005</b>	1	1,220 %

Fonte: Traduzida da *ISI Web of Science*

A Figura 2.10 mostra a aglomeração dos trabalhos em *clusters*. De acordo com Chen (2006), *clusters* representam um conjunto de artigos que abordam assuntos de mesmo gênero.

*Clusters* com poucas referências tendem a ser menos representativos que aglomerados maiores porque são susceptíveis de serem formados ao comportamento de citações de um pequeno número de publicações.

**Figura 2.10 - Aglomeração dos trabalhos em *clusters***



Fonte: *software* CiteSpace

A qualidade de um *cluster* também se reflete em termos de pontuação de silhueta, o que é um indicador de sua homogeneidade ou consistência. Valores da silhueta de grupos homogêneos tendem a serem 1 ou próximo a este valor (CHEN et al., 2012). Nessa pesquisa, foram identificados 27 *clusters*, dos quais, os 10 maiores *clusters*, com seus respectivos tamanhos e silhueta, são listados na Tabela 2.4.

A Tabela 2.4 mostra que o *cluster* 18 apresenta o maior número de referências, com 58 membros, porém é o grupo menos homogêneo, com silhueta de 0.785. Mesmo sendo de menor silhueta, seu valor é próximo a 1, podem assim dizer, que todos os *clusters* podem ser considerados homogêneos, enfatizando os *clusters* 13 e 5 por terem a silhueta de valor igual a 1.

**Tabela 2.4 - Ranking dos maiores clusters**

<b>Cluster</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Silhueta</b>
<b>18</b>	58	0,785
<b>15</b>	33	0,944
<b>8</b>	25	0,964
<b>24</b>	17	0,91
<b>19</b>	16	0,98
<b>10</b>	15	0,8
<b>21</b>	15	0,957
<b>13</b>	14	1
<b>16</b>	14	0,981
<b>5</b>	11	1

Fonte: *software* CiteSpace

O Quadro 2.7 gerado pelo *software*, reuni os trabalhos que apresentam o maior número de citações. Desses 10 trabalhos com a maior contagem de citações, 5 pertencem ao *cluster* 18, 3 ao grupo 21 e 2 trabalhos ao aglomerado 15.

O artigo com o maior número de citações foi o de Vink et al. (2003), que aplicaram a ACV em um polímero fabricado com 100% de recursos renováveis, como milho, beterraba e arroz, conhecido como *NatureWorks™* Poliláctico (PLA) produzido por Cargill Dow LLC. Os autores utilizaram a ACV para mensurar a sustentabilidade ambiental e identificar melhoria no desempenho ambiental. Para isso, foram estudadas três categorias de impacto associadas ao PLA: uso de energia fóssil, gases de efeito estufa e uso de água.

Com a aplicação de melhorias tecnológicas e modificações que foram propostas a partir das análises com a aplicação da ACV, Vink et al. (2003), chegaram a uma redução do uso de energia fóssil entre 25-55%, redução de gases com efeito de estufa com a utilização de matérias-primas agrícolas para a produção de polímeros PLA. O uso da água total necessária no processo não demonstrou aspectos negativos ao desempenho ambiental, pois apresentou quantidade competitiva com os melhores desempenhos entre os polímeros petroquímicos.

Em conclusão da pesquisa, Vink et al. (2003) demonstraram que o menor uso de energia fóssil e redução das emissões de gases de efeito estufa foram considerados fatores correlacionados com competitividade de custos. Além disso, a Avaliação do Ciclo de Vida pode ser uma valiosa técnica complementar de análise quando se busca as melhorias de custo, componente integral das operações de negócios em mercados que prezam cada vez mais pelo desempenho sustentável, e que pode auxiliar a empresa a formar metas de sustentabilidade no processo e operações.

Quadro 2.7 - Trabalhos que apresentam o maior número de citações

Contagem de citações	Referências	Cluster
13	VINK, E. T. H. et al. Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production. <b>Polymer Degradation and Stability</b> , London, v. 80, n. 3, p. 403-419, 2003.	18
9	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. <b>ISO 14044</b> : Life cycle assessment - Requirements and guidelines. ISO, 2006.	21
9	JOSHI, S. V. et al. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?. <b>Composites Part A: applied science and manufacturing</b> , Washington, v. 35, n. 3, p. 371-376, 2004.	18
9	VINK, E. T. H. et al. Original research: the eco-profiles for current and near-future NatureWorks® polylactide (PLA) production. <b>Industrial Biotechnology</b> , London, v. 3, n. 1, p. 58-81, 2007.	18
8	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. <b>ISO 14040</b> : life cycle assessment: principles and framework. ISO, 2006.	21
8	AKIYAMA, M.; TSUGE, T.; DOI, Y. Environmental life cycle comparison of polyhydroxyalkanoates produced from renewable carbon resources by bacterial fermentation. <b>Polymer Degradation and Stability</b> , Philadelphia, PA, v. 80, n. 1, p. 183-194, 2003.	18
8	JOLLIET, O. et al. IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology. <b>The International Journal of Life Cycle Assessment</b> , Lausanne, v. 8, n. 6, p. 324-330, 2003.	21
7	ROES, A. L. et al. Ex-ante environmental and economic evaluation of polymer photovoltaics. <b>Progress in Photovoltaics: Research and Applications</b> , Frankfurt, v. 17, n. 6, p. 372-393, 2009.	15
6	GERNGROSS, T. U. Can biotechnology move us toward a sustainable society?. <b>Nature biotechnology</b> , Hanover, NH, v. 17, n. 6, p. 541-544, 1999.	18
6	GARCÍA-VALVERDE, R.; CHERNI, J. A.; URBINA, A.. Life cycle analysis of organic photovoltaic technologies. <b>Progress in Photovoltaics: Research and Applications</b> , Frankfurt, v. 18, n. 7, p. 535-558, 2010.	15

Fonte: *software* CiteSpace

A International Organization for Standardization (2006b), segundo trabalho com o maior número de citações, é uma norma de gestão ambiental que fornece os requisitos e diretrizes para a Avaliação do Ciclo de Vida.

Por diante, o trabalho de Joshi et al. (2004) apresentou uma comparação entre compósitos de fibras naturais aos de fibra de vidro, com o intuito de mensurar o desempenho ambiental. Os resultados obtidos mostraram que os compósitos de fibra natural são ambientalmente superiores, pelas seguintes razões: a produção de fibra



natural tem menores impactos ambientais em relação à produção de fibra de vidro, os compósitos de fibras naturais têm maior teor de fibra para desempenho equivalente, reduzindo o teor de polímero de base mais poluente, os compósitos de fibras naturais são mais leves, melhorando a eficiência do combustível e também apresentou redução nas emissões em aplicações de automóveis.

No trabalho de Vink et al. (2007) foi utilizada a ACV como técnica para mensurar e identificar os objetivos de melhoria ambiental do polímero PLA. As categorias de impacto ambiental foram utilizadas com o propósito de eliminar o uso de energias não renováveis e reduzir as emissões de gases de efeito estufa, bem como a minimização de coprodutos não relevantes e redução do consumo de água.

Por seguinte, a International Organization for Standardization (2006a), é uma norma de gestão ambiental que demonstra os princípios e a estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida.

O próximo trabalho com o maior número de citações é o de Akiyama, Tsuge e Doi (2003) que utiliza a ACV para comparar o ciclo de vida ambiental de polihidroxicanoatos (PHAs) produzidos a partir de fontes renováveis de carbono por fermentação bacteriana. Para a análise, foi estudado o ICV da produção fermentativa de um copolímero a base de óleo de soja e de um homopolímero de glicose, em termos de custos e cargas ambientais, utilizando a abordagem "*cradle to gate*", ou seja, os dados envolvidos ao estudo são desde a produção primária até o portão da fábrica, não considerando o uso desses polímeros. Além disso, a produção fermentativa dos polímeros PHAs de base biológica foi comparada com a produção de polímeros petroquímicos. Como resultado, o custo de produção era comparável entre os PHAs. Os valores do consumo de energia e das emissões de CO<sub>2</sub> foram menores para o copolímero de PHA do que para o homopolímero. Além disso, os valores do ICV eram muito menores para os polímeros PHAs de base biológica do que para polímeros petroquímicos.

Em Jolliet et al. (2003) é desenvolvida a IMPACT 2002+, uma metodologia de AICV. Nesta metodologia foram desenvolvidos conceitos e métodos, especialmente para a avaliação comparativa da toxicidade humana e ecotoxicidade, baseados em métodos estatísticos e não em suposições conservadoras.

O artigo de Roes et al. (2009) realizou uma avaliação ambiental e econômica de materiais poliméricos, utilizados para aplicações de células fotovoltaicas (PV). A ACV foi utilizada com o intuito de identificar as vantagens da utilização da

tecnologia atual de silício cristalino em aplicações fotovoltaicas. Para a condução do estudo, os autores definiram a unidade funcional: 25 anos de produção de energia elétrica por sistemas fotovoltaicos com uma potência de 1 Wp. Os resultados foram comparados com dados da literatura de PV à base silício cristalino e outros tipos de PV, constatando que cada Wp de potência de saída do sistema produtivo, os impactos ambientais causados pelo PV à base silício cristalino são de 20-60% mais baixo em relação à PV com substrato de vidro e 80-95% menor comparado ao polímero PV com PET como substrato (módulos flexíveis). Além disso, os custos por Wp de módulos fotovoltaicos com polímero à base de substrato de vidro é aproximadamente 20% maior em comparação ao PV com base de silício cristalino.

Gerngross (1999) abrange uma discussão se a biotecnologia pode ser uma direção a uma sociedade sustentável. Para a análise, foi utilizada a abordagem "*cradle to grave*", ou seja, "do berço ao túmulo", da ACV em polihidroxialcanoatos (PHAs) à base do recurso renovável milho. Como resultado, a produção de PHAs utilizando o milho como matéria-prima é, portanto, um benefício ambiental questionável, mesmo sobre pressupostos bastante favoráveis, ao se constatar que processos biológicos que utilizam recursos renováveis terem o potencial para a conservação dos recursos fósseis.

Portanto, as avaliações futuras de processos biológicos não devem incorporar apenas a utilização de matérias-primas (que são principalmente renováveis), mas também o consumo indireto de fontes de energia não renováveis necessário para o processo, por acreditar que esses dados possam alterar os resultados obtidos pela análise considerando apenas a utilização de matérias-primas (GERNGROSS, 1999).

Por fim, o trabalho de García-Valverde, Cherni e Urbina (2010) apresenta uma análise do ciclo de vida de células solares orgânicas às tecnologias fotovoltaicas. Além disso, é apresentado um inventário do material detalhado de matérias-primas para o módulo fotovoltaico, com o intuito de identificar possíveis gargalos em uma cadeia de suprimentos futura para uma grande produção industrial.

Outra informação relevante gerada pelo CiteSpace é em relação ao indicador centralidade de um nó, que segundo Chen et al. (2012) mede a importância da posição do nó na rede sintetizada, ou seja, refere a relevância do trabalho para os clusters, sendo um elo de ligação entre vários clusters. Quanto mais elevado o grau de centralidade, significa que o trabalho é indicado com uma potencial publicação científica (CHEN, 2005).

O último indicador a ser analisado, gerado pelo programa, é o *sigma*. Chen et al. (2010) explica que o *sigma* é uma medida da novidade científica. Ele identifica as publicações científicas que possam representar novas ideias.

O valor máximo possível de *sigma* é 1 quando todas as propriedades individuais têm o valor máximo de 1. O valor mínimo possível de *sigma* é 0 quando qualquer uma das propriedades individuais é 0 (CHEN et al., 2009). Estes indicadores podem ser observados no Quadro 2.8.

**Quadro 2.8 - Indicadores de centralidade e *sigma***

Centralidade	Sigma	Referências	Cluster
0.33	1,00	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. <b>ISO 14044</b> : Life cycle assessment - Requirements and guidelines. ISO, 2006.	21
0.28	1,00	BOHLMANN, G. M. Biodegradable packaging life-cycle assessment. <b>Environmental progress</b> , v. 23, n. 4, p. 342-346, 2004.	18
0.25	1,00	KREBS, F. C. et al. The OE-A OPV demonstrator anno domini 2011. <b>Energy &amp; Environmental Science</b> , v. 4, n. 10, p. 4116-4123, 2011.	15
0.25	1,00	GUINÉE, J. B. et al. Handbook on life cycle assessment. <b>Operational guide to the ISO standards</b> . Dordrecht: [s.l.], 2002. p. 1-708.	15
0.24	1,00	VINK, E. T. H. et al. Original research: the eco-profiles for current and near-future NatureWorks® polylactide (PLA) production. <b>Industrial Biotechnology</b> , London, v. 3, n. 1, p. 58-81, 2007.	18
0.21	1,00	KREBS, F. C. et al. Manufacture, integration and demonstration of polymer solar cells in a lamp for the “Lighting Africa” initiative. <b>Energy &amp; Environmental Science</b> , v. 3, n. 5, p. 512-525, 2010.	15
0.19	1,00	BOUSTEAD, I. Eco-profiles of the European Plastics Industry—polyethylene terephthalate (PET)(bottle grade). <b>Brussels, Belgium: PlasticsEurope</b> , 2005.	18
0.19	1,00	DEMMERS, M.; COLLIGNON, M. <b>The eco-indicator 95</b> . Amersfoort (NL): PRé Consultants, 1995.	25
0.19	1,00	ESTERMANN, R.; SCHWARZWÄLDER, B. Life cycle assessment of Mater-Bi bags for the collection of compostable waste. <b>COMPOSTO for Novamont</b> , 1998.	25
0.18	1,00	JOLLIET, O. et al. IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology. <b>The International Journal of Life Cycle Assessment</b> , Lausanne, v. 8, n. 6, p. 324-330, 2003.	21

Fonte: *software* CiteSpace

Conforme o Quadro 2.8 a International Organization for Standardization (2006b) apresenta o maior grau de centralidade, com valor de 0,33, localizada no *cluster* 21. Isto significa que este trabalho representa o maior elo de ligação entre os demais aglomerados. Os valores encontrados à métrica *sigma* foram iguais a todos os principais

trabalhos, com valor 1. Explica-se a esta ocorrência que todos os trabalhos possuem o mesmo grau de inovação científica.

A partir da análise bibliométrica, identificou-se os trabalhos mais citados de ACV em materiais poliméricos, para os requisitos estabelecidos. Todavia, houveram trabalhos que não foram encontrados, por estarem fora do escopo da análise, mas que são relevantes para estudos de ACV em polímeros.

À exemplo, Novaes (2010), busca, em seu artigo, determinar uma possível redução do consumo de energia diante do aumento do polietileno de alta densidade- PEAD reciclado. Para tanto, o trabalho elaborou um ICV aplicado ao processo de transformação de moldagem a sopro por extrusão do polímero em estudo para confecção de embalagens plásticas, utilizadas em produtos de limpeza.

Para o inventário foram estudados os processos de fabricação de duas embalagens: embalagem "A", confeccionada com 30% de polímero virgem e 68 a 69% de polímero reciclado, embalagem "B", confeccionada com 10% de polímero virgem e 88 a 89% de polímero reciclado. O acompanhamento foi realizado em uma empresa produtora das embalagens estendendo-se até a recicladora do PEAD, fornecedora do polímero reciclado (NOVAES, 2010).

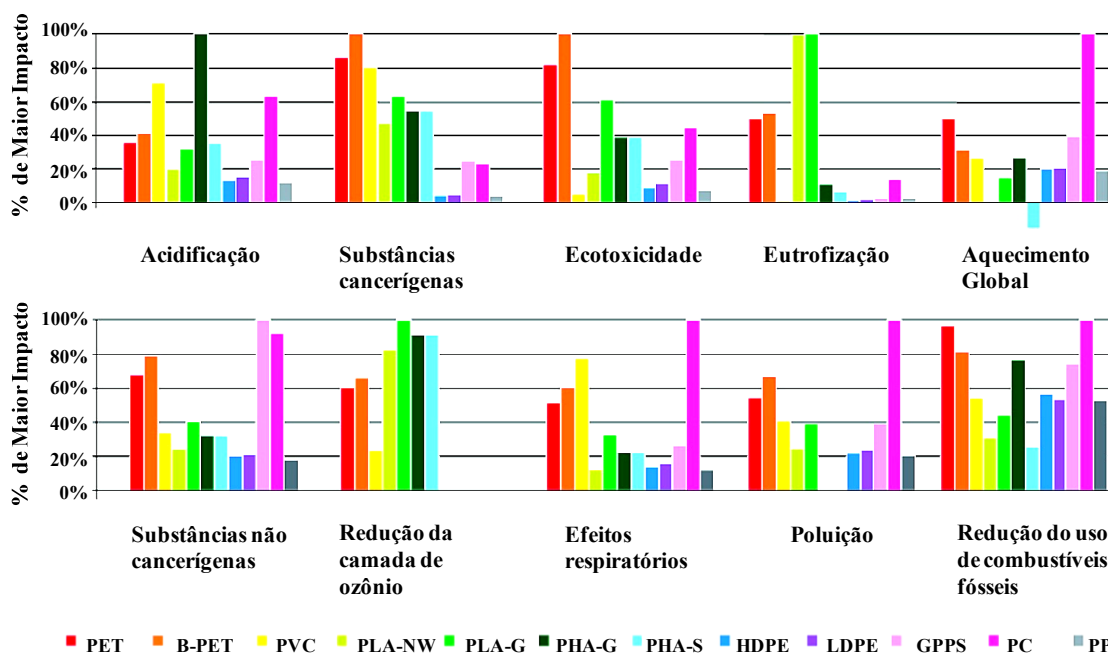
Para a análise, foram utilizados dados de entradas de matérias-primas e água no processo produtivo, e fontes energéticas (elétrica e combustível) para transporte. Segundo Novaes (2010) a unidade funcional da pesquisa foi definida como 1kg e todos os cálculos foram computados no *software* Umberto, considerando uma produção mensal. Os resultados obtidos mostraram uma economia de energia em até 8,33% com um maior uso de polímero reciclado, considerando os dois tipos de embalagens.

No estudo de Tabone et al. (2010) foram avaliados impactos ambientais de diferentes tipos de polímeros utilizando a ACV. Para tanto, foi realizado um estudo de caso em 12 tipos de polímeros, sete produzidos a partir do petróleo ou outras matérias-primas de combustíveis fósseis: politereftalato de etileno (PET), polietileno de alta e baixa densidade (HDPE, LDPE), polipropileno (PP), policarbonato (PC), policloreto de vinila (PVC) e poliestireno de utilização geral (GPPS). E os outros quatro produzidos de fontes biológicas: ácido poliláctico feito através de um processo geral (PLA-G), um processo relatado pela *NatureWorks* (PLA-NW) e o polihidroxialcanoato, avaliado separadamente, como derivados a partir de grãos de milho (PHA-G) e de palha de milho (PHA-S). Por fim, foi avaliado o biopolitereftalato de etileno (B-PET), que é

produzido a partir de uma matéria-prima de combustível fóssil e outra de fonte biológica.

Os impactos resultantes, apresentados na Figura 2.11, demonstram que a produção do biopolímero, resulta em maior impacto em 5 das 10 categorias: redução da camada de ozônio, acidificação, eutrofização, substâncias cancerígenas, e ecotoxicidade. Os resultados obtidos com o PLA-G apresentam um maior potencial de eutrofização.

