



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM ENGENHARIA
QUÍMICA



Avaliação Comparativa do Ciclo de Vida entre rótulos de papel e de polipropileno para embalagens descartáveis utilizando a abordagem do berço ao portão de fábrica

Autor: Tainara Oliveira do Amaral

Orientador: Profa. Dra. Débora Jung Luvizetto Faccin

Porto Alegre, novembro de 2020

Autor: Tainara Oliveira do Amaral

Avaliação Comparativa do Ciclo de Vida entre rótulos
de papel e de polipropileno para embalagens
descartáveis utilizando a abordagem do berço ao
portão de fábrica

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à COMGRAD/ENQ da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul como parte dos
requisitos para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química*

Orientador: Profa. Dra. Débora Jung Luvizetto Faccin

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Nilson Romeu Marcilio, DEQUI - UFRGS

Prof. Dr. Pedro Juarez Melo, DEQUI - UFRGS

Porto Alegre

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Zilá e Delmar, por todos ensinamentos ao longo da vida e por incentivarem todos meus sonhos e objetivos. Obrigada por todo acolhimento e amor, por me manterem financeiramente, por confiarem em mim, por toda liberdade que me deram e por me proporcionarem esse momento de grande alegria. Sem vocês não teria conseguido.

Agradeço à minha irmã gêmea Tainá, por ter crescido e evoluído comigo, que mesmo longe sempre esteve presente nos momentos mais importantes. É um privilégio te ter na minha vida e compartilhá-la contigo.

Aos meus familiares, que sempre torceram por mim, fizeram tudo que puderam para que eu tivesse conforto e pudesse me dedicar aos estudos. Quero ser sempre um orgulho para vocês.

À UFRGS e aos meus professores pela formação, oportunidades, aprendizados e crescimento. Que privilégio e orgulho estudar na segunda melhor Universidade Federal do Brasil e me formar como Engenheira Química. Sou muito grata por essa experiência ímpar em que o meu maior sonho, se torna realidade. Missão cumprida!

À minha orientadora Débora, por aceitar esse desafio comigo, por todos ensinamentos, paciência, incentivo, dedicação e apoio durante essa última etapa do curso.

Aos meus amigos de Santa Cruz que me acompanham desde antes do início desse ciclo, em especial à minha amiga Carina, que sempre me incentivou, esteve presente, compartilhou todas as fases comigo. Sou muito grata pela tua amizade e pela nossa história.

Às minhas amigas Sabrina e Camila, que proporcionaram que nossa casa se tornasse um lar cheio de alegria e afeto, onde podemos compartilhar nossas angústias e também nossas maiores conquistas. Obrigada gurias, vocês são demais.

Aos meus tantos amigos queridos que Porto Alegre me trouxe, em todos os projetos que participei, encontrei pessoas admiráveis e inspiradoras. Aos colegas e amigos de Engenharia Química, em especial à Amanda, Débora, Natália, Eduardo D., Izabella, Rubens, Giorgio, Eduardo C., Murilo, Maicon, Gustavo e Túlio que sabem muito bem o quão longa e difícil é essa jornada. Foram muitas manhãs, tardes, noites e madrugadas estudando, dividindo conhecimentos, acalmando um ao outro ou entrando em desespero juntos, mas também foram muitas risadas, momentos leves, comemorações e parceria. Vocês foram essenciais nessa caminhada e os momentos que vivemos ficarão na memória, obrigada por fazerem a faculdade ser incrível.

Por fim, agradeço também a todos que direta ou indiretamente contribuíram para meu desenvolvimento e me incentivaram nesses 6 anos de graduação. Obrigada Porto Alegre, Obrigada Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tenho muito orgulho dessa jornada!

RESUMO

O uso de materiais que geram menores impactos ambientais, e que sejam economicamente viáveis é uma das principais preocupações da sociedade, das indústrias e dos governos. Majoritariamente, a escolha dos materiais dos produtos se baseiam nos impactos gerados pela destinação final dos produtos, desconsiderando aspectos relativos à sua produção. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta de gestão ambiental que busca avaliar os aspectos ambientais e minimizar os impactos potenciais no ciclo de vida de produtos. Frente a essa preocupação, este trabalho busca comparar, através da ACV, os impactos gerados pela produção de rótulos de papel e de polipropileno para embalagens descartáveis, utilizando abordagem do berço ao portão de fábrica, e identificar as etapas que necessitam de melhorias do ponto de vista ambiental, para apoiar a tomada de decisão das indústrias e organizações. Os inventários de ciclo de vida para cada etapa do processo produtivo dos rótulos foram baseados em dados secundários encontrados na literatura. As categorias de impacto escolhidas para serem avaliadas no trabalho são potencial de aquecimento global, potencial de acidificação, pegada hídrica e demanda bioquímica de oxigênio. Os rótulos de polipropileno mostraram um desempenho melhor relacionados às categorias de pegada hídrica e demanda bioquímica de oxigênio enquanto que rótulos de papel se mostram mais vantajosos na avaliação das categorias de potencial de aquecimento global e potencial de acidificação. No consolidado geral, os rótulos de papel no processo produtivo, considerando as limitações e fronteiras escolhidas ao longo do trabalho, mostra-se em desvantagem ambiental em comparação aos rótulos de polipropileno, principalmente devido a pegada hídrica, que é a categoria que mais impactou nesse resultado.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida, rótulos, papel, polipropileno