Figura 2.11 - Categorias de impacto resultantes da ACV



Fonte: TABONE et. al. (2010)

Resultados obtidos com o B-PET apresentam um maior impacto nas categorias de ecotoxicidade e substâncias cancerígenas, que pode estar atribuído em grande parte ao cultivo de cana de açúcar e à produção de etanol. A produção de PET tradicional produz o segundo maior impacto nestas categorias. PHA-G resulta no maior impacto de acidificação.

A produção de polímeros de poliolefinas (HDPE, LDPE, e PP) não resultou em um maior impacto em qualquer categoria. Este resultado é devido, provavelmente, à transformação química limitada necessária para polímeros. Os mais complexos petro-polímeros (PET, PC e PS) exigem passos sintéticos adicionais entre a refinaria de petróleo e de polimerização. Este processamento adicional requer transporte e emissões de processo químico adicional, aumentando assim a probabilidade de emissões e o impacto ambiental (TABONE et. al., 2010).

### 2.4.2 Filme flexível de polipropileno biorientado

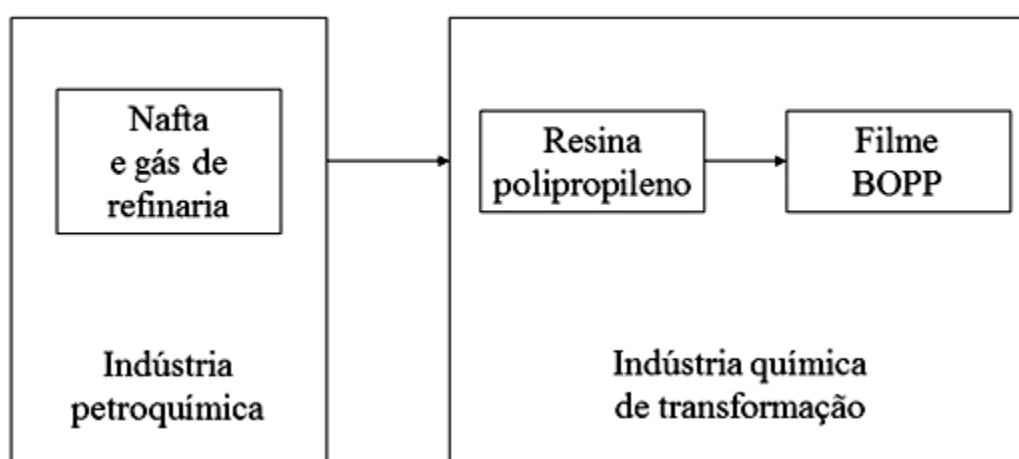
O filme de polipropileno biaxialmente orientado (BOPP) foi introduzido para a indústria de embalagens em 1960 (YUKSEKKALAYCI, YILMAZER, ORBEY, 1999).

De acordo com Carvalho (2008), o BOPP é um polímero obtido através da polimerização do propileno (propeno), um subproduto gasoso da refinação do petróleo, através de uma reação de adição, pela qual reagem milhares de moléculas sucessivamente que dão origem a pequenas unidades de resina plástica. Esta resina é submetida a processos de transformação para dar forma ao produto desejado. Sendo assim, o filme de polipropileno biorientado encontra-se na 3ª geração do refino do petróleo.

Sousa e Vasconcellos (2000) explicam que o processo produtivo de polipropileno biorientado, Figura 2.12, inicia-se com a indústria petroquímica, fornecedora dos insumos, mais precisamente da nafta e do gás de refinaria.

Desses dois insumos (nafta e do gás de refinaria) obtém-se o propeno, que, associado a catalisadores, gera uma reação de polimerização na qual forma o polipropileno. Posteriormente, fabrica-se o filme flexível de BOPP. Nessa etapa do processo os grânulos de polipropileno são aditivados, extrudados e/ou coextrudados, biaxialmente estendidos e finalmente recolhidos em uma bobina, configurando um processo complexo e altamente automatizado.

Figura 2.12 - Processo produtivo do filme de BOPP



Fonte: Adaptado Sousa e Vasconcellos (2000)

Segundo Tamura, Ohta e Kanai (2012), cerca de 40 milhões de toneladas de polipropileno biorientado são atualmente produzidos por ano no mundo. O BOPP é

responsável pelo uso de grande quantidade do polipropileno, uma vez que é adequado para as películas de embalagem de alimentos ou de folhas industriais (fitas adesivas, etiquetas, plastificação, entre outros), devido ao seu elevado desempenho em termos de propriedades mecânicas e ópticas.

A Avaliação do Ciclo de Vida do polipropileno biorientado pode ser realizada desde a primeira ação antrópica que levará a obtenção do produto até a sua disposição final, ou seja, a última atuação humana associada ao produto, considerando todos os aspectos que compõe a sua fabricação.

Para o BOPP, a análise pode ser iniciada desde a extração do petróleo, passando por todos os elos da cadeia produtiva, transporte, uso, até a disposição final. A disposição final deste produto pode ocorrer de diversas maneiras dependendo das aplicações, dificultando a mensuração do mesmo, motivo que impulsionou a realização desde trabalho até o portão da fábrica.

### **3. METODOLOGIA DE PESQUISA**

Neste capítulo é apresentada a metodologia que conduz este trabalho. Assim, o mesmo foi dividido em 3 seções que referem-se a escolha do método de pesquisa, a coleta de dados, e a estrutura ICV.

#### **3.1 Método de pesquisa**

A pesquisa foi organizada conforme as recomendações das normas NBR ISO 14040: 2009 e NBR ISO 14044: 2009, pois orientam a condução de um estudo de ICV.

De acordo com Gil (2009), essa pesquisa é exploratória, pois proporciona maior familiaridade com o problema, com o intuito de torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Na maioria dos casos, a pesquisa exploratória assume a forma de pesquisa bibliográfica ou de estudo de caso.

Segundo Yin (2010), o estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo em profundidade e em contexto de vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente evidentes.

A pesquisa caso enriquece não só a teoria, mas também os próprios pesquisadores. Através da realização de pesquisas no campo e estar exposto a problemas reais, os *insights* criativos de pessoas em todos os níveis das organizações, e os contextos variados de casos, o investigador irá se beneficiar do processo de condução da pesquisa (VOSS, TSIKRIKTSIS E FROHLICH, 2002).

A este trabalho foram utilizadas as duas formas que a pesquisa exploratória pode assumir. A escolha de cada de um dos métodos é justificada no processo de coleta de dados.

#### **3.2 Coleta de Dados**

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica para fundamentar o assunto abordado e adquirir as informações necessárias ao tema proposto. Desta forma, foram estudados o conceito, contexto histórico, estrutura de execução, aplicações e limitações da ACV. Além disso, foi estudado o filme de BOPP, descrevendo suas características, aplicabilidades e seu sistema produtivo.



Para a realização do inventário, foram identificadas e quantificadas as entradas e saídas do sistema produtivo do BOPP. O sistema adotado foi dividido em seis subsistemas: extração do petróleo; refino do petróleo (produção da nafta); produção do propeno; produção da resina de PP; produção do filme de BOPP; e os transportes marítimo (do petróleo importado) e rodoviário (da resina de PP).

Foram utilizados dados secundários através de pesquisas bibliográficas, coletados nos trabalhos de Vianna (2006); Fendrich (2008); Viana (2008); Ribeiro (2009); Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2014); e Ministério de Minas e Energia (2014).

Utilizou-se também dados primários, coletados em uma indústria de filmes flexíveis localizada na região de Sorocaba. A coleta dos dados foi conduzida pelo método do estudo de caso, por meio de entrevistas semiestruturadas com os gerentes de produção e de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento).

Para tal, foi elaborado um protocolo de pesquisa para estruturar a condução da coleta dos dados. Além disso, utilizou-se folhas de dados da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009b). O protocolo de pesquisa e as folhas de dados podem ser visualizados no Apêndice III.

Também, foram realizadas visitas técnicas na produtora do filme de BOPP, como fonte de coleta de dados de observação direta, a fim de conhecer seu processo produtivo, para identificar e quantificar todas as entradas e saídas da produção deste filme.

Optou-se em não se utilizar bases dados diretamente dos *softwares* específicos para estudos de ACV, devido à acessibilidade aos programas serem em sua versão "demo", ou seja, disponibilidade de uma versão gratuita por um período de tempo. As bases de dados, disponíveis nos *softwares* que possuem esta versão limitada, como o SimaPro e GaBi, foram inviáveis ao presente estudo, pois não disponibilizam base de dados a serem utilizadas e/ou adaptadas, para que o objetivo deste trabalho seja alcançado.

Em contrapartida, foram utilizadas informações de bases de dados disponíveis pelo *software* licenciado, encontradas nas pesquisas bibliográficas, por serem adequadas para o desenvolvimento deste estudo, conforme é demonstrado no capítulo de resultados e discussões.

### 3.3 Estrutura ICV

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009b) estudos de ICV devem incluir a definição de objetivo e escopo, análise de inventário e interpretação dos resultados.

A fase de objetivo e escopo, na definição do objetivo foi declarada a aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e o público-alvo.

No escopo foram descritos claramente o sistema de produto, sua fronteira, o fluxo de referência, os procedimentos de alocação necessários, os requisitos da qualidade dos dados, e por fim, o tipo e formato do relatório requerido para o estudo.

Como não se estudou a função do produto, por se tratar de um estudo "berço ao portão", também não se fez necessário a quantificação da função, ou seja, a escolha da unidade funcional, assim como a não seleção de categorias de impacto e metodologia de avaliação e interpretação, por se tratar de um estudo de ICV.

Na fase de análise de inventário foram identificadas e quantificadas as entradas e saídas do ciclo de vida do filme de BOPP, utilizando a abordagem "berço ao portão" da fábrica. Foram considerados como dados de entradas: as matérias-primas, recursos energéticos e fontes líquidas; e de saídas: os produtos e coprodutos, além das emissões atmosféricas, efluentes líquidos e dos resíduos sólidos gerados no sistema em estudo.

Utilizou-se procedimento de cálculo para incluir a validação dos dados coletados, a correlação dos dados de cada subsistema, e a correlação de dados ao fluxo de referência. Nesse sentido, foi utilizada o procedimento de alocação para discriminar a carga ambiental do produto em estudo para com os demais envolvidos.

Por fim, foi realizada a interpretação dos resultados, por meio da discussão dos aspectos ambientais mais significantes (consumo de água, fonte energética, e emissões de CO, CO<sub>2</sub>, material particulado, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, e C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>).

A interpretação foi realizada ao longo da análise do inventário do ciclo de vida do filme flexível, assim como em análises comparativas dos aspectos ambientais. Para a realização destas comparações, foi utilizada a técnica de análise de contribuição, oportunamente explicada no capítulo de resultados e discussões.

Com as definições da fase de objetivo e escopo e a interpretação dos resultados foi possível obter conclusões relevantes ao estudo.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos na pesquisa, a partir do ICV do filme de BOPP, os quais estão divididos em 3 seções: objetivo e escopo; análise de inventário do ciclo de vida; tratamento dos dados à uma base comum e análise comparativa dos aspectos ambientais mais relevantes.

As discussões do estudo foram apresentadas tanto na análise de inventário como nas análises comparativas dos aspectos ambientais.

### **4.1 Objetivo e escopo**

#### **4.1.1 Objetivo**

Este trabalho tem como objetivo fornecer subsídios referentes à produção do filme de BOPP para contribuir com a construção do banco de dados de ACV para as condições brasileiras. Sendo possível a elaboração de um ICV do filme de BOPP produzido no Brasil, por uma indústria na região de Sorocaba, utilizando os requisitos da técnica ACV.

A aplicação pretendida com os resultados do ICV do filme de BOPP é que os mesmos possam reduzir em tempo e custo para as análises de ciclo de vida de produtos ou processos que envolvam este filme flexível. Além disso, contribuir para futuros estudos de ACV do filme de BOPP no Brasil, como por exemplo, a avaliação de impacto ambiental, análise comparativa de diferentes cenários para a produção de BOPP, entre outros.

O público-alvo direcionado ao estudo envolve a comunidade acadêmica (pesquisadores de ACV em que os trabalhos contemplam elementos comuns ao ciclo de vida do filme flexível estudado) e o meio empresarial relacionado ao filme de BOPP, como os produtores, fornecedores, distribuidores, e clientes, com o propósito de envolver toda a extensão da cadeia produtiva.

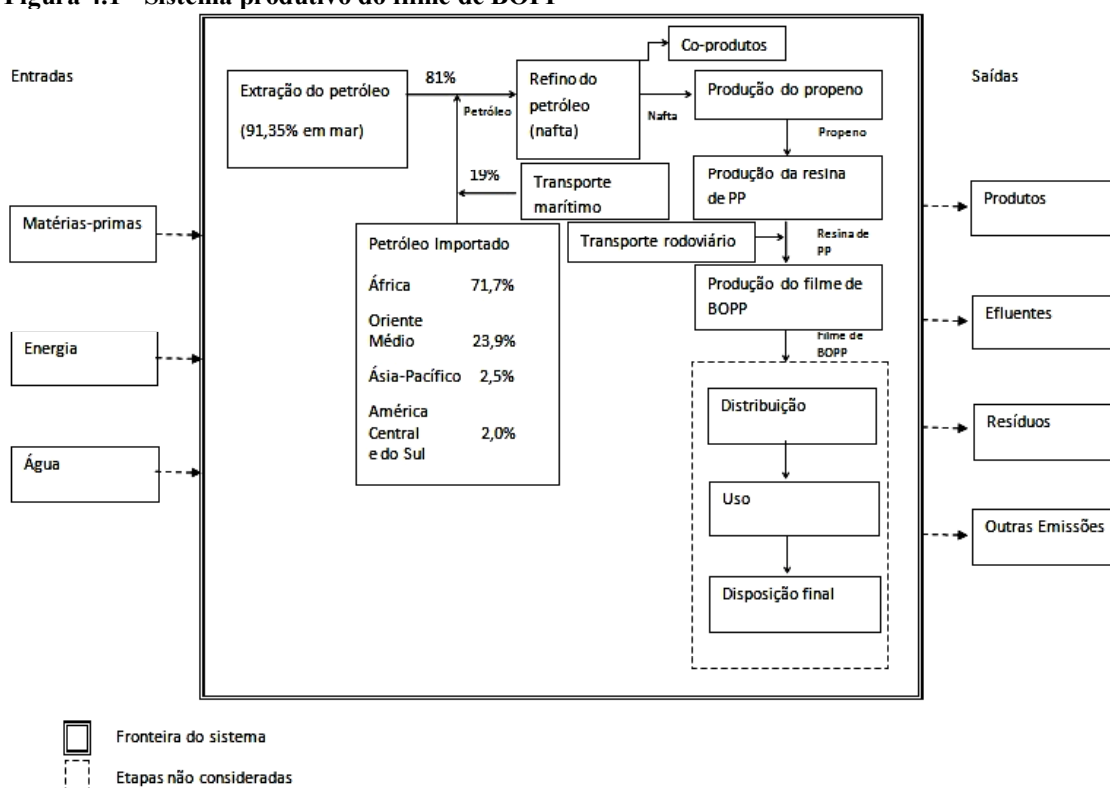
#### **4.1.2 Escopo do estudo**

Para o alcance do objetivo, foi estabelecido o escopo do estudo composto pelos itens listados a seguir.

#### 4.1.2.1 O sistema de produto

O sistema de produto considerado no presente trabalho, para realizar o inventário do ciclo de vida do filme flexível de BOPP, Figura 4.1, inicia-se na indústria petroquímica, que realiza a extração do petróleo. Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2014) o petróleo extraído no Brasil, em 2013, ocorreu em 91,35% proveniente de reservas marítimas, e os 8,65%, restantes, em terra. Posteriormente, o petróleo é refinado para obter o insumo necessário, a nafta. Para atender a demanda na atividade de refino, no Brasil são utilizados 81% do petróleo nacional e 19% importado.

Figura 4.1 - Sistema produtivo do filme de BOPP



Fonte: Elaborada pela autora.

Após a produção da nafta, uma indústria química de transformação produz o propeno, matéria-prima para a produção da resina de polipropileno, etapa subsequente. Por fim, a indústria transformadora da resina de PP fabrica o filme flexível de BOPP.

Os subsistemas que constituem o modelo representativo do sistema de produto do filme de BOPP são: extração do petróleo; refino do petróleo - produção da

nafta; produção do propeno; produção da resina de PP; produção do filme de BOPP; e os transportes marítimo (do petróleo importado) e rodoviário (da resina de PP).

Os dados de entrada e saída de cada subsistema foram identificados e quantificados separadamente, para depois serem consolidados, representando o inventário do ciclo de vida do filme BOPP.

#### **4.1.2.1.1 Subsistema de extração do petróleo**

Este processo elementar envolver as atividades de extração do petróleo. Estas atividades são divididas em *upstream*, fase de exploração e produção do petróleo, e *downstream*, transporte, refino, armazenamento e a distribuição (THOMAS, 2004).

Segundo Lustosa (2002) o *upstream* é a atividade de extração de petróleo, que inclui as etapas de exploração, o estudo de reservas e reservatórios, o planejamento do desenvolvimento da produção, a perfuração de poços, a completação dos poços e a produção. A completação consiste no conjunto de operações destinadas a deixar o poço em condições econômicas e seguras de produção (SUGAWARA, 2012). Essas diferentes atividades geram uma cadeia de suprimento de equipamentos e serviços para a construção, montagem, instalação, operação e manutenção de sistemas de produção de extração do petróleo.

As atividades do *downstream* começam com o transporte do petróleo (extraído em território nacional) por meio de dutos, de petroleiros ou outra embarcação, ou pela utilização desses dois processos de maneira integrada até as refinarias, onde são armazenados em tanques. (LUSTOSA, 2002).

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2014), o Brasil encontra-se como o décimo quinto país com maior reserva provada do mundo, totalizando 15,6 bilhões de barris ao ano de 2013 (aumento de 1,82% em relação a 2012), responsável por 0,92% das reservas provadas mundiais.

Em produção de petróleo, também em 2013, o Brasil totalizou 123.905.342 m<sup>3</sup>, representando 2,4% da produção mundial (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS, 2014). A partir desses dados, observa-se a importância do país ao setor de exploração e produção de petróleo.

O Rio de Janeiro, em 2013, foi o estado com maior produção de petróleo do país, representando 72,02% da produção nacional, seguido por Espírito Santo (15,35%) e São Paulo (3,42%). O maior concessionário no Brasil é a Petrobras,

responsável por 85,08% da produção brasileira (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2014).

#### **4.1.2.1.2 Subsistema de refino do petróleo (produção da nafta)**

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2014), a nafta é um derivado de petróleo utilizado principalmente como matéria-prima da indústria petroquímica para a produção de eteno e propeno, além de outras frações líquidas, como benzeno, tolueno e xilenos.

Para obtenção da nafta, o petróleo passa pelo processo de refino. A etapa de refino inicia-se em um processo de dessalgação ou dessalinização. Sais provenientes da água salgada que se acumula sob o petróleo devem ser dissolvidos para evitar corrosão e entupimento de equipamentos utilizados ao refino (Vianna, 2006).

A dessalinização também visa à remoção de metais e sólidos em suspensão que podem prejudicar o processo posterior, a destilação. Ribeiro (2009) explica que o petróleo é fracionado em diversos componentes através da destilação fracionada (atmosférica). De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2014) o petróleo, proveniente dos tanques de armazenamento, é pré-aquecido e introduzido numa torre de destilação atmosférica, que consiste no fracionamento do óleo cru.

Este processo utiliza os diferentes pontos de ebulição das substâncias que compõem o petróleo, encaminhando-o para um hidrotreatamento para se transformar na nafta (RIBEIRO, 2009). Conforme Vianna (2006), o hidrotreatamento é um processo que utiliza gás hidrogênio e um catalisador, normalmente à base de molibdênio para eliminação de enxofre e de nitrogênio.

#### **4.1.2.1.3 Subsistema de produção do propeno**

O propeno é um gás incolor, inflamável com um aroma levemente adocicado, com ponto de fusão de 107,8°C. Seu maior uso é na polimerização de polipropileno, sendo competitivo no mercado aos produtos com aplicações de plásticos de polietileno de alta densidade (CHENIER, 2002).

A reação de polimerização é aquela em que substâncias simples, chamadas monômeros, reagem combinando-se e formando moléculas maiores, caracterizadas pela repetição de uma unidade básica. Os produtos de tais reações são

conhecidos como polímeros. A reação que ocorre na polimerização do propeno pode ser classificada como reação de adição, onde há ruptura da dupla ligação, fazendo com que uma molécula de propeno junte-se a outra, formando uma cadeia longa (SALOMON, 2010).

Conforme a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2014) o propeno é um hidrocarboneto insaturado com três átomos de carbono e seis de hidrogênio ( $C_3H_6$ ), obtido do craqueamento de hidrocarbonetos, normalmente a nafta e utilizado como matéria-prima para a produção de polipropileno.

De acordo com Chenier (2002), o craqueamento da nafta ocorre em temperaturas de 815-870°C e pressões de 41-68 atm elevadas. Os gases são rapidamente resfriados, desidratados e fracionados, a fim de que fornecer o propeno de elevada pureza, e também materiais indesejáveis a serem reciclados.

#### **4.1.2.1.4 Subsistema de produção da resina de PP**

Salomon (2010) explica que o polipropileno é um polímero semicristalino, insolúvel em água, de odor não perceptível, com ponto de fusão na faixa de 165 a 175°C, podendo ser moldado usando apenas aquecimento e caracterizado como um termoplástico. É amplamente utilizado na fabricação de componentes para as indústrias automobilística, de eletroeletrônicos, têxtil e de construção civil, utensílios domésticos e embalagens para as indústrias alimentícia, de cosméticos e farmacêutica.

Apresenta-se em três tipos básicos: os homopolímeros (tem como único monômero o propeno), os copolímeros heterofásicos (produzidos quando há dois reatores em série, o primeiro polimeriza somente o propeno e o segundo trabalha com os dois monômeros simultaneamente) e os copolímeros randômicos (obtidos quando um segundo monômero, normalmente etileno, é adicionado ao propeno no reator de polimerização). A maioria dos tipos de polipropileno é desenvolvida através de moldagem por injeção, sopro ou extrusão.

De acordo com Fendrich (2008), o polipropileno origina-se de uma resina termoplástica, obtido pela formação de longas cadeias de monômero de propeno. O monômero base, propeno, é um gás à temperatura ambiente, mas quando é unido forma cadeias longas de moléculas chamadas de polímero, que é o polipropileno em si. Este processo de unir os monômeros se chama polimerização, que ocorre em um reator

operando normalmente sob altas temperaturas, altas pressões e com o uso de um sistema catalítico.

O sistema catalítico assegura que as moléculas encontrem a forma regular de se unir à cadeia. A criação de uma forma isotática de polipropileno reside no catalisador usado para dirigir esta reação: o catalisador correto deve alinhar as moléculas para assegurar que eles encontrem a forma certa de se unirem à cadeia. Os catalisadores usados para a polimerização do polipropileno são geralmente uma mistura de compostos de titânio e alumínio (SALOMON, 2010).

De acordo com Salomon (2010), a resina de PP é comercializada em forma de micro-esferas, podendo ser aditivada e pigmentada para extrusão em forma de *pellets*.

#### **4.1.2.1.5 Subsistema de produção do filme de BOPP**

O processo produtivo do filme flexível escolhido para o estudo de ICV foi destinado a aquele em que o BOPP é matéria-prima do produto fita adesiva, visto que o BOPP pode ser uma matéria-prima para fins diversos, como para embalagens de alimentos, aplicações industriais (etiquetas, plastificação, entre outros). A escolha foi importante para direcionar a coleta de dados do filme para a análise de inventário, e também para a execução de trabalhos futuros em etapas de cálculos dos impactos ambientais caracterizados pela ACV e também em análises até o fim de vida da fita adesiva.

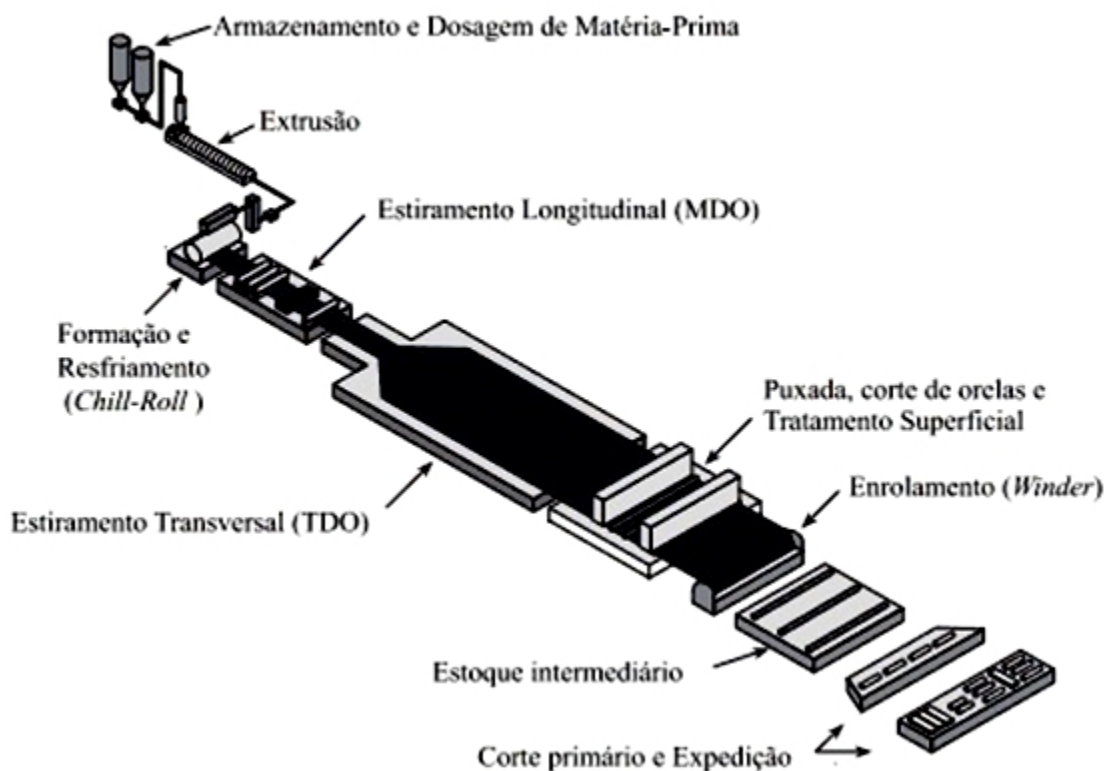
Como observado na Figura 4.2, o subsistema de produção do BOPP inicia no armazenamento e dosagem das matérias-primas. O filme é formado basicamente de homopolímero de PP, aditivos, e regranulados - material reciclado, tornando-o, novamente, matéria-prima do processo produtivo do BOPP. Este material é um substituto do homopolímero virgem, correspondendo a 30% da composição do filme.

A matéria-prima é armazenada em 6 silos, sendo que 4 são destinados a homopolímeros de PP e 2 a regranulados. Os silos possuem dosadores programados que atendem a receita do filme em estudo. Com a dosagem, a matéria-prima é destinada à área de extrusão, composta por duas extrusoras da alma (parte interna do filme) e duas coextrusoras da capa (partes externas).



Na extrusão, é realizada a fusão do polipropileno, por meio do aquecimento. O material é conduzido por extrusoras e coextrusoras, as quais realizam funções de plastificação, homogeneização e transporte do processo.

Figura 4.2 - Processo produtivo do BOPP



Fonte: Miguel et al. (2003)

Após a extrusão, é formado um filme grosso em uma matriz plana que é rapidamente resfriado, processo conhecido como *chill roll*, composto por uma "faca de ar", um rolo resfriador e uma bacia de água gelada. Posteriormente, é realizado o primeiro estiramento, o MDO (*Machine Direction Orientation*) no qual o filme é estirado na direção da máquina, através de um estiramento mecânico. Depois, é feito o segundo estiramento, também proveniente de estiramento mecânico, mas na direção transversal, denominado TDO (*Transverse Direction Oriented*). No total o estiramento do filme é de cerca de 50 vezes. Com os estiramentos resulta-se no filme de polipropileno biorientado.

Após a biorientação, o filme passa pela medição de espessura, cortes das bordas e um tratamento superficial denominado "Chama". As bordas cortadas passam pelo processo de moagem para torná-las, novamente, matéria-prima do processo produtivo do filme flexível.

De acordo com Carvalho (2008a), o tratamento "Chama" modifica a superfície do filme através da exposição à chama criada por queimadores. O sistema consiste de um "isqueiro" que abrange a largura do filme, uma mistura de gases e a unidade controle do espaço entre o queimador e o filme para garantir que a superfície da chama em contato com o filme é aquela que corresponde à porção oxidante.

Por conseguinte, o filme passa pelo processo de embobinamento, onde o filme enrolado é mantido em estoque intermediário, aguardando as especificações de corte de acordo com o cliente.

Por fim, o filme é novamente cortado, a partir das especificações do cliente e encaminhado à expedição.

#### **4.1.2.1.6 Subsistema de transportes marítimo (do petróleo importado) e rodoviário (da resina de PP)**

Para atender a demanda nacional é necessária a importação de petróleo de outros países. De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2014), o Brasil importou 147.834 (mil barris) em 2013, cerca de 19% da oferta nacional. A Tabela 4.1, apresenta a importação do petróleo em relação às regiões geográficas mundiais.

**Tabela 4.1 - Importação de petróleo em 2013**

<b>Regiões geográficas</b>	<b>Importação de petróleo (mil barris) em 2013</b>
América do Norte	0
Américas Central e do Sul	2.957
Europa e ex-União Soviética	0
Oriente Médio	35.304
África	105.941
Ásia-Pacífico	3.632

Fonte: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2014)

O petróleo importado é proveniente, em sua maioria, da África (71,7%) e Oriente Médio (23,9%). Portanto, para utilizar um valor médio de distância ao Brasil, Vianna (2006) explica que as distâncias entre Brasil e África e Brasil e Oriente Médio são de aproximadamente 10.000 km e 20.000 km. Logo, a distância média percorrida pelos navios no transporte do petróleo foi de 13.300 km.

Por outro lado, o transporte da resina de PP para a empresa produtora do filme de BOPP é do tipo rodoviário, por meio de caminhão *truck* movido a diesel, com

capacidade de 30 toneladas. A carga real de matéria-prima transportada é de 25 toneladas, percorrendo uma distância de 167 km, visto que o caminhão retorna vazio à origem.

#### **4.1.2.2 Função e unidade funcional do produto**

Como este estudo consiste na elaboração de um ICV, sob a abordagem "*cradle to gate*", na qual considera os dados desde a extração da matéria-prima até o processo produtivo do filme BOPP, não incluindo a fase de uso e disposição final, não se fez necessário definir a função do produto.

Deste modo, também não se justifica adotar uma unidade funcional.

#### **4.1.2.3 Fluxo de referência**

Para relacionar os dados de entrada e saída de cada subsistema, foi necessário adotar uma base de cálculo. A esta medida, conhecida como fluxo de referência, foi adotado o valor de 1.000 kg de filme de BOPP.

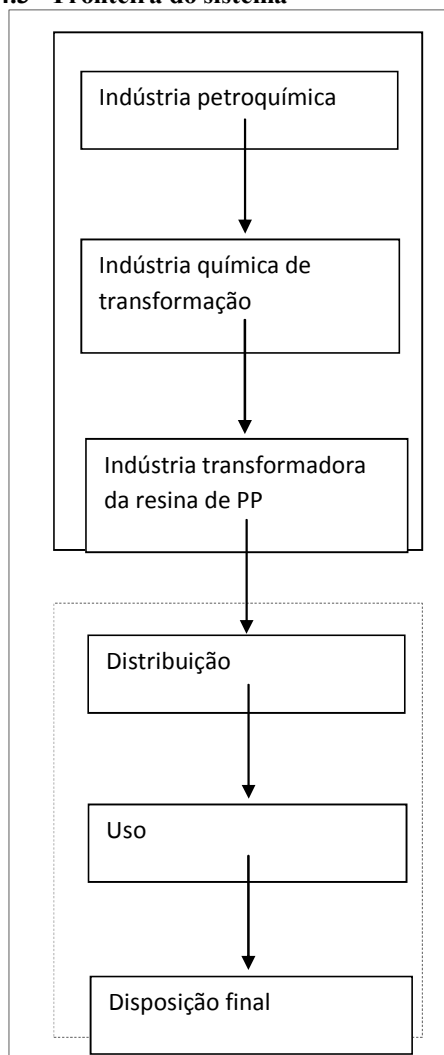
#### **4.1.2.4 Fronteira do sistema**

As relações entre o sistema de produto com o meio ambiente se fazem presentes apenas para as etapas do ciclo de vida de extração da matéria-prima e as etapas de transformação industrial necessárias para a produção do filme flexível, conforme ilustrado na Figura 4.3.

A indústria petroquímica corresponde aos três primeiros subsistemas: extração do petróleo; refino do petróleo (produção da nafta); e produção do propeno. Já, a indústria química de transformação é responsável pela produção da resina de PP, correspondente ao quarto subsistema.

A indústria transformadora da resina PP é responsável pela produção do filme de BOPP, correspondente ao quinto subsistema do sistema do produto em estudo.

Por fim, o subsistema de transportes está interligado à indústria petroquímica (transporte marítimo do petróleo importado) e à indústria transformadora da resina PP (transporte rodoviário).

**Figura 4.3 - Fronteira do sistema**

Fonte: Elaborada pela autora

Por utilizar a abrangência "berço ao portão", as unidades de processo no subsistema pontilhado não foram inseridas na análise.

#### 4.1.2.5 Procedimentos de alocação

Utilizado quando diferentes produtos são interligados no mesmo sistema. Definiu-se a utilização de procedimentos de alocação por poder calorífico no subsistema do refino do petróleo, para dividir a carga ambiental aos demais coprodutos existentes.

O critério de alocação adotado neste subsistema é apresentado oportunamente na etapa de elaboração do inventário.

#### **4.1.2.6 Tipos de impacto, método de avaliação de impacto**

Por ser um estudo de ICV, não se fez necessário escolher os tipos e métodos de avaliação de impacto.

#### **4.1.2.7 Requisitos para qualidade de dados**

Na elaboração do ICV, buscou-se, preferencialmente, à obtenção de dados primários, ao subsistema de produção do filme flexível, obtidos em planilhas de controle da empresa, e por aqueles que possam ser calculados e/ou mensurados.

Na ausência desses tipos de dados, foram utilizados dados secundários coletados em referências bibliográficas, como artigos científicos e teses e dissertações.

Definiu-se que os dados coletados devem ser representativos em relação à produção nacional do filme de BOPP e estar de acordo com as fronteiras propostas para atender o objetivo desse trabalho.

Para tal, foram considerados como requisitos para qualidade de dados parâmetros de cobertura temporal e geográfica.

Na cobertura temporal, a coleta dos dados primários e secundários foi realizada no intervalo de 2004 a 2013.

A cobertura geográfica é o território nacional, uma vez que este trabalho visa à obtenção do ICV do filme de BOPP para as condições brasileiras.

Para compreender melhor a significância dos dados envolvidos no sistema de produto em estudo, foi utilizada a técnica de análise de contribuição. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009b), a análise de contribuição é um procedimento estatístico que identifica aqueles dados que têm mais contribuição para o resultado do produto estudado. Esses itens podem ser investigados com maior propriedade para assegurar a tomada de decisões corretas.

A técnica foi utilizada na forma de análises comparativas dos aspectos ambientais mais significativos do sistema do produto.

#### **4.1.2.8 Tipo e formato do relatório do estudo**

O relatório do estudo é descrito no formato de uma dissertação, respeitando a função de relatar de forma fiel, exata e completa os resultados.

A este modo, o presente trabalho foi conduzido em concordância com os itens estabelecidos pelas normas NBR ISO 14040 (2009) e NBR ISO 14044 (2009) em vigor.

## **4.2 Análise de inventário do ciclo de vida (ICV)**

Neste estudo, foram apresentados inventários com os dados de entrada e saída para cada um dos seis processos elementares, na forma de inventários de dados brutos.

Obtidos esses inventários, foram realizados procedimentos de cálculo para elaborar o ICV consolidado da produção de 1.000 kg de filme de BOPP, e assim, poder discuti-los, e analisar comparativamente alguns aspectos ambientais.

### **4.2.1 Inventário do subsistema de extração do petróleo**

Para elaborar o inventário da extração do petróleo foram considerados os aspectos ambientais do petróleo nacional extraído em terra e mar, e do petróleo importado.

No trabalho de Vianna (2006), foi realizado um inventário da extração do petróleo nacional e importado. Os dados utilizados por Vianna (2006), foram provenientes da base de dados *BR Crude Oil Mix* do *software* GaBi 4 (2004), pois se aproxima da realidade brasileira ao processo de extração.

Em seu estudo, Vianna (2006) considerou a informação do inventário do *software*, em que para cada 1 t de petróleo, cerca de 0,083 t são perdidos no transporte até a refinaria. Com base nesta informação, Vianna (2006) apresenta os dados para 59,2 kg de petróleo consumido no Brasil, que inclui as atividades de extração em terra e mar, e a importação.

Os dados obtidos foram convertidos para 1.000 kg do petróleo consumido no Brasil, conforme mostra a Tabela 4.2, para melhor tratá-los nos procedimentos de cálculo posteriores baseados no fluxo de referência determinado.

Os aspectos ambientais associados à infraestrutura da operação de extração do petróleo, tais como a produção de materiais necessários à construção de equipamentos de perfuração e de plataformas não foram incluídos no estudo.

**Tabela 4.2 - Inventário da extração de 1.000 kg de petróleo nacional e importado**

Aspecto Ambiental	Unidade	Quantidade
<b>ENTRADAS</b>		
<i>Recursos materiais</i>		
Petróleo	kg	1,09E+03
Carvão	kg	4,66E-02
Gás natural	kg	4,24E+01
Combustíveis renováveis	kg	3,24E-01
<i>Recursos líquidos</i>		
Água	kg	2,25E+02
<i>Recursos energéticos</i>		
Energia	GJ	3,24E-01
<b>SAÍDAS</b>		
<i>Emissões atmosféricas</i>		
CO	kg	3,23E-01
CO <sub>2</sub>	kg	1,63E+02
Vapor de água	kg	2,30E-01
Material particulado	kg	1,21E-01
CH <sub>4</sub>	kg	2,58E+00
<i>Efluentes líquidos</i>		
DBO	kg	3,34E-02
DQO	kg	2,06E-01
Metais pesados não especificados	kg	4,63E-06
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	kg	1,94E-03
Efluentes líquidos não especificados	kg	3,23E-05
Água residual	kg	3,13E-03
Óleo	kg	8,26E-03
Sólidos suspensos totais	kg	1,06E-01
<i>Resíduos sólidos</i>		
Resíduos não especificados	kg	3,48E-07

Fonte: Vianna (2006)

Com base no inventário de Vianna (2006), o tipo de energia consumida não foi especificado, não podendo afirmar se é proveniente de fonte elétrica, por exemplo. Também, não foram especificados os tipos de resíduos sólidos e de alguns efluentes líquidos. Porém, considerar as quantificações dos mesmos é importante para a qualidade do estudo, pois se fossem excluídos gerariam mudanças significativas no resultado final do ICV deste trabalho.

As emissões atmosféricas resultaram valores expressivos, principalmente para o CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e CH<sub>4</sub> (metano). Essas emissões gasosas, entre outras, compõem os gases de efeito estufa (GEE), responsáveis pelo aquecimento da Terra. A fonte de emissão do CO<sub>2</sub> para este inventário foi o uso dos combustíveis fósseis - petróleo, carvão mineral, gás natural. Para o metano, sua fonte de emissão foi o consumo de energia para a extração do petróleo.

Outra emissão atmosférica que também contribui para o aquecimento global é o vapor de água, mesmo que seja produzido em quantidade menor comparada as demais emissões. O vapor de água na atmosfera absorve parte da radiação presente na Terra, agregando sua contribuição no aumento do efeito estufa.

Os hidrocarbonetos ( $C_xH_y$ ), também presentes neste inventário, são compostos formados de carbono e hidrogênio, resultantes da queima e evaporação de combustíveis. Quando emitidos, contribuem para a formação de "smog fotoquímico", denso nevoeiro muito presente em áreas urbanas e industriais que causa na atmosfera a diminuição da visibilidade.

#### 4.2.2 Inventário do subsistema de refino do petróleo (produção da nafta)

Para a elaboração do inventário do refino do petróleo, especificamente para a produção da nafta, utilizou-se como fonte de dados o trabalho de Vianna (2006), em que apresenta o inventário do refino de 1.000 kg de petróleo, visualizado na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3 - Inventário do refino de 1.000 kg de petróleo**

Aspecto Ambiental	Unidade	Quantidade
<b>ENTRADAS</b>		
<i>Recursos materiais</i>		
Petróleo	kg	1,00E+03
<i>Recursos energéticos</i>		
Energia elétrica	GJ	3,24E-04
<b>SAÍDAS</b>		
<i>Emissões atmosféricas</i>		
CO	kg	2,63E-02
CO <sub>2</sub>	kg	8,31E+00
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	kg	1,99E-05
CH <sub>4</sub>	kg	3,80E-02
NO <sub>x</sub>	kg	5,83E-03
SO <sub>x</sub>	kg	4,88E-03
CH <sub>3</sub> SH	kg	1,00E-05
H <sub>2</sub> S	kg	2,09E-04
COVNM	kg	9,56E-01
Material particulado	kg	1,01E-02
<i>Efluentes líquidos</i>		
Óleo	kg	7,12E-03
Na <sup>x</sup>	kg	1,63E-02
Cl <sup>-</sup>	kg	2,43E-02

Fonte: Vianna (2006)



Para este trabalho foi necessário disponibilizar o inventário de um derivado de petróleo: a nafta, produzida na Refinaria Duque de Caxias - RJ (REDUC), o qual faz parte do sistema para a produção do filme de BOPP.

Como a nafta não é o único produto obtido com o refinamento do petróleo foi realizado um procedimento de alocação por poder calorífico para repartição das cargas ambientais entre os diversos produtos gerados, para obter os dados relativos apenas à nafta.

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2014) foram refinados  $1,5 \cdot 10^7$  m<sup>3</sup> de petróleo pela REDUC, em 2013. Sabendo que a densidade do petróleo, em 2013, foi de 884 kg / m<sup>3</sup> (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2014), a massa total do petróleo refinado corresponde a  $1,3 \cdot 10^{10}$  kg.

De acordo com Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2014) na REDUC foram produzidas  $1,5 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> de nafta. Como a densidade da nafta é de 702 kg/m<sup>3</sup> (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2014) no ano de 2013, a massa total de nafta foi de  $1,0 \cdot 10^9$  kg.

Logo, foram necessários 1.000 kg de petróleo para a produção de 79 kg de nafta. Isto significa que para a produção de 1.000 kg de nafta são necessários  $1,2 \cdot 10^3$  kg de petróleo.

Os fatores de alocação foram calculados com base no volume das quantidades produzidas pela REDUC de cada um dos derivados do petróleo no ano de 2013, de acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2014), e nos seus poderes caloríficos, como pode ser visualizados na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4 - Fatores de alocação para derivados do petróleo**

Derivados do petróleo da REDUC (RJ)	Produção em 2013 (m <sup>3</sup> ) (1)	Massa específica (kg / m <sup>3</sup> ) (2)	Massa (kg)	Poder calorífico (kcal / kg) (1)	Energia (kcal)	Fator de alocação (%)
Asfalto	2,19E+05	1,03E+03	2,24E+08	9,79E+03	2,19E+12	1,74%
Coque	6,12E+05	1,04E+03	6,37E+08	8,39E+03	5,34E+12	4,23%
Gasolina automotiva	2,25E+06	7,42E+02	1,67E+09	1,04E+04	1,73E+13	13,72%
GLP	9,78E+05	5,52E+02	5,40E+08	1,11E+04	5,99E+12	4,74%
<b>Nafta</b>	<b>1,50E+06</b>	<b>7,02E+02</b>	<b>1,05E+09</b>	<b>1,06E+04</b>	<b>1,12E+13</b>	<b>8,87%</b>
Óleo lubrificante	5,33E+05	8,75E+02	4,66E+08	1,01E+04	4,72E+12	3,73%
Óleo combustível	2,90E+06	1,00E+03	2,90E+09	9,59E+03	2,79E+13	22,05%
Óleo diesel	3,88E+06	8,40E+02	3,26E+09	1,01E+04	3,29E+13	26,08%
Parafina	1,06E+04	8,64E+02	9,15E+06	1,04E+04	9,52E+10	0,08%
Querosene aviação	1,32E+06	7,99E+02	1,05E+09	1,04E+04	1,10E+13	8,67%
Outros energéticos <sup>1</sup>	3,03E+04	8,64E+02	2,62E+07	1,02E+04	2,67E+11	0,21%
Outros energéticos <sup>2</sup>	8,42E+05	8,64E+02	7,27E+08	1,02E+04	7,42E+12	5,87%
TOTAL	1,51E+07		1,257E+10		1,26307E+14	100%
Notas: 1. Inclui óleo leve para turbina elétrica						
2. Inclui diluentes, GLP não energético e outros produtos não energéticos						

Fonte: (1) Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2014); (2) Ministério de Minas e Energia (2014)

Com a alocação, foi possível verificar o percentual de contribuição da nafta para os valores dos aspectos ambientais da atividade de refino de 1.000 kg de petróleo pela REDUC, fazendo com que não seja responsável pelas cargas ambientais dos outros produtos gerados no refino do petróleo.

A partir destes dados, a Tabela 4.5 apresenta o inventário da produção de 1.000 kg de nafta.

**Tabela 4.5 - Inventário para produção de 1.000 kg de nafta**

<b>Aspecto Ambiental</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>
<b>ENTRADAS</b>		
<i>Recursos materiais</i>		
Petróleo	kg	1,12E+03
<i>Recursos energéticos</i>		
Energia elétrica	GJ	3,63E-04
<b>SAÍDAS</b>		
<i>Emissões atmosféricas</i>		
CO	kg	2,95E-02
CO <sub>2</sub>	kg	9,32E+00
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	kg	2,23E-05
CH <sub>4</sub>	kg	4,26E-02
NO <sub>x</sub>	kg	6,54E-03
SO <sub>x</sub>	kg	5,47E-03
CH <sub>3</sub> SH	kg	1,12E-05
H <sub>2</sub> S	kg	2,34E-04
COVNM	kg	1,07E+00
Material particulado	kg	1,13E-02
<i>Efluentes líquidos</i>		
Óleo	kg	7,99E-03
Na <sup>x</sup>	kg	1,83E-02
Cl <sup>-</sup>	kg	2,73E-02

Fonte: Elaborada pela autora, baseado em Vianna (2006)

O transporte de petróleo extraído até as refinarias brasileiras é realizado por meio de oleodutos e devido à indisponibilidade de dados que demonstram a realidade brasileira, esta etapa não foi considerada no estudo para não prejudicar a sua aplicabilidade.

Dos aspectos ambientais do inventário da produção de 1.000 kg de nafta o COVNM (compostos orgânicos voláteis não-metanados) é um dos mais significativos. Este aspecto é formado por diversas fontes de emissão, que para este inventário foram provenientes de solventes e do consumo do petróleo.

O metano não está incluso no aspecto COVNM, mas também é gerado neste inventário, contabilizado separadamente. Quando emitido o CH<sub>4</sub> contribui para o aquecimento global.

Mesmo que em pouca quantidade, a formação do CH<sub>3</sub>SH (metil mercaptana) chama atenção, por ser um gás inflamável, de odor desagradável e tóxico se inalado. Encontrado no petróleo bruto, este composto orgânico é considerado um poluente aquático, por ser tóxico, também, aos organismos aquáticos.

#### **4.2.3 Inventário do subsistema de produção do propeno**

Além de utilizar o inventário do refino da nafta, faz necessário também o inventário do propeno para realizar o inventário do filme de BOPP.

Por meio da pesquisa de Ribeiro (2009), selecionou-se o inventário chamado *Propene (propylene) production* do banco de dados Data Archive do *software* SimaPro 7.0, devido a não existência de dados nacionais para quantificar os aspectos ambientais da produção do propeno, e também, pelo Brasil possuir características particulares em relação a alguns países, por utilizar a nafta como matéria-prima.

O inventário foi elaborado considerando a produção do propeno por meio do craqueamento da nafta, sem a presença de catalisadores, incluindo as operações de refrigeração, desidratação e fracionamento.

Os dados do inventário se referem à obtenção de 1.000 kg de propeno, e estão apresentados na Tabela 4.6. Observa-se os valores expressivos de emissões de CO<sub>2</sub> e CxHy.

No inventário também foram identificadas as emissões de NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrogênio) e SO<sub>x</sub> (óxidos de enxofre), gerados em processos de combustão. Ambos, são prejudiciais à saúde humana, pois prejudicam a função pulmonar e podem causar edema pulmonar e bronquite. Ao serem emitidos para a atmosfera dão origem a chuva ácida e contribuem para a formação do ozônio troposférico (O<sub>3</sub>).

Menos significativo, mas não menos importante, a emissão de material particulado também está presente neste inventário. O material particulado é um conjunto de partículas poluentes sólidas, gerado pelo processo industrial do propeno e ressuspensão de poeira do solo. Podem trazer danos à saúde humana, como problemas respiratórios, e em casos mais graves, câncer no pulmão.

Tabela 4.6 - Inventário para 1.000 kg de propeno

Aspecto Ambiental	Unidade	Quantidade
<b>ENTRADAS</b>		
<i>Recursos materiais</i>		
Nafta	kg	1,33E+03
<b>SAÍDAS</b>		
<i>Emissões atmosféricas</i>		
CO	kg	5,40E-01
CO <sub>2</sub>	kg	1,06E+03
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	kg	1,41E+00
Material particulado	kg	3,00E-02
NO <sub>x</sub>	kg	2,01E+00
SO <sub>x</sub>	kg	2,00E-01
<i>Efluentes líquidos</i>		
DQO	kg	4,00E-02
Compostos de enxofre	kg	9,00E-02
Na <sup>z</sup>	kg	3,10E-01

Fonte: Ribeiro (2009)

Nos efluentes líquidos, o Na<sup>x</sup> (íons de sódio) foi o mais representativo. Quando presente no efluente, o sódio pode ser absorvido pelo solo. Este processo é controlado pela avaliação do risco de sodificação do solo. Quando apresenta risco para o solo, o manejo da área destinada aos efluentes precisa ser modificado.

#### 4.2.4 Inventário do subsistema de produção da resina de PP

O inventário da produção da resina de PP utilizado foi baseado no trabalho de Fendrich (2008), que estudou o ciclo de vida de um homopolímero produzido no Brasil por uma empresa de nome não divulgado. Os dados do estudo são do ano de 2004, e correspondem as atividades de produção do PP, transportes interno e externo e estocagem.

O inventário da produção de 1.000 kg de PP é descrito na Tabela 4.7.

Por meio do inventário da produção da resina de PP foram encontradas quantidades expressivas do uso de catalisadores, utilizados para o processo de polimerização do PP. A presença de catalisadores ocasionou a presença de resíduos catalíticos, denominados como resíduos perigosos.

A água consumida na produção da resina foi proveniente da água potável e água industrial, na qual gerou efluentes líquidos, através da água residual. O inventário mostrou que uma grande quantidade da água consumida no processo é

descartada, contribuindo negativamente ao meu ambiente. De acordo com o trabalho de Fendrich (2008), 19% da água residual é descartada para o esgoto e 81% é enviada ao local de tratamento de resíduos.

**Tabela 4.7 - Inventário da produção de 1.000kg de resina de PP**

Aspecto Ambiental	Unidade	Quantidade
<b>ENTRADAS</b>		
<i>Recursos materiais</i>		
Propeno	kg	1,03E+03
Catalisadores	kg	2,06E+00
Aditivos	kg	4,24E+00
Materiais auxiliares	kg	1,14E+02
<i>Recursos líquidos</i>		
Água	kg	1,09E+04
<i>Recursos energéticos</i>		
Energia elétrica	GJ	1,67E+03
Gás natural	kg	2,06E+01
GLP	kg	4,62E-01
Óleos	kg	8,32E+01
<b>SAÍDAS</b>		
<i>Emissões atmosféricas</i>		
CO	kg	1,79E-01
CO <sub>2</sub>	kg	3,12E+02
N <sub>2</sub>	kg	8,75E+02
SO <sub>x</sub>	kg	2,41E-02
NO <sub>x</sub>	kg	1,01E+00
<i>Efluentes líquidos</i>		
Água residual	kg	1,90E+03
<i>Resíduos sólidos</i>		
Resíduos perigosos	kg	1,89E+00
Resíduos não recicláveis	kg	1,45E+01

Fonte: Fendrich (2008)

Foi utilizada quantidade significativa de energia elétrica, que pode vir a impactar o inventário consolidado do filme de BOPP. A principal fonte do consumo foi na etapa de extrusão do PP. A vantagem é a baixa emissão de gases de efeito estufa, em comparação com o consumo de do gás natural e GLP.

Foram encontradas, também, quantidades expressivas em emissões de CO<sub>2</sub>, que segundo Fendrich (2008) são provenientes de caldeiras, para a geração de energia pelo uso de gás natural, e pelas atividades de transporte.

#### 4.2.5 Inventário do subsistema de produção do filme de BOPP

O inventário da produção do filme de BOPP foi elaborado a partir de dados de fonte primária em uma empresa produtora do filme flexível localizada na região de Sorocaba-SP. Os dados correspondem ao ano de 2012 para um filme de 25 µm de espessura, e demais especificações, conforme mostra a Tabela 4.8.

**Tabela 4.8 - Especificações do filme com 25 µm de espessura**

Tipo	Especificação
Aparência	Transparente
Gramatura	22,8 g/m <sup>2</sup>
Rendimento	44 m <sup>2</sup> /kg
Tratamento superficial	De alta energia na face externa
Brilho	90 UB
Aplicação	Fita adesiva

Fonte: Elaborada pela autora

Os aspectos ambientais foram calculados para a produção de 1.000 kg de BOPP, apresentados na Tabela 4.9.

Como visualizado no inventário da produção de 1.000 kg de filme de BOPP, o polipropileno utilizado foi do tipo homopolímero, que corresponde a 88% das matérias-primas utilizadas.

Observou-se uma quantidade expressiva do consumo de GLP. A queima deste combustível gera emissões de CO<sub>2</sub>, gás de efeito estufa, que contribui para o aquecimento da Terra. Porém, comparado com a queima de outros combustíveis, como o carvão e o gás natural, o GLP emite menos gás carbônico.

O inventário, também apresentou emissões de CO (monóxido de carbono), poluente atmosférico gerado a partir da queima incompleta de combustíveis decorrentes do uso de veículos automotores. Como os NO<sub>x</sub> e os C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, este está envolvido na formação do ozônio troposférico, e pode causar danos à saúde humana, provocando fadiga ou dor no peito - inalado em baixa concentração, e asfixia - em alta concentração.

A água consumida no processo foi distribuída por meio do abastecimento público. Com a sua utilização, foi gerada cerca de 10% de água residual, descartada para o esgoto. Outros efluentes líquidos gerados foram os óleos térmico e lubrificante (sintético e mineral), utilizados no maquinário da produção do BOPP.

Tabela 4.9 - Inventário da produção de 1.000kg de filme de BOPP

Aspecto Ambiental	Unidade	Quantidade
<b>ENTRADAS</b>		
<i>Recursos materiais</i>		
PP Grão	kg	8,79E+02
Aditivos	kg	2,35E+00
Regranulado	kg	2,32E+02
<i>Recursos líquidos</i>		
Água	kg	4,37E+03
<i>Recursos energéticos</i>		
Energia elétrica	GJ	8,26E+00
GLP	kg	2,23E+01
<b>SAÍDAS</b>		
<i>Emissões atmosféricas</i>		
CO	kg	5,00E-01
CO <sub>2</sub>	kg	2,09E+02
Material particulado	kg	5,30E-06
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	kg	1,98E+00
<i>Efluentes líquidos</i>		
Água residual	kg	3,15E+02
Óleos	kg	1,36E-01
<i>Resíduos sólidos</i>		
Scrap de BOPP	kg	2,04E+02
Borra	kg	2,71E+00
PP Grão	kg	2,58E-01
Resíduos de embalagem	kg	7,32E+00
Resíduos de madeira	kg	6,08E+00

Fonte: Elaborada pela autora

Aos resíduos sólidos, o *scrap* corresponde a todo filme que sofreu ruptura na fase de extrusão e corte ao longo do processo. Este material é reciclado por meio do processo de regranulação para que novamente seja matéria-prima do filme de BOPP, algo que também ocorre ao PP grão (homopolímero de PP granulado) identificado como resíduo sólido.

A borra representa um dos principais resíduos sólidos, gerada durante a extrusão de material no *setup* da máquina, o qual é necessário para a limpeza de material de uma produção anterior ou parada de máquina. Esta borra é vendida e reutilizada por outras empresas.

Neste inventário, foram identificados e quantificados os resíduos de embalagem, da matéria-prima (*big bag*, sacaria e embalagens de papelão) e do embobinamento do filme (tubetes) e de madeira, para a armazenagem do BOPP (*pallets*,

ripas e demais resíduos de madeira). Os resíduos de embalagem e madeira são vendidos para cooperativas de reciclagem.

#### 4.2.6 Inventário do subsistema de transportes marítimo (do petróleo importado) e rodoviário (da resina de PP)

Para o inventário de transporte marítimo do petróleo importado, foram considerados os dados de Ribeiro (2009), que utilizou a base de dados *IDEMAT* 2001 do SimaPro 7.0, a qual considera um navio com capacidade de 88.750 toneladas, movido à óleo diesel e óleo combustível, considerando o retorno do navio vazio até a origem.

**Tabela 4.10 - Inventário de 1.000 kg km de petróleo importado e produção dos combustíveis**

Aspecto Ambiental	Unidade	Quantidade
<b>ENTRADAS</b>		
<i>Recursos materiais</i>		
Petróleo	kg	8,10E-03
Gás natural	kg	3,90E-05
Carvão	kg	3,21E-06
<i>Recursos líquidos</i>		
Água	kg	1,32E-04
<i>Recursos energéticos</i>		
Energia	GJ	2,78E-06
<b>SAÍDAS</b>		
<i>Emissões atmosféricas</i>		
CO	kg	7,01E-05
CO <sub>2</sub>	kg	2,33E-02
NO <sub>x</sub>	kg	4,42E-04
SO <sub>x</sub>	kg	3,71E-04
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	kg	4,18E-05
Metais	kg	6,30E-10
Material particulado	kg	2,14E-07
COVNM	kg	1,29E-06
<i>Efluentes líquidos</i>		
DQO	kg	6,30E-09
DBO	kg	3,15E-09
Íons metálicos	kg	3,15E-09
Cl <sup>-</sup>	kg	6,30E-09
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	kg	1,26E-08
Óleos	kg	4,34E-08
<i>Resíduos sólidos</i>		
Resíduos não especificados	kg	1,39E-06
Resíduos sólidos oleosos	kg	1,03E-04

Fonte: Ribeiro (2009).



A Tabela 4.10 apresenta o inventário para o transporte marítimo de 1.000 kg km e produção dos combustíveis, isto significa que já estão considerados os aspectos ambientais referentes à produção do óleo diesel e óleo combustível utilizados no transporte.

Neste inventário, o consumo de combustíveis fósseis gerou emissões de gás de efeito estufa ( $\text{CO}_2$ ), gases que formam a chuva ácida ( $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_x$ ), além de emissões de CO, hidrocarbonetos e material particulado.

Entre os efluentes líquidos foram gerados valores de DQO (demanda química de oxigênio) e DBO (demanda bioquímica de oxigênio). O DQO avalia a quantidade de oxigenação pela degradação de matéria orgânica, podendo ou não ser biodegradável. A concentração de DQO em um efluente líquido é, principalmente, originária de despejos industriais.

Um pouco diferente da DQO, a DBO é a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. Quanto menor o nível de DBO o efluente pode ser considerado menos poluente. Quando o nível não está controlado, este poluente pode prejudicar a vida aquática, além de produzir mal odor e sabor no efluente.

Para a realização do inventário de transporte rodoviário da resina de PP, foram utilizados dados da pesquisa de Viana (2008), que elaborou o inventário do transporte rodoviário através da base de dados *Truck I - Idemat 2001* do *software SimaPro 2003*.

Os dados foram modelados considerando o retorno vazio do caminhão à origem. A Tabela 4.11 apresenta o inventário para o transporte rodoviário de 1.000 kg km.

No inventário do transporte rodoviário, o consumo do óleo diesel gerou variadas emissões atmosféricas. Algumas dessas emissões contribuem para o aquecimento global, através dos gases de efeito estufa:  $\text{CO}_2$ ;  $\text{N}_2\text{O}$ ; e  $\text{CH}_4$ .

Foi identificado também emissões de gases que originam a chuva ácida ( $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_x$ ). Estes poluentes podem causar danos à saúde, como problemas respiratórios, agravando sintomas da asma e danos no pulmão.

A queima do combustível utilizado no transporte gerou também emissões de material particulado. Assim como o  $\text{NO}_x$  e o  $\text{SO}_x$ , o material particulado ao inalado por ocasionar danos respiratórios, que em casos mais graves, podem causar câncer de pulmão.

Tabela 4.11 - Inventário para transporte rodoviário de 1.000 kg km

Aspecto Ambiental	Unidade	Quantidade
<b>ENTRADAS</b>		
<i>Recursos materiais</i>		
Óleo diesel	kg	2,03E-02
<b>SAÍDAS</b>		
<i>Emissões atmosféricas</i>		
CO	kg	1,09E-04
CO <sub>2</sub>	kg	6,35E-02
COVNM	kg	6,23E-05
Material particulado	kg	3,04E-05
NO <sub>x</sub>	kg	6,70E-04
SO <sub>x</sub>	kg	1,96E-05
N <sub>2</sub> O	kg	1,45E-05
CH <sub>4</sub>	kg	2,17E-06

Fonte: Viana (2008)

Por fim, valores de COVNM foram apresentados. Os COVNM são poluentes muito diversificados que inclui hidrocarbonetos (exceto metano) como o benzeno, que são cancerígenos.

### 4.3 Tratamento dos dados a uma base comum e análise comparativa

Para que os dados dos aspectos ambientais dos seis subsistemas estejam alinhados ao fluxo de referência adotado, 1.000 kg de filme de BOPP, foram utilizados alguns procedimentos de cálculo para tratá-los.

Como observado, para produzir 1.000 kg do filme flexível foram necessários 879 kg de PP. Logo, os inventários dos subsistemas de transporte rodoviário da resina de PP e da produção da resina de PP foram ajustados a 879 kg de PP.

Para a produção de 1.000 kg de PP foram necessários 1.028 kg de propeno. Então, para a produção 879 kg de PP utilizou-se 904 kg de propeno, ajustando os aspectos ambientais do inventário da produção de propeno a este valor.

Na produção de 1.000 kg de propeno necessitou-se de 1.330 kg de nafta. Desta forma, para 904 kg de propeno fez-se necessário 1.202 kg de nafta. Assim, o inventário da produção da nafta foi ajustado para 1.202 kg.

Para produzir 1.000 kg de nafta foram necessários 1.081 kg de petróleo refinado, então para 1.202 kg de nafta, necessita-se de 1.299 kg de petróleo refinado. Como apresentado no item 4.1.2.1.1, 19% do petróleo refinado foi importado. Desta forma, dos 1.299 kg de petróleo refinado, 247 kg foram importados.

Contudo, o inventário de transporte marítimo do petróleo importado foi ajustado para 247 kg percorrendo uma distância de 13.300 km. E, ao inventário da extração do petróleo nacional e importado os aspectos ambientais foram quantificados para 1.299 kg de petróleo extraído.

Desta forma, foi possível consolidar todos os aspectos ambientais dos seis subsistemas para a produção de 1.000 kg de filme de BOPP. O inventário consolidado pode ser visualizado no Apêndice IV.

Para a identificação dos pontos mais significativos neste estudo foram realizadas análises comparativas dos aspectos ambientais mais relevantes para cada um dos seis subsistemas que compõe o sistema produtivo do filme de BOPP.

Para tal, foi adotada a técnica de análise de contribuição para analisar a contribuição de cada subsistema, expressando a contribuição de cada um como porcentagem do total.

A análise de contribuição pode ser utilizada para qualquer entrada e saída do sistema estudo, então foram selecionados dois dados de entrada - consumo de água e fonte energética e seis de saída - emissões de CO, CO<sub>2</sub>, material particulado, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, e C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>).

A escolha destes dados para a análise se justifica pela presença expressiva dos mesmos na maioria dos subsistemas estudados. A água é um recurso essencial para as indústrias e a sociedade como um todo, pela necessidade de seu uso distribuído por abastecimento público. A preocupação pela falta de água é uma realidade atual, por isso, medidas para evitar e/ou reduzir o esgotamento são recorrentemente elaboradas.

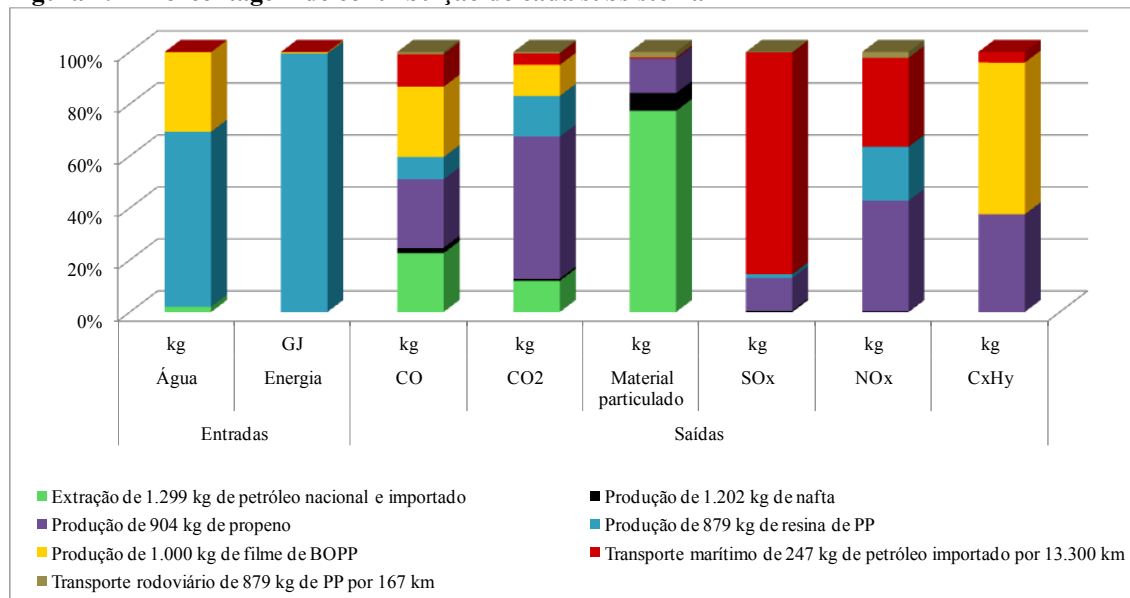
A energia de fonte elétrica assim como a queima de combustíveis geram grande quantidade de gases poluentes, justificando analisar também as emissões de CO - pelo uso de veículos automotores; CO<sub>2</sub> - contribui para o aumento do efeito estufa; material particulado - pode reduzir a visibilidade na atmosfera e causar problemas respiratórios; SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>, responsáveis pela deposição ácida; e emissões de hidrocarbonetos - participam na formação de "smog fotoquímico" e podem causar danos a saúde humana pois, alguns tipos, são cancerígenos e mutagênicos.

A análise de contribuição foi realizada a partir dados tratados para produção de 1.000 kg de BOPP, visualizada na Figura 4.4.

Os subsistemas de produção da resina de PP e do filme de BOPP são responsáveis por consumir cerca de 90% da água utilizada. Isto ocorreu devido esses

subsistemas utilizarem uma quantidade expressiva de água nos processos de resfriamento. Menos representativo, os subsistemas de extração do petróleo e de transporte marítimo contribuem pela porcentagem restante.

**Figura 4.4 - Porcentagem de contribuição de cada subsistema**



Fonte: Elaborada pela autora

Para o consumo de energia, a produção da resina de PP contribui por quase a totalidade da energia, resultando pouca contribuição aparente para os subsistemas da produção do BOPP e transporte marítimo do petróleo importado. Na fase de análise de inventário foi observada esta expressiva utilização de energia no subsistema da produção da resina de PP, o que refletiu na análise de contribuição.

A contribuição de cada subsistema para emissões de CO foi a mais equilibrada. Em uma análise decrescente, a maior contribuição para as emissões de CO foi do subsistema de produção do filme de BOPP (30%); por conseguinte, o subsistema da produção do propeno (25%); extração do petróleo (20%); transportes (15%); produção da resina de PP (7%); e produção da nafta (3%).

Algo semelhante ocorreu com a contribuição para as emissões de CO<sub>2</sub>. A diferença é que o subsistema produção de propeno contribui com o maior valor (55%); por conseguinte, produção da resina de PP (15%); produção do filme de BOPP (12%); extração do petróleo (12%); transportes (5%); e produção da nafta (1%).

A emissão do material particulado foi gerada em sua grande parte pela extração do petróleo (70%); depois pela produção do propeno (20%); produção da nafta

(6%); e transportes (4%). Este resultado é justificado pelas partículas pertencentes a esta emissão estarem presentes no petróleo cru.

Para as emissões de SO<sub>x</sub>, o subsistema de transportes apresenta a maior contribuição (85%) - sendo (83%) pelo transporte marítimo do petróleo importado e (2%) pelo transporte rodoviário da resina de PP. Em menores contribuições estão produção do propeno (12%); e produção da resina de PP (3%).

Em emissões de NO<sub>x</sub>, a produção de propeno apresentou contribuição de (46%), transportes (36%) - sendo (29%) pelo transporte marítimo do petróleo importado e (7%) pelo transporte rodoviário da resina de PP; e produção da resina de PP (18%).

Por fim, a maior contribuição pela emissão de hidrocarbonetos foi a produção do filme de BOPP (65%); por conseguinte, a produção do propeno (25%); e transportes (10%) - associado ao transporte marítimo do petróleo importado.

Alguns valores de contribuição dos subsistemas não estão visíveis na Figura 4.4, pois são ínfimas em relação aos que estão visíveis, sendo condizentes com a análise comparativa estudada.

## 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

### 5.1 Sobre o objetivo da pesquisa

Com a revisão de literatura, foi possível direcionar os trabalhos relevantes a Avaliação do Ciclo de Vida, abordando o conceito, estrutura e aplicações. Além disso, observou-se que a técnica ACV apresenta-se como um dos mais importantes indicadores à uma gestão ambiental, por realizar uma análise quali-quantitativa do desempenho ambiental de produtos, processos, e até mesmo serviços, além de mensurar e avaliar os impactos ambientais dos mesmos.

Observou-se a importância da abordagem do tema no Brasil, visto a crescente e corrente publicação de trabalhos acadêmicos, eventos específicos de ACV e o interesse das empresas, órgãos governamentais e da comunidade acadêmica pela técnica.

O objetivo do trabalho foi alcançado, no qual visou à elaboração do inventário do ciclo de vida do filme BOPP para as condições brasileiras, em que foi identificado e quantificado o conjunto de aspectos ambientais envolvidos desde a extração da matéria-prima até o portão da indústria que produz o filme flexível.

A partir do inventário, foi possível identificar os aspectos ambientais mais representativos: consumo de água, fonte energética, e emissões de CO, CO<sub>2</sub>, material particulado, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, e C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>.

No inventário consolidado da produção do filme de BOPP, observou-se emissões de gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>), que emitidos à atmosfera terrestre contribuem para o aumento do PAG (potencial de aquecimento global).

Já os gases SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>, também existentes no ciclo de vida do BOPP, quando presentes na atmosfera podem elevar o PA (potencial de acidificação), conduzindo mudanças na acidez da água e do solo.

Ao utilizar a técnica de análise de contribuição foi possível calcular o percentual de contribuição de cada subsistema à produção de 1.000 kg do filme.

Os subsistemas de maior contribuição para o consumo da água e energia foram a produção da resina de PP e a produção do filme de BOPP. A falta da água é uma realidade atual, então medidas para a reutilização da água utilizada nos processos de produção são importantes para reduzir o consumo da água de fonte primária, assim como a possibilidade de redução da água utilizada nos processos produtivos.

Em relação a energia, preocupa-se para aquelas utilizadas de fontes não renováveis, como o petróleo, devido a possibilidade de esgotamento desse recurso. Medidas também para a redução da utilização deste tipo de energia é necessário, como utilizar energia de fontes renováveis em maior proporção e que causam menos impacto ao meio ambiente, como a biomassa, originária da queima de palha de milho, bagaço da cana-de-açúcar, entre outros.

Em todos os subsistemas a emissão de CO<sub>2</sub> foi representativa, sendo o subsistema da produção do propeno o que mais emitiu. Assim como, representativas contribuições nas emissões de CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> e C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>. Medidas para a redução e/ou controle dessas emissões se fazem necessárias para diminuir impactos ao meio ambiente. Para tal, necessitaria da análise de impacto ambiental do ciclo de vida do filme de BOPP para identificar pontos críticos ao controle das emissões.

## **5.2 Limitações e dificuldades**

Os resultados obtidos com a análise bibliométrica não foram suficientes para direcionar os trabalhos da aplicação da ACV em polímeros e, especificamente, em filme de BOPP.

Devido ao estudo de ICV envolver uma grande quantidade de dados, ocorreram dificuldades para identificar e quantificá-los por meio de fontes primárias, necessitando utilizar dados secundários e realizar procedimentos de cálculo.

Uma vez que este trabalho consistiu na elaboração de um ICV da produção do filme de BOPP, não foi realizada a etapa de avaliação de impacto (AICV). Como explica Ribeiro (2009), a inexistência desta etapa dificulta a análise dos resultados. Isto significa que a ausência desta análise, que fornece critérios para reduzir a subjetividade deste tipo de considerações, o processo de consideração de relevância ambiental dos aspectos torna-se incompleto.

Um das principais dificuldades neste sentido é a diversidade de fontes de informação aos dados do inventário, algo que influenciou e dificultou as discussões dos resultados, abordando somente os aspectos ambientais de maior notoriedade.

Além disso, quando não se há uniformidade de definições, os ICVs são desenvolvidos com diferentes níveis de detalhamento. Em consequência, alguns ICVs possuem aspectos ambientais em quantidades bem superiores, em quanto outros possuem quantidades ínfimas. Diante de tal fato, o fornecimento de critérios de corte,

obtidos na AICV, é importante para reduzir a subjetividade na interpretação dos resultados.

Por não ter acesso a uma licença *software* específico de ACV, o trabalho demandou de um tempo maior para ser executado e finalizado, visto que os mesmos otimizam em tempo e custo os estudos de ACV por terem uma grande quantidade base de dados, além de permitirem realizar os procedimentos de cálculos necessários com mais rapidez.

O acesso a programas para desenvolvimento do trabalho foram por meio da versão gratuita do SimaPro e GaBi. Como esta versão limita a disponibilidade de bases de dados e o desenvolvimento de procedimentos de cálculos, sua utilização se tornou inviável neste trabalho, por não disponibilizar informações condizentes à realidade brasileira.

### **5.3 Propostas futuras**

A este trabalho propõe-se desenvolver o estudo da ACV, para identificar os impactos potenciais ao ciclo de vida do filme de BOPP. O conhecimento destes impactos pode contribuir para a tomada de decisão do fabricante do filme, assim como aos seus fornecedores, clientes e distribuidores.

Outra proposta interessante é desenvolver um estudo do ciclo de vida do filme flexível que envolva dados desde a extração das matérias-primas até a disposição final, considerando assim, etapas como reuso, reciclagem, entre outras que não fizeram parte da fronteira do sistema estabelecida neste trabalho, como o processo de regranulação da resina de PP.

Por fim, propõe-se realizar estudos comparativos da ACV do filme de BOPP com outro filme de mesma aplicação, ou da utilização de matérias-primas diferentes (como de fontes renováveis) ou outras formas de consumo de água e energia, com o intuito de reduzir o consumo dos aspectos ambientais, as emissões de gases de efeito estufa, além de diminuir os potenciais impactos ambientais a serem encontrados.



## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico 2014**. Disponível em: <<http://anp.gov.br/?pg=71479&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1409845589759>>. Acesso em: 16 abr. 2014.
- AKIYAMA, M.; TSUGE, T.; DOI, Y. Environmental life cycle comparison of polyhydroxyalkanoates produced from renewable carbon resources by bacterial fermentation. **Polymer Degradation and Stability**, Philadelphia, v. 80, n. 1, p. 183-194, 2003.
- AMATO NETO, J. Os desafios da produção e do consumo sob novos padrões sociais e ambientais. In: AMATO NETO, J. (Org.). **Sustentabilidade & produção: teoria e prática para uma gestão sustentável**. São Paulo: Atlas, 2011. p. 1-12. 2011a.
- AMATO NETO, J. Gestão sustentável da cadeia de suprimentos (green supply chain management): princípios e aplicações. In: AMATO NETO, J. (Org.). **Sustentabilidade & produção: teoria e prática para uma gestão sustentável**. São Paulo: Atlas, 2011. p. 90-112. 2011b.
- ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11-32, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CICLO DE VIDA. **Sobre a ABCV**. Disponível em: <<http://www.abcvbrasil.org.br/index.php>>. Acesso em: 02 ago. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Conheça a ABNT**. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/default.asp>>. Acesso em: 07 jul. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: Avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044**: Avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b.
- ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE. **IE for buildings**. Disponível em: <<http://www.athenasmi.org/our-software-data/impact-estimator/>>. Acesso em: 10 ago. 2013.
- AZAPAGIC, A. Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation. **Chemical Engineering Journal**, Lausanne, v. 73, n. 1, p. 1-21, 1999.
- BAITZ, M. et al. LCA's theory and practice: like ebony and ivory living in perfect harmony?. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [S.l.], p. 1-9, 2012.
- BOUSTEAD CONSULTING LTD. **The Boustead model**. Disponível em: <<http://www.boustead-consulting.co.uk/products.htm>>. Acesso em: 11 ago. 2013.

- CARVALHO, L. B. **Produção de polipropileno bi-orientado (BOPP): tecnologia e aplicações**. 2008. 44 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10198/1990>>. Acesso em: 03 dez. 2013. 2008a.
- CARVALHO, P. G. C. A. **Aplicação do programa SimaPro na avaliação do impacto ambiental causado na produção e exploração offshore de petróleo**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2008b. (Programa EQ-ANP).
- CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. 120p. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- CHEN, C. Searching for intellectual turning points: progressive knowledge domain visualization. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 101, Suppl. 1, p. 5303-5310, 2004.
- CHEN, C. The centrality of pivotal points in the evolution of scientific networks. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT USER INTERFACES, 10th, 2005, California. **Proceedings ...** New York: ACM, 2005. p. 98-105.
- CHEN, C. CiteSpace II: detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, Washington, v. 57, n. 3, p. 359-377, 2006.
- CHEN, C. et al. Towards an explanatory and computational theory of scientific discovery. **Journal of Informetrics**, Washington, v. 3, n. 3, p. 191-209, 2009.
- CHEN, C.; IBEKWE-SANJUAN, F.; HOU, J. The structure and dynamics of cocitation clusters: A multiple-perspective cocitation analysis. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, Washington, v. 61, n. 7, p. 1386-1409, 2010.
- CHEN, C. et al. Emerging trends in regenerative medicine: a scientometric analysis in CiteSpace. **Expert Opinion on Biological Therapy**, Washington, v. 12, n. 5, p. 593-608, 2012.
- CHENIER, P. J. **Survey of industrial chemistry**. [S.l.]: Springer, 2002.
- COLTRO, L. Avaliação do ciclo de vida. In: COLTRO, L. (Org.). **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão**. Campinas: CETEA/ITAL, 2007. p. 07-13.
- CONGRESSO brasileiro em gestão do ciclo de vida de produtos e serviços. **O congresso**. Disponível em: <<http://www.etc.uem.br/iiicbgcv/index.php>>. Acesso em: 29 jul. 2013.
- COOPER, J. S.; FAVA, J. A. Life-Cycle Assessment Practitioner Survey: Summary of Results. **Journal of Industrial Ecology**, [S.l.], v. 10, n. 4, p. 12-14, 2006.

CURRAN, M. A. The status of life-cycle assessment as an environmental management tool. **Environmental progress & sustainable energy**, Hoboken, v. 23, n. 4, p. 277-283, 2004.

DIAS, R. **Gestão ambiental**: responsabilidade social e sustentabilidade. 2 ed. 220p. São Paulo: Atlas, 2011.

EUROPEAN COMMISSION. Join Research Centre. **List of tools**. Disponível em: <<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/toolList.vm>>. Acesso em: 16 ago. 2013.

FENDRICH, M. **Inventário do ciclo de vida de uma empresa fabricante de polipropileno: estudo de caso**. 2008. 68 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2008. Disponível em: <[http://www.bc.furb.br/docs/MO/2009/335379\\_1\\_1.pdf](http://www.bc.furb.br/docs/MO/2009/335379_1_1.pdf)>. Acesso em: 29 nov. 2013.

FINNVEDEN, G. Methodological aspects of life cycle assessment of integrated solid waste management systems. **Resources, conservation and recycling**, [S. l.] v. 26, n. 3, p. 173-187, 1999.

FONSECA, E. N. (Org.). **Bibliometria**: teoria e prática. São Paulo: Cultrix: USP, 1986.

GABI. GaBi Software. **GaBi product sustainability software**. Disponível em: <<http://www.gabi-software.com/brazil/software/gabi-software/>>. Acesso em: 13 ago. 2013.

GALDIANO, G. P. **Inventário do ciclo de vida do papel offset produzido no Brasil**. 280 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-13122006-163035/>>. Acesso em: 12 fev. 2014.

GARCÍA-VALVERDE, R.; CHERNI, J. A.; URBINA, A. Life cycle analysis of organic photovoltaic technologies. **Progress in Photovoltaics**: research and applications, Frankfurt, v. 18, n. 7, p. 535-558, 2010.

GERNGROSS, T. U. Can biotechnology move us toward a sustainable society?. **Nature biotechnology**, Hanover, v. 17, n. 6, p. 541-544, 1999.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

HENDRICKSON, C. T. et al. Economic input-output models for environmental life cycle assessment. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 32, n. 7, p. 184A-191A, 1998.

HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; GUINÉE, J. B. Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis. **Polymer Degradation and Stability**, London, v. 95, n. 3, p. 422-428, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Bem-vindo à Comunidade ACV**. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/front-page/>>. Acesso em: 03 ago. 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14040**: life cycle assessment: principles and framework. ISO, 2006a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14044**: life cycle assessment - requirements and guidelines. ISO, 2006b.

JOLLIET, O. et al. IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Lausanne, v. 8, n. 6, p. 324-330, 2003.

JOSHI, S. V. et al. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?. **Composites Part A: applied science and manufacturing**, Washington, v. 35, n. 3, p. 371-376, 2004.

LUSTOSA, M. C. J. **Meio ambiente, inovação e competitividade na indústria brasileira: a cadeia produtiva do petróleo**. 2002. 250 f. Tese (Doutorado em Economia da Indústria e da Tecnologia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

MENDONCA, F. M.; PONTES, A. T.; SOUZA, R. G. Logística reversa, meio ambiente e sociedade. In: Rogério Valle, Ricardo de Souza Gabbay. (Org.). **Logística reversa: processo a processo**. São Paulo: Atlas, 2013. p. 5-17.

MIGUEL, P. A. C. et al. Desdobramento da qualidade no desenvolvimento de filmes flexíveis para embalagens. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, SP v. 13, n. 2, p. 87-94, 2003.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2014**: ano base 2013. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 16 abr. 2014.

NATIONAL INSTITUTE FOR STANDARDS AND TECHNOLOGY. **Engineering laboratory**. Disponível em: <<http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm>>. Acesso em: 10 ago. 2013.

NOVAES, R. R. P. Inventário do ciclo de vida da fabricação de embalagens plásticas com frações de matéria-prima virgens e recicladas. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA DE PRODUTOS E SERVIÇOS, 2., 2010. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s.n.], 2010. p. 126-132.

PINTO, A. L.; BARQUÍN, B. A. R. Representação gráfica de indicadores científicos utilizando redes sociais: aplicações válidas para novas investigações no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 6., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ENANCIB, 2005. Disponível em: <[http://www.ancib.org.br/media/dissertacao/GT7\\_Pinto\\_Rodriguez\\_Barquin.pdf](http://www.ancib.org.br/media/dissertacao/GT7_Pinto_Rodriguez_Barquin.pdf)>. Acesso em: ago. 2013.

PLÁSTICO. **Filmes biorientados**: ano agitado com as eleições e a copa de futebol promete reaquecer as vendas do setor. Disponível em: <<http://www.plastico.com.br/plastico/plastico/filmes-biorientados-ano-agitado-com-eleicoes-e-copa-de-futebol-promete-reaquecer-vendas-setor/>>. Acesso em: 20 ago. 2014. 2014a.

PLÁSTICO. **Tecnologia de biorientação conquista adeptos e garante novos desenvolvimentos e aumento de capacidade**. Disponível em: <<http://www.plastico.com.br/plastico/plastico/bopp-tecnologia-de-biorientacao-conquista-adeptos-e-garante-novos-desenvolvimentos-e-aumento-de-capacidade/>>. Acesso em: 20 ago. 2014. 2014b.

PRE-SUSTAINABILITY. **About SimaPro**. Disponível em: <<http://www.pre-sustainability.com/simapro-lca-software>>. Acesso em: 04 ago. 2013.

PRITCHARD, A. Statistical bibliography or bibliometrics? **Journal of documentation**, [S. l.], v. 25, n. 4, p. 348-349, 1969.

REBITZER, G. et al. Life cycle assessment: part 1: framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment International**, Amsterdam, v. 30, n. 5, p.701-720, 2004.

RIBEIRO, F. M.; SILVA, G. A. Life-cycle inventory for hydroelectric generation: a brazilian case study. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 18, p. 44-54, 2010.

RIBEIRO, P. H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados**. 2009. 341 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-31032010-114700/>>. Acesso em: 29 ago. 2014.

ROES, A. L. et al. Ex-ante environmental and economic evaluation of polymer photovoltaics. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, Frankfurt, v. 17, n. 6, p. 372-393, 2009.

SALOMON, A. L. **Produção de resina de polipropileno do tipo homopolímero através do processo SPHERIPOL®**. 2010. 116 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2010. Disponível em: <[http://www.bc.furb.br/docs/mo/2011/345934\\_1\\_1.pdf](http://www.bc.furb.br/docs/mo/2011/345934_1_1.pdf)>. Acesso em: 19 fev. 2014.

SEIFFERT, M. E. B. **Sistema de Gestão Ambiental (SGA ISO 14001)**: melhoria contínua através da produção mais limpa na prática e experiência de 24 empresas brasileiras. São Paulo: Atlas, 2011.

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

SILVA, G. A.; KULAY, L. A. Environmental performance comparison of wet and thermal routes for phosphate fertilizer production using LCA—A Brazilian experience. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 13, n. 13, p. 1321-1325, 2005.  
SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Operations management**. 6 ed. Pearson Education: Harlow, 2010.

SOUSA, W. H.; VASCONCELLOS, E. P. G. A competitividade das empresas do setor de embalagens para alimentos: um estudo de caso. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 88-100, 2000.

SUGAWARA, E. T. **Comparação dos desempenhos ambientais do B5 etílico de soja e do óleo diesel, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)**. 2012. 238 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-16072013-122953/>>. Acesso em: 23 nov. 2013.

TABONE, M. D. et al. Sustainability metrics: life cycle assessment and green design in polymers. **Environmental science & technology**, Iowa, v. 44, n. 21, p. 8264-8269, 2010.

TAMURA, S.; OHTA, K.; KANAI, T. Study of crater structure formation on the surface of biaxially oriented polypropylene film. **Journal of Applied Polymer Science**, [s. l.], v. 124, n. 4, p. 2725-2735, 2012.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência. 2004.

THOMSON REUTERS. **Scholarly search and discovery**. Disponível em: <<http://thomsonreuters.com/scholarly-scientific-research/scholarly-search-and-discovery/>>. Acesso em: 27 jul. 2013.

UMBERTO SOFTWARE. **Functions**. Disponível em: <<http://www.umberto.de/en/functions/>>. Acesso em: 11 ago. 2013.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Guidelines for social life cycle assessment of products**. 2009. Disponível em: <[http://www.unep.org/publications/search/pub\\_details\\_s.asp?ID=4102](http://www.unep.org/publications/search/pub_details_s.asp?ID=4102)>. Acesso em 02 fev. 2014.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **LCA resources**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/resources.html#LCA%20Related%20Web-sites>>. Acesso em: 10 ago. 2013.

UNIVERSITEIT LEIDEN. **Software CMLCA**. Disponível em: <<http://cml.leiden.edu/software/software-cmlca.html>>. Acesso em: 11 ago. 2013.

- VANTI, N. A. P. Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 152-162, 2002.
- VIANNA, F. C. **Análise de ecoeficiência: avaliação do desempenho econômico-ambiental do biodiesel e petrodiesel**. 2006. 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-27112006-180855/>>. Acesso em: 30 abr. 2014.
- VIANA, M. M. **Inventário do ciclo de vida do biodiesel etílico do óleo de girassol**. 2008. 223 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-10112008-111505/>>. Acesso em: 12 fev. 2014.
- VIGON, B. W.; JENSEN, A. A. Life cycle assessment: data quality and databases practitioner survey. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 3, n. 3, p. 135-141, 1995.
- VINK, E. T. H. et al. Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production. **Polymer Degradation and Stability**, London, v. 80, n. 3, p. 403-419, 2003.
- VINK, E. T. H. et al. Original research: the eco-profiles for current and near-future NatureWorks® polylactide (PLA) production. **Industrial Biotechnology**, London, v. 3, n. 1, p. 58-81, 2007.
- VON BLOTTNITZ, H; CURRAN, M. A. A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 15, n. 7, p. 607-619, 2007.
- VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, [s. l.], v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002.
- WEITZ, K. A. et al. Streamlining life cycle assessment: considerations and a report on the state of practice. **International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 1, n. 2, p. 79-85, 1996.
- WILLERS, C. D.; RODRIGUES, L. B.; SILVA, C. A. Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. **Revista Produção**, São Paulo, 2012. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65132012005000037&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132012005000037&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 6 dez. 2012.
- XAVIER, L. H. ; CORREA, H. L. **Sistemas de logística reversa: criando cadeias de suprimento sustentáveis**. São Paulo: Editora Atlas, 2013.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

YUKSEKKALAYCI, C.; YILMAZER, U.; ORBEY, N. Effects of nucleating agent and processing conditions on the mechanical, thermal, and optical properties of biaxially oriented polypropylene films. **Polymer Engineering & Science**, Stanford, v. 39, n. 7, p. 1216-1222, 1999.



## APÊNDICES

## Apêndice I – Lista de dissertações

Quadro 7: Lista de dissertações

<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Ano</b>	<b>Nível</b>
<b>1. Adriana Karaver Benjamin</b>	Desenvolvimento de modelo para avaliação de softwares de apoio à análise de ciclo de vida	2002	Mestrado
<b>2. Akepeu Koffi Claude</b>	Análise Crítica das Emissões de Gás Carbônico na Cadeia Produtiva da Embalagem para Cosmético: Estudo de caso - Frasco de Vidro para Perfume	2011	Mestrado
<b>3. Alex Rodrigues Nogueira</b>	Modelagem de sistemas de produto em estudo de ACV abrangendo o reaproveitamento de rejeitos	2012	Mestrado
<b>4. Ana Carolina Badalotti Passuello</b>	Aplicação da Avaliação de Ciclo de Vida em Embalagens Descartáveis para Frutas: Estudo de Caso	2007	Mestrado
<b>5. Ana Kelly Marinoski</b>	Método para avaliação de viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial	2010	Mestrado
<b>6. Anderson Ricardo Botolin</b>	Avaliação do Ciclo de Vida: principais métodos e estudo comparativo entre o cesto de plástico e de inox de uma lavadora de roupa	2009	Mestrado
<b>7. André Critchii Junior</b>	Incorporação de Indicadores Sociais Relacionados ao Trabalho à Avaliação de Ciclo de Vida: Estudo de Caso em uma Indústria Metal-Mecânica	2007	Mestrado
<b>8. André Moreira de Camargo</b>	Inventário do ciclo de vida do metanol para as condições brasileiras	2007	Mestrado
<b>9. André Silva Oliveira</b>	Análise ambiental da viabilidade de seleção de produtos da construção civil através da ACV e do software BEES 3.0	2007	Mestrado
<b>10. Anna Freita Portela de Souza</b>	A sustentabilidade no uso da madeira de floresta plantada na construção civil	2010	Mestrado
<b>11. Antonio dos Santos</b>	Análise das Potencialidades da Avaliação do Ciclo de Vida de Produto como Instrumento de apoio à Gestão Ambiental	1998	Mestrado
<b>12. Ariane de Souza</b>	Avaliação do Ciclo de Vida da Areia em Mineradora de Pequeno Porte na Região de São José do Rio Preto	2012	Mestrado
<b>13. Breno de Almeida Marques</b>	Considerações Ambientais e Exergéticas na Fase de Pós-Colheita de Grãos. Estudo de Caso do Estado do Paraná	2006	Mestrado
<b>14. Andréa Rodrigues Fabi</b>	Comparação do Consumo de Energia e Emissão de Co <sup>2</sup> entre Garrafas de PET e de Vidro, utilizando Análise Ambiental de Ciclo de Vida	2004	Mestrado
<b>15. Andreas de La Martinière Petroll</b>	Indicador de desempenho técnico e ambiental para sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos	2010	Mestrado
<b>16. Bruno Menezes Galindro</b>	Análise técnica e Avaliação do Ciclo de Vida de culturas de produção de microalgas para biodiesel	2012	Mestrado
<b>17. Bruno Silva Astro</b>	Uma Ferramenta para Avaliação de Dependabilidade e Sustentabilidade em Ambientes Data Center	2011	Mestrado
<b>18. Carina de Farias Gonçalves</b>	Pegada de carbono no ciclo de vida da celulose de eucalipto	2012	Mestrado
<b>19. Carla Gonçalves Machado</b>	Estudo da aplicabilidade dos conceitos da manufatura sustentável no rerrefino de óleos lubrificantes usados	2011	Mestrado
<b>20. Cecilia Martins Soares</b>	Potenciais de Geração de Créditos de Carbono na Indústria da Palma	2008	Mestrado
<b>21. Celso Munhoz Ribeiro</b>	Ciclo de Vida de Seringa para Injeção Odontológica no Brasil: Inventário e Análise de Melhorias	2004	Mestrado
<b>22. Cibele Dimitrijevas</b>	Análise de ecoeficiência de técnicas para tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos	2010	Mestrado
<b>23. Cibele Mally de Souza</b>	Avaliação do Potencial Energético do Processo de Incineração de Resíduos de Serviços de Saúde (RSS)	2011	Mestrado

	utilizando a metodologia do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)		
<b>24. Conrado Luis Garcia</b>	Indicadores de desempenho baseados na análise de ciclo de vida de produto: um estudo na WEG Indústrias S.A. - Motores	2008	Mestrado
<b>25. Cristiane Ferreira Eder</b>	Método para a escolha de processos considerando os impactos ambientais: uma aplicação para processos de decapagem	2005	Mestrado
<b>26. Diego Lima Medeiros</b>	Aproveitamento Energético das Microalgas: Uma avaliação de Ciclo de Vida	2012	Mestrado
<b>27. Diogo Aparecido Lopes Silva</b>	Avaliação do Ciclo de Vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil	2012	Mestrado
<b>28. Eden Roberto Cavalcante Souza</b>	Estudo quantitativo do impacto ambiental na produção industrial do polietileno	2004	Mestrado
<b>29. Edgar Eduardo Yanez Angarita</b>	Avaliação do Impacto Energético e Ambiental da Cogeração no Balanço Energético e no Ciclo de Vida do Biodiesel de Óleo de Palma Africana	2008	Mestrado
<b>30. Eduardo Toshio Sugawara</b>	Comparação dos desempenhos ambientais do B5 etílico de soja e do óleo diesel, por meio da avaliação do ciclo de vida (ACV)	2012	Mestrado
<b>31. Elaine Cristina de Souza</b>	A ecorreabilitação e a Avaliação do Ciclo de Vida das edificações	2011	Mestrado
<b>32. Everson Andrade dos Reis</b>	Um estudo sobre modelos de informações para elaboração de inventários de ciclo de vida de background	2008	Mestrado
<b>33. Fabiana de Araújo Ribeiro</b>	Avaliação do Ciclo de Vida na Indústria Calçadista do Rio Grande do Sul	2009	Mestrado
<b>34. Felipe Moreton Chohfi</b>	Balanço, Análise de Emissão e Sequestro de CO <sub>2</sub> na Geração de Eletricidade Excedente no Setor Sucro-Alcooleiro	2004	Mestrado
<b>35. Fernando Mendes de Almeida</b>	Fluxo de Emissões em Atividades do Poder Executivo Federal: o Caso do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior	2012	Mestrado
<b>36. Francieli Tatiana Olszensvski</b>	Avaliação do ciclo de vida da produção de leite em sistema semi extensivo e intensivo: estudo aplicado	2011	Mestrado
<b>37. Frederico Biagi Becker</b>	Avaliação das Emissões de Gases de Efeito Estufa do Ciclo de Vida de Indústrias de Produção de Etanol no Brasil, dentro do Contexto de Sustentabilidade da Comissão Europeia	2012	Mestrado
<b>38. Fulvia Jung Borges</b>	Inventário do ciclo de vida do PVC produzido no Brasil	2004	Mestrado
<b>39. George Luiz Bleyer Ferreira</b>	Utilização da ACV (Avaliação do Ciclo de Vida) e do DFE (Design for Environment) como subsídio em processos decisórios na avaliação da melhor opção de projeto do produto objetivando a redução dos custos ambientais nas empresas	1999	Mestrado
<b>40. Gilberto Benedet Júnior</b>	Avaliação de Incertezas em Inventários de Ciclo de Vida	2007	Mestrado
<b>41. Giovanni Pretto</b>	Técnica de Análise do Ciclo de Vida para gerenciamento ambiental de propriedades produtoras de suínos	2003	Mestrado
<b>42. Giselle Saraiva de Melo</b>	Metodologias de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: Um Estudo Comparativo	2009	Mestrado
<b>43. Gleydson Arandes de Almeida Fontinele</b>	Avaliação social do ciclo de vida de produto: Desenvolvimento de fichas metodológicas que possibilitem a pesquisa de indicadores para as subcategoria de impactos da parte interessada Trabalhador	2010	Mestrado
<b>44. Guilherme de Paula Galdiano</b>	Inventário do ciclo de vida do papel offset produzido no Brasil	2006	Mestrado

<b>45. Henrique Leonardo Maranduba</b>	Redução dos impactos ambientais no ciclo de vida do biodiesel de microalgas: uma proposta de integração com uma destilada de álcool	2012	Mestrado
<b>46. Ilana de Souza Nunes</b>	Identificação dos potenciais impactos ambientais na produção de plasma equino hiperimune no Instituto Vital Brazil utilizando a metodologia de ACV: um estudo de caso	2011	Mestrado
<b>47. Iliene Regina Nunes</b>	A avaliação do ciclo de vida como ferramenta para a educação ambiental: o uso da redução do desperdício e do aumento da produtividade como indicadores	2009	Mestrado
<b>48. Ingrid Daré Viana</b>	Mapeamento de processos geradores de resíduos em um biotério na perspectiva de Avaliação do Ciclo de Vida	2011	Mestrado
<b>49. Ittana de Oliveira Lins</b>	Avaliação energética e ambiental da produção de óleo de dendê para biodiesel na região do Baixo Sul, Bahia	2009	Mestrado
<b>50. Jaci Guilherme Dias Filho</b>	Gestão sustentável na produção cinematográfica: enfoque nos impactos ambientais relacionados à pegada de carbono	2011	Mestrado
<b>51. Jadir Borges Pinheiro</b>	Desenvolvimento do nematoide do cisto da soja em genótipo de ervilha	2002	Mestrado
<b>52. Júlia Hallack Sansão</b>	Análise ambiental de alvenarias em blocos: uma discussão baseada na avaliação do ciclo de vida e no desempenho térmico de envoltórias	2011	Mestrado
<b>53. Julio Cesar Benalcazar Chum</b>	Gestão do processo de desenvolvimento de produtos e a gestão do ciclo de vida: proposta de um modelo para o desenvolvimento de produtos sustentáveis	2010	Mestrado
<b>54. Katia Schoeps de Oliveira</b>	Avaliação do ciclo de vida das telhas ecológicas	2004	Mestrado
<b>55. Katlen Allganer</b>	Emissões de CO2 como Parâmetro da Avaliação do Ciclo de Vida do Amido de Milho Plastificado com Glicerol Destinado à Compostagem	2010	Mestrado
<b>56. Larissa Nardini Carli</b>	Obtenção e caracterização de artefatos produzidos com resíduos elastoméricos vulcanizados	2008	Mestrado
<b>57. Leandro Andrade Pegoraro</b>	Desenvolvimento de fatores de caracterização para toxicidade humana em avaliação do impacto do ciclo de vida no Brasil	2008	Mestrado
<b>58. Leonardo Egas</b>	Análise pluridimensional da sustentabilidade do ciclo de vida de um sistema estrutural de cobertura em madeira de Pinus. Caso: Assentamento rural Pirituba II	2008	Mestrado
<b>59. Lícia Trajano</b>	Avaliação do Ciclo de Vida dos produtos derivados do cimento para habitação de interesse social	2010	Mestrado
<b>60. Lilian Fernanda de Jesus Silva</b>	Produção de soro hiperimune no Instituto Vital Brazil: estudo de caso orientado à sustentabilidade através de avaliação do ciclo de vida	2012	Mestrado
<b>61. Liliane Klemann</b>	Verificação e utilização de dados de relatórios ambientais na elaboração de Inventários do ciclo de vida	2012	Mestrado
<b>62. Luzia Bouzan Oliveira Costa</b>	Avaliação do ciclo de vida da produção de biogás via estação de tratamento de esgoto e uso em célula a combustível de óxido sólido	2012	Mestrado
<b>63. Malis Maria Liebl Keil</b>	Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do mobiliário de madeira e derivados de madeira produzido na região do planalto norte catarinense	2012	Mestrado
<b>64. Marcelle Rodrigues de Souza</b>	Avaliação do ciclo de vida dos constituintes dos fluidos de perfuração de poços de petróleo	2012	Mestrado
<b>65. Marcelo Mendes Viana</b>	Inventário do ciclo de vida do biodiesel etílico do óleo de girassol	2008	Mestrado
<b>66. Márcio Alessandro de Lazzari</b>	Avaliação ambiental de um veículo elétrico coletor de resíduos sólidos urbanos recicláveis	2010	Mestrado

<b>67. Marco Antonio Díaz Díaz</b>	Análise do ciclo de vida do etanol brasileiro visando à certificação ambiental	2011	Mestrado
<b>68. Marcos Aurelio Zoldan</b>	Análise dos requisitos organizacionais para a avaliação do ciclo de vida (ACV) de produtos madeireiros	2008	Mestrado
<b>69. Maria Cécilia Araújo Santos</b>	Avaliação do Ciclo de Vida do bloco cerâmico com foco em habitações de interesse social	2012	Mestrado
<b>70. Maria Fernanda Nóbrega dos Santos</b>	Análise dos impactos na construção civil: avaliação do ciclo de vida em chapas de partículas para forros	2010	Mestrado
<b>71. Mariana Maia de Miranda</b>	Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida	2012	Mestrado
<b>72. Marilí de Lima Ferreira Brandão</b>	Design sustentável: o uso da matéria prima renovável um estudo de caso da produção do couro vegetal no norte do Brasil	2007	Mestrado
<b>73. Marilia Stella Vaz Costa</b>	O enfoque de ciclo de vida como estratégia para gestão sustentável: um estudo de caso sobre pneus	2007	Mestrado
<b>74. Mauricio dos Santos Sant'ana</b>	Determinação dos impactos ambientais provenientes de produtos da cadeia produtiva da indústria da construção civil brasileira: o caso dos pisos cerâmicos	2011	Mestrado
<b>75. Moana Silva Simas</b>	Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada	2012	Mestrado
<b>76. Osvaldo Verussa Junior</b>	Avaliação ambiental da logística reversa de produtos eletroeletrônicos: estudo de caso	2012	Mestrado
<b>77. Paola Karina Sánchez Ramirez</b>	Análise de métodos de alocação utilizados em avaliação do ciclo de vida	2009	Mestrado
<b>78. Paulo Henrique Ribeiro</b>	Modelagem de sistemas de produto em estudos de avaliação do ciclo de vida (ACV)	2004	Mestrado
<b>79. Paulo Ricardo Santos da Silva</b>	Avaliação de impactos e custos ambientais em processos industriais - uma abordagem metodológica	2003	Mestrado
<b>80. Priscila Pasti Barbosa</b>	Análise dos impactos ambientais da cadeia têxtil do algodão no espaço urbano-industrial: uma aplicação da avaliação do ciclo de vida	2012	Mestrado
<b>81. Rafael Justus Barreto</b>	Incorporação da avaliação do ciclo de vida ao processo de desenvolvimento de produtos	2007	Mestrado
<b>82. Rafael Pazeto Alvarenga</b>	Subsídios para avaliação do ciclo de vida de modo simplificada da produção agrícola de milho, por meio de um estudo de caso	2012	Mestrado
<b>83. Regina Celia Zimmermann</b>	O PVC e a sustentabilidade ambiental: marcos históricos e o caso Amanco Brasil	2004	Mestrado
<b>84. Renata Maery de Lima Mendonça</b>	Avaliação do Ciclo de Vida do Carbono na Queima de Biodiesel à Base de Óleo de Soja	2007	Mestrado
<b>85. Renata Patricia Soares Grisoli</b>	Comparação das emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol de cana-de-açúcar e os critérios da diretiva europeia para energias renováveis	2011	Mestrado
<b>86. Ricardo Barreto Moraes</b>	O designer e a avaliação do ciclo de vida dos Produtos: análise do uso das ferramentas	2005	Mestrado
<b>87. Rita de Cassia Monteiro Marzullo</b>	Análise de ecoeficiência dos óleos vegetais oriundos da soja e palma, visando a produção de biodiesel	2007	Mestrado
<b>88. Rita de Cássia Silva Braga</b>	Indicadores de biodiversidade para avaliação do uso da terra na ACV dos biocombustíveis	2011	Mestrado
<b>89. Roberta Tomasi Pires Hinz</b>	Aspectos e impactos ambientais associados ao processo de injeção da blenda PPO/PSAI através do inventário do ciclo de vida	2007	Mestrado
<b>90. Rodrigo Augusto Freitas de Alvarenga</b>	Avaliação de métodos de AICV: um estudo de caso de quatro cenários de ração para frangos de corte	2010	Mestrado
<b>91. Rogério Rodrigues</b>	Emprego da avaliação do ciclo de vida para levantamento dos desempenhos ambientais do biodiesel de girassol e do	2009	Mestrado

<b>Sallaberry</b>	óleo diesel		
<b>92. Rudinei Sergio Pestana</b>	Análise de ciclo de vida - uma análise crítica da ferramenta e seu papel no processo de gestão ambiental	2008	Mestrado
<b>93. Ruthe Rebello Pires Novaes</b>	Aplicação da metodologia de avaliação do ciclo de vida: inventário do ciclo de vida de embalagens plásticas no processo de moldagem a sopro por extrusão do polietileno de alta densidade (PEAD) em frações virgens e recicladas	2010	Mestrado
<b>94. Sabrina Rodrigues Sousa</b>	Normalização de Critérios Ambientais aplicados à Avaliação do Ciclo de Vida	2008	Mestrado
<b>95. Sandra Cristina Schuler</b>	Inventário de ciclo de vida do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do município de Santa Cruz do Sul	2008	Mestrado
<b>96. Sérgio Luiz Puff</b>	Avaliação de ciclo de vida de produtos metalúrgicos	2003	Mestrado
<b>97. Sergio Takahashi</b>	Avaliação ambiental do setor de transporte de cargas: comparação de métodos	2008	Mestrado
<b>98. Sibeli Warmling</b>	Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos. aplicação de avaliação do ciclo de vida	2004	Mestrado
<b>99. Sidinei Silvério da Silva</b>	Avaliação do ciclo de vida do etanol combustível: uma análise econômica, social e ambiental	2012	Mestrado
<b>100. Sidnei Castilhos Rodrigues</b>	Análise do processo de fabricação do compósito ecowood: estudo de caso de reciclagem	2009	Mestrado
<b>101. Silvana Fehn Bastianello</b>	Desenvolvimento de embalagens a partir de papel reciclado reforçado com fibras naturais: uma proposta ambientalmente amigável	2005	Mestrado
<b>102. Tais Larissa da Silva</b>	Avaliação do ciclo de vida de fios têxteis: estudo de caso de uma fiação da cidade de Maringá, Paraná	2012	Mestrado
<b>103. Tássia Viol Moretti</b>	Método de avaliação da estrutura de inventários de ciclo de vida: análise para casos brasileiros	2011	Mestrado
<b>104. Thiago José Millani</b>	Subsídios à Avaliação do Ciclo de Vida do pescado: avaliação ambiental das atividades de piscicultura e pesque-pague, estudo de caso na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu	2007	Mestrado
<b>105. Tiago Barreto Rocha</b>	Harmonização de inventários de ciclo de vida de biocombustíveis do Brasil	2011	Mestrado
<b>106. Vitor Miranda de Souza</b>	Desenvolvimento de ferramenta para avaliação de projeto de produto com fim de vida sustentável baseada em modelo stage-gate aperfeiçoado com abordagem set-based	2012	Mestrado
<b>107. Vivian Carolina Ferreira Muniz</b>	Análise da fundamentação da avaliação do ciclo de vida consequencial	2012	Mestrado
<b>108. Vlândia das Chagas Bezerra Ramazzote</b>	Avaliação do ciclo de vida do biodiesel de soja: estudo de caso com avaliação do uso do solo no Brasil	2010	Mestrado
<b>109. Vladimir Surgelas</b>	Inventário do ciclo de vida dos processos de produção do bloco cerâmico e bloco de resíduos de construção e demolição (RCD): estudo de caso em Belo Horizonte	2010	Mestrado
<b>110. Wagner Menezes da Silva</b>	Avaliação do ciclo de vida do glicerol e de seus processos de purificação	2012	Mestrado
<b>111. Juliana de Carvalho</b>	Análise de ciclo de vida ambiental aplicada a construção civil - estudo de caso: comparação entre cimentos Portland com adição de resíduos	2002	Mestrado
<b>112. Alexandre Yoshikazu Yokote</b>	Inventário de ciclo de vida da distribuição de energia elétrica no Brasil	2003	Mestrado
<b>113. Breno Monteiro dos Santos</b>	Metodologia de dimensionamento de sistemas de aquecimento solar para secagem de produtos agrícolas	2004	Mestrado
<b>114. Carina Zamberlan Flores</b>	Procedimento para especificação e compra de materiais da construção civil de menor impacto ambiental	2011	Mestrado

<b>115. Carlos Adriano Rosa</b>	Estudo do balanço energético e do passivo ambiental resultante da fabricação do módulo fotovoltaico	2008	Mestrado
<b>116. Carlos Vicente John dos Santos</b>	Tecnologias de produção mais limpas e análise de ciclo de vida na indústria da construção civil - estudos de casos	2000	Mestrado
<b>117. Claudio Elias Carvalho</b>	A análise do ciclo de vida e os custos completos no planejamento energético	2000	Mestrado
<b>118. Claudio Pereira de Sampaio</b>	Diretrizes para o design de embalagens em papelão ondulado movimentadas entre empresas com base em sistemas produto-serviço	2008	Mestrado
<b>119. Constance Manfredini</b>	Identificação dos impactos ambientais causados pelas indústrias de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul	2003	Mestrado
<b>120. Cristiano Arns Kato</b>	Arquitetura e sustentabilidade: projetar com ciência e energia	2008	Mestrado
<b>121. Deise Viana Mastella</b>	Comparação entre os processos de produção de Blocos Cerâmicos e de Concreto para Alvenaria Estrutural, através da análise do Ciclo de Vida	2002	Mestrado
<b>122. Elbert Muller Nigri</b>	Análise Comparativa do Ciclo de Vida de Produtos Alimentícios Industriais e Artesanais da Culinária Mineira	2012	Mestrado
<b>123. Felipe Henrique Azevedo Campos</b>	Análise do ciclo de vida na construção civil: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto	2012	Mestrado
<b>124. Fernanda Cristina Vianna</b>	Análise de ecoeficiência: avaliação do desempenho econômico-ambiental do biodiesel e petrodiesel	2006	Mestrado
<b>125. Flávia Maria Achão Surgelas</b>	Inventário do ciclo de vida da aplicação e manutenção de revestimento cerâmico e pintura externa: estudo de caso em Minas Gerais	2009	Mestrado
<b>126. Flávio de Miranda Ribeiro</b>	Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil - Usina de Itaipú: Primeira aproximação	2004	Mestrado
<b>127. Gabriel Timm Müller</b>	Emprego da pegada hídrica e da análise de ciclo de vida para a avaliação do uso da água na cadeia produtiva do biodiesel de soja	2012	Mestrado
<b>128. Gabriela Delgado Ibrahim</b>	Aplicação da metodologia de ACV como apoio para avaliação do desempenho operacional na produção de sacos plásticos usando material reciclado: um estudo de caso	2007	Mestrado
<b>129. Husein Husni Caldeira Husein</b>	Análise de ciclo de vida na fabricação de reservatórios de água de fibra de vidro	2004	Mestrado
<b>130. Isis Samara Ruschel Pasquali</b>	ACV em auxílio ao gerenciamento ambiental dos resíduos sólidos de construção e demolição civil de Santa Maria/RS	2005	Mestrado
<b>131. Janine Gomes da Silva</b>	Análise do ciclo de vida de tijolos prensados de escória de alto-forno	2005	Mestrado
<b>132. Juliana Cintra da Silva</b>	Análise do Impacto Ambiental do Processo de Produção de Hidrogênio	2005	Mestrado
<b>133. Leandro de Souza Reichel</b>	Inventário do ciclo de vida (ICV) da produção de soja no Paraná	2012	Mestrado
<b>134. Leila Mendes da Luz</b>	Proposta de modelo para avaliar a contribuição dos indicadores obtidos na análise do ciclo de vida sobre a geração de inovação na indústria	2011	Mestrado
<b>135. Luciane Poletto Gatto</b>	Programa de gestão ambiental para o processo de mineração no município de São Domingos do Sul	2003	Mestrado
<b>136. Luciane Sartori</b>	Avaliação comparativa de desempenho ambiental de duas caixas de carga de semi-reboque bitrem graneleiro: compósito natural versus compósito sintético	2007	Mestrado
<b>137. Luiz Alexandre Kulay</b>	Desenvolvimento de modelo de análise de ciclo de vida adequado às condições brasileiras - aplicação ao caso do superfosfato simples	2000	Mestrado

<b>138. Manuela Fontana Alves</b>	A evolução de materiais na indústria automobilística: o caso Volkswagen caminhões e ônibus	2006	Mestrado
<b>139. Marcelo Nascimento Bernal</b>	Avaliação ambiental do cultivo de <i>Aleurites fordii</i> heml. através da Análise do Ciclo de Vida	2012	Mestrado
<b>140. Márcio Montagnana Vicente Leme</b>	Avaliação das opções tecnológicas para geração de energia a partir dos resíduos sólidos urbanos: estudo de caso	2010	Mestrado
<b>141. Marcos Aurelio Justino Ribeiro</b>	Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na busca de ecoeficiência na fabricação de pães de forma	2011	Mestrado
<b>142. Maristela de Cássia F. Ramos Oliveira</b>	Estudo Comparativo de Tintas Utilizando a Análise do Ciclo de Vida	2006	Mestrado
<b>143. Mateus Henrique Prediger</b>	Inventário de ciclo de vida da produção agrícola de girassol	2008	Mestrado
<b>144. Mateus Henrique Rocha</b>	Uso da Análise do Ciclo de Vida para a comparação do desempenho ambiental de quatro alternativas para tratamento da vinhaça	2009	Mestrado
<b>145. Mauro Pereira Hill</b>	Uso de energia em transporte: análise comparativa da eficiência energética entre os ciclos de vida do gás natural veicular comprimido e da energia termelétrica a gás para uso final em automóveis leves	2010	Mestrado
<b>146. Osvaldo Stella Martins</b>	Análise de ciclos de vida como contribuição à gestão ambiental de processos produtivos e empreendimentos energéticos	1999	Mestrado
<b>147. Oto Roberto Moerschbaeher</b>	Avaliação econômica e energética de resíduos poliméricos do setor avícola: análise do impacto ambiental	2008	Mestrado
<b>148. Renata Bachmann Guimaraes Valt</b>	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	2004	Mestrado
<b>149. Renato Paula de Andrade</b>	Delimitação de metodologias de gestão ambiental para execução de teste hidrostático em dutos de gás natural	2004	Mestrado
<b>150. Rita Mello Magalhães</b>	Análise de Ciclo de Vida orientada para o meio ambiente, uma revisão crítica.	1998	Mestrado
<b>151. Rosane Rodrigues Pagno</b>	ACV (Análise do Ciclo de Vida), como ferramenta de decisão para diminuir o passivo ambiental numa indústria moveleira	2003	Mestrado
<b>152. Sheila Elisa Scheidemantel Klein</b>	Diretrizes de gestão ambiental na indústria da construção civil de edificações	2002	Mestrado
<b>153. Stella Maris Gomes de Almeida</b>	Estudo da técnica de Análise do Ciclo de Vida e sua aplicação como ferramenta de gestão ambiental nas empresas	1998	Mestrado
<b>154. Telmo Luiz Bruson</b>	O fator higiene ocupacional, dentro da Análise do Ciclo de Vida de um produto: proposta para abordagem	2001	Mestrado
<b>155. Vera Lucia Pimentel Salazar</b>	Subsídios para análise do ciclo de vida de assentos à base de fibra de côco e látex	2000	Mestrado
<b>156. Wady Facury Victorino</b>	Inventário de Ciclo de Vida do sistema de transmissão de energia elétrica	2004	Mestrado

Fonte: Elaborado pela própria autora

## Apêndice II – Lista de teses

**Quadro 8: Lista de teses**

<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Ano</b>	<b>Nível</b>
<b>1. Aldo Roberto Ometto</b>	Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos edip, exergia e emergia	2005	Doutorado
<b>2. Alexander Ruldoph Marin Sablowski</b>	Balanço de materiais na gestão ambiental da cadeia produtiva do carvão vegetal para produção de ferro gusa em Minas Gerais	2008	Doutorado
<b>3. Álvaro Hernán Restrepo Victoria</b>	Metodologia de análise e avaliação exergoambiental de plantas termoelétricas operando em combustão combinada carvão-biomassa	2012	Doutorado
<b>4. Ana Claudia Nioac de Salles</b>	Emissões de gases do efeito estufa dos dormentes de madeira natural e de madeira plástica no Brasil e na Alemanha com base nos seus ciclos de vida	2009	Doutorado
<b>5. André Luiz Ribeiro Tachard da Silva</b>	Desenvolvimento de fatores de normalização de impactos ambientais regionais para Avaliação do Ciclo de Vida de produtos no estado de São Paulo	2010	Doutorado
<b>6. André Pereira de Carvalho</b>	Gestão sustentável de cadeias de suprimento: análise da indução de práticas socioambientais por uma empresa brasileira do setor de cosméticos	2011	Doutorado
<b>7. Andreza Kalbusch</b>	Método para avaliação do impacto ambiental da instalação de equipamentos economizadores de água a partir da Avaliação do Ciclo de Vida	2011	Doutorado
<b>8. Carlos Alberto Di Agustini</b>	Contribuição para ranqueamento setorial da dimensão ambiental do ISE da BM&Fbovespa	2012	Doutorado
<b>9. Cláudio Favarini Ruviaro</b>	Life Cycle Assessment in beef production in Brazil	2012	Doutorado
<b>10. Consuelo de Lima Fernandes Pereira</b>	Avaliação de sustentabilidade ampliada de produtos agroindustriais. estudo do caso: suco de laranja e etanol	2008	Doutorado
<b>11. Aldo Gomes Queiroz</b>	Avaliação do Ciclo de Vida de biodiesel de dendê produzido na Amazônia	2011	Doutorado
<b>12. Alexandre Augusto Oliveira Santos</b>	Sustentabilidade ambiental da criação de camarões de água doce e uso de aguapé no tratamento dos efluentes	2012	Doutorado
<b>13. Arimar Leal Vieira</b>	Análise do Ciclo de vida: uma avaliação social e econômica da reciclagem das latas de alumínio da cidade de Belém	2004	Doutorado
<b>14. Cássia Maria Lie Ugaya</b>	Análise de Ciclo de Vida: estudo de caso para materiais e componentes automotivos	2001	Doutorado
<b>15. Danielly Borges Garcia Macedo</b>	Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida de sistemas construtivos - aplicação em um sistema estruturado em aço	2011	Doutorado
<b>16. David Alves Castelo Branco</b>	Avaliação do real potencial de redução das emissões de CO2 equivalente com uso da captura em uma UTE a carvão	2012	Doutorado
<b>17. Flavio Augusto Barrella</b>	Ferramenta para análise de desempenho ambiental na geração de energia elétrica	2011	Doutorado
<b>18. Jean Carlo Camasmie de Paola</b>	Análise ambiental de aços forjados	2004	Doutorado
<b>19. João Carlos de Almeida Mieli</b>	Sistemas de avaliação ambiental na indústria de celulose e papel	2007	Doutorado
<b>20. Jorge de Matos Casaca</b>	Policultivos de peixes integrados à produção vegetal: avaliação econômica e sócio ambiental (peixe-verde)	2008	Doutorado
<b>21. José Antonio Costa Perez</b>	A aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida para análise dos aspectos ambientais que envolvem a	2008	Doutorado



	reciclagem de sucatas nas usinas siderúrgicas		
<b>22. Juan Carlos Claros Garcia</b>	Emissão de gases de efeito estufa na obtenção do etanol de cana-de-açúcar: uma avaliação considerando diferentes cenários tecnológicos em Minas Gerais	2011	Doutorado
<b>23. Kelly Alonso Costa de Macedo</b>	A utilização da Avaliação do Ciclo de Vida no processo de tomada de decisão em sustentabilidade na indústria da construção no subsetor de edificações	2012	Doutorado
<b>24. Lienne Carla Pires</b>	Análise de Ciclo de Vida como ferramenta para a identificação de impactos ambientais na cadeia produtiva da cerveja	2005	Doutorado
<b>25. Lino José Cardoso Santos</b>	Avaliação do ciclo de vida e custeio do ciclo de vida de evaporadores para usinas de açúcar	2007	Doutorado
<b>26. Lúcia Helena da Silva Maciel Xavier</b>	Sistemas logísticos e a gestão ambiental no gerenciamento do ciclo de vida de embalagens plásticas	2005	Doutorado
<b>27. Luciano Miguel Moreira dos Santos</b>	Desenvolvimento de uma metodologia e um software para avaliação ambiental de processos metalúrgicos	2001	Doutorado
<b>28. Luiz Alexandre Kulay</b>	Uso da Análise de Ciclo de Vida para a comparação do desempenho ambiental das rotas úmida e térmica de produção de fertilizantes fosfatados	2004	Doutorado
<b>29. Luiz Antonio Viegas da Silva</b>	Proposta de sistema de gestão integrada de meio ambiente, segurança e saúde no trabalho (sgi-mss) para empresas: metodologia de implantação prática com ferramentas de validação e controle	2007	Doutorado
<b>30. Luiza Carla Girard Teixeira Machado</b>	Análise de ciclo de vida aplicada ao gerenciamento de resíduos: o caso da ETA Bolonha - RMB	2003	Doutorado
<b>31. Marcelo Costa Almeida</b>	Avaliação social do ciclo de vida de produtos: Proposta de método e avaliação preliminar do álcool etílico hidratado combustível	2009	Doutorado
<b>32. Marcelo Real Prado</b>	Análise de fluxos de materiais e energia do ciclo de vida de embalagens para indústria de refrigerantes no Brasil	2007	Doutorado
<b>33. Marcio De Almeida D'Agosto</b>	Análise da eficiência da cadeia energética para as principais fontes de energia utilizadas em veículos rodoviários no Brasil	2004	Doutorado
<b>34. Marcus Vinicius Pereira Remédio</b>	Avaliação de ciclo de vida de garrafas PET: materiais, energia e emissões	2004	Doutorado
<b>35. Maria Luiza Grillo Renó</b>	Avaliação do balanço energético e dos impactos ambientais do processo de produção de metanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar, utilizando a ACV	2011	Doutorado
<b>36. Maristela Soares Lourenço</b>	A água na indústria de pescados e no segmento de alimentação coletiva: uso da Avaliação do Ciclo de Vida como ferramenta para o desenvolvimento sustentável	2012	Doutorado
<b>37. Omar Seye</b>	Análise de Ciclo de Vida aplicada ao processo de cerâmica tendo como insumo energético capim elefante	2003	Doutorado
<b>38. Otavio Cavalett</b>	Análise do Ciclo de Vida da soja	2008	Doutorado
<b>39. Paulo Ernani Bauer</b>	Metodologia e procedimentos para a consideração ambiental no projeto de processos químicos	2003	Doutorado
<b>40. Paulo Henrique Ribeiro</b>	Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à Avaliação do Ciclo de Vida	2009	Doutorado
<b>41. Paulo Sergio Germano Carvalho</b>	Estudo aplicado de ACV a sistema de refrigeração por absorção e por compressão de vapor de amônia	2010	Doutorado

<b>42. Paulo Sergio Moreira Soares</b>	Avaliação do desempenho ambiental de um sistema de produto para geração de energia elétrica a partir do carvão	2006	Doutorado
<b>43. Sandra Harumi Fukurozaki</b>	Avaliação do ciclo de vida de potencias rotas de produção de hidrogênio: estudo dos sistemas de gaseificação da biomassa e de energia solar fotovoltaica	2011	Doutorado
<b>44. Sergio Augusto Oliveira Alves</b>	Sustentabilidade da agroindústria de palma no estado do Pará	2011	Doutorado
<b>45. Sérgio Fernando Tavares</b>	Metodologia para Análise do Ciclo de Vida Energético de edificações residenciais brasileiras	2006	Doutorado
<b>46. Silvia Ilena Palma Rojas</b>	Contribuição do enfoque de ciclo de vida da ecologia industrial na economia do meio ambiente: estudo de caso: etanol derivado do bagaço da cana-de-açúcar	2012	Doutorado
<b>47. Stelvia Vigolvino Matos</b>	Seleção de fronteiras para análise de ciclo de vida de sistemas que emitem poluentes tóxicos de chaminés	2002	Doutorado
<b>48. Vamilson Prudêncio da Silva Júnior</b>	Effects of intensity and scale of production on environmental impacts of poultry production chains: LCA of French and Brazilian poultry production scenarios	2011	Doutorado
<b>49. Yane Ribeiro de Oliveira Lobo</b>	Proposta de metodologia de concepção e projeto do produto considerando aspectos ambientais no ciclo de vida	2000	Doutorado
<b>50. Zeila Chittolina Piotto</b>	Eco-eficiência na industria de celulose e papel	2003	Doutorado

Fonte: Elaborado pela própria autora

### Apêndice III – Protocolo de pesquisa

A pesquisa de campo é parte de uma dissertação de mestrado da pesquisadora, aluna do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, *campus* Sorocaba (PPGEP-S) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR) campus de Sorocaba.

O objetivo da pesquisa é realizar o inventário do ciclo de vida do filme de BOPP para as condições brasileiras. Para a obtenção de dados relacionados à produção do BOPP uma empresa produtora do filme, localizada na região de Sorocaba, foi envolvida na pesquisa.

O nome da empresa será mantido em sigilo em publicações como, por exemplo, a dissertação da aluna e artigos em congressos e revistas.

Para a execução da pesquisa, foram entrevistados os profissionais que possuem relação direta com a produção do filme, atividades de transporte e pesquisa e desenvolvimento, tanto nos níveis estratégico, tático ou operacional.

Foi acordado realizar a observação direta do processo produtivo uma vez por semana durante 4 meses corridos. As fichas utilizadas para a coleta de dados, observadas abaixo, são disponibilizadas pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009b).

Tabela 1: Folha de dados para transporte a montante do processo

Nome do produto intermediário	Transporte rodoviário			
	Distância (km)	Capacidade do caminhão (t)	Carga real (t)	Retorno vazio (Sim/Não)

Tabela 2: Folha de dados para transporte interno

Quantidade total de entrada transportada	Consumo total de combustível
Óleo diesel	
Gasolina	
GLP*	
*Gás liquefeito de petróleo	

Tabela 3: Folha de dados para processo elementar

Preenchido por:		Data do preenchimento:		
Identificação do processo elementar:		Local de origem dos dados:		
Período de tempo: Ano		Mês de início		Mês de término:
Descrição do processo elementar:				
Entradas de material	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem	Origem
Consumo de água	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem	Origem
Entradas de energia	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem	Origem
Saídas de material (incluindo o produto)	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem	Origem

Tabela 4: Folha de dados para ICV

Processo elementar:		Local de origem dos dados:	
Emissões atmosféricas	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem
Liberações para a água	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem
Liberações para o solo	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem
Outras liberações	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem

**Apêndice IV – Inventário consolidado para produção de 1.000 kg de filme de BOPP**

Aspecto Ambiental	Unidade	Extração de 1.299 kg de petróleo nacional e importado	Produção de 1.202 kg de nafta	Produção de 904 kg de propeno	Produção de 879 kg de resina de PP	Produção de 1.000 kg de filme de BOPP	Transporte marítimo de 247 kg de petróleo importado por 13.300 km	Transporte rodoviário de 879 kg de PP por 167 km	Soma dos aspectos ambientais
<b>ENTRADAS</b>									
<b>Recursos materiais</b>									
Petróleo	kg	1,42E+03	1,35E+03				2,65E+01		2,79E+03
Gás natural	kg	5,51E+01					1,28E-01		5,52E+01
Combustíveis renováveis	kg	4,21E-01							4,21E-01
Carvão	kg	6,06E-02					1,28E-01		1,89E-01
Nafta	kg			1,20E+03					1,20E+03
Propeno	kg				9,04E+02				9,04E+02
Catalisadores	kg				1,81E+00				1,81E+00
Aditivos	kg				3,73E+00	2,35E+00			6,08E+00
Materiais auxiliares	kg				9,99E+01				9,99E+01
Óleo diesel	kg							2,98E+00	2,98E+00
PP Grão	kg					8,79E+02			8,79E+02
Regranulado	kg					2,32E+02			2,32E+02
<b>Recursos líquidos</b>									
Água	kg	2,92E+02			9,61E+03	4,37E+03	4,34E-01		1,43E+04

CONTINUA

<b>Recursos energéticos</b>										
Energia		GJ	4,21E-04					9,13E-03		9,55E-03
Energia elétrica		GJ	4,37E-04				1,47E+03		8,26E+00	1,48E+03
Gás natural		kg					1,81E+01			1,81E+01
GLP		kg					4,06E-01		2,23E+01	2,27E+01
Óleos		kg					7,32E+01			7,32E+01
<b>SAÍDAS</b>										
<b>Emissões atmosféricas</b>										
CO		kg	4,19E-01	3,55E-02	4,88E-01	1,58E-01	5,00E-01	2,30E-01	1,60E-02	1,85E+00
CO <sub>2</sub>		kg	2,11E+02	1,12E+01	9,58E+02	2,75E+02	2,09E+02	7,69E+01	9,32E+00	1,75E+03
Vapor de água		kg	2,98E-01							2,98E-01
Material particulado		kg	1,57E-01	1,36E-02	2,71E-02		5,30E-06	7,03E-04	4,46E-03	2,03E-01
CH <sub>4</sub>		kg	3,36E+00	5,12E-02					3,19E-04	3,41E+00
SO <sub>x</sub>		kg		6,58E-03	1,81E-01	2,12E-02		1,22E+00	2,88E-03	1,43E+00
NO <sub>x</sub>		kg		7,86E-03	1,82E+00	8,88E-01		1,45E+00	9,84E-02	4,26E+00
CxHy		kg		2,68E-05	1,27E+00		1,98E+00	1,37E-01		3,39E+00
Metais		kg						2,07E-06		2,07E-06
COVNM		kg		1,29E+00				4,24E-03	9,15E-03	1,30E+00
CH <sub>3</sub> SH		kg		1,35E-05						1,35E-05
H <sub>2</sub> S		kg		2,82E-04						2,82E-04
N <sub>2</sub>		kg						7,69E+02		7,69E+02
N <sub>2</sub> O		kg							2,13E-03	2,13E-03

CONTINUA

<i>Efluentes líquidos</i>										
DBO	kg	4,34E-02						1,03E-05		4,34E-02
DQO	kg	2,68E-01			3,62E-02			2,07E-05		3,04E-01
Metais pesados não especificados	kg	6,01E-06								6,01E-06
CxHy	kg	2,52E-03								2,52E-03
Efluentes líquidos não especificados	kg	4,19E-05								4,19E-05
Água residual	kg	4,06E-03				1,67E+03		3,15E+02		1,99E+03
Óleos	kg	1,07E-02	9,60E-03					1,43E-04		1,57E-01
Sólidos suspensos totais	kg	1,38E-01								1,38E-01
Compostos de enxofre	kg				8,14E-02					8,14E-02
Íons metálicos	kg							1,03E-05		1,03E-05
Cl <sup>-</sup>	kg		3,28E-02					2,07E-05		3,28E-02
CxHy	kg							4,14E-05		4,14E-05
Na <sup>x</sup>	kg		2,20E-02		2,80E-01					3,02E-01
<i>Resíduos sólidos</i>										
Resíduos não especificados	kg	4,52E-07						4,57E-03		4,57E-03
Resíduos oleosos	kg							3,38E-01		3,38E-01
Resíduos perigosos	kg					1,66E+00				1,66E+00
Resíduos não recicláveis	kg					1,28E+01				1,28E+01
Scrap de BOPP	kg							2,04E+02		2,04E+02
Borra	kg							2,71E+00		2,71E+00
PP Grão	kg							2,58E-01		2,58E-01
Resíduos de embalagem	kg							7,32E+00		7,32E+00
Resíduos de madeira	kg							6,08E+00		6,08E+00