ABSTRACT

The use of materials that generate less environmental impact, and that are economically viable is one of the main concerns of society, industries and governments. Mostly, the choice of materials for products is based on the impacts generated by the final destination of products, disregarding aspects related to their production. Life Cycle Assessment (LCA) is an environmental management tool that seeks to assess environmental aspects and minimize potential impacts on the life cycle of products. Faced with this concern, this work seeks to compare, through the LCA, the impacts generated by the production of paper and polypropylene labels for disposable packaging, using an approach from the cradle to gate, and identify the steps that need improvement from an environmental point of view, to support the decision making of industries and organizations. The life cycle inventories for each stage of the label production process were based on secondary data found in the literature. The impact categories chosen to be assessed at work are global warming potential, acidification potential, water footprint and biochemical oxygen demand. The polypropylene labels showed a better performance related to the categories of water footprint and biochemical oxygen demand, while paper labels proved to be more advantageous in assessing the categories of global warming potential and acidification potential. In the general consolidation, paper labels in the production process, considering the limitations and boundaries chosen throughout the work, show an environmental disadvantage compared to polypropylene labels, mainly due to the water footprint, which is the category that most impacted this result.

Keywords: *Life cycle assessment, Labels, Paper, Polypropylene*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas do Ciclo de Vida de um produto	3
Figura 2: Fases de uma ACV.....	4
Figura 3: Exemplo de rótulo autoadesivo.....	8
Figura 4: Passo a passo da aplicação de rótulos termoencolhíveis.....	9
Figura 5: Passo a passo da aplicação de rótulos in-mold label	9
Figura 6: Exemplo de aplicação de rótulo pré-cortado	10
Figura 7: Exemplo de aplicação de rótulo roll label	11
Figura 8: Esquema simplificado das etapas de fabricação de polímeros.....	11
Figura 9: Processos de produção de poliolefinas	12
Figura 10: Diagrama simplificado do processo <i>Spheripol</i>	13
Figura 11: Processo de Fabricação de Filmes de BOPP	14
Figura 12: Esquema simplificado de máquina de produção de papel	15
Figura 13: Fluxograma simplificado do sistema de produto considerado para produção de rótulo de BOPP.	17
Figura 14: Fluxograma simplificado do sistema de produto considerado para produção de rótulo de papel.	18
Figura 15: Potencial de aquecimento global para cada subsistema da produção de rótulo de BOPP.	34
Figura 16: Potencial de aquecimento global para cada subsistema da produção de rótulo de Papel.	34
Figura 17: Potencial de acidificação para cada subsistema da produção de rótulo de BOPP.	35
Figura 18: Potencial de acidificação para cada subsistema da produção de rótulo de Papel.	35
Figura 19: Pegada hídrica para cada subsistema da produção de rótulo de BOPP.	36
Figura 20: Pegada hídrica para cada subsistema da produção de rótulo de Papel.	36
Figura 21: Demanda bioquímica de oxigênio para cada subsistema da produção de rótulo de BOPP.	37
Figura 22: Demanda bioquímica de oxigênio para cada subsistema da produção de rótulo de Papel.	37
Figura 23: Impactos ambientais comparando rótulos de polipropileno e rótulos de papel	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: ICV de dados brutos para extração de 1000 kg de petróleo cru	20
Tabela 2: Fatores de alocação para os derivados do petróleo.	21
Tabela 3: ICV de dados brutos para refino de petróleo cru e obtenção de 1000 kg de nafta.	22
Tabela 4: ICV de dados brutos para craqueamento da nafta e obtenção de 1000 kg de propeno.	23
Tabela 5: ICV de dados brutos para produção de 1000 kg de polipropileno.	23
Tabela 6: ICV de dados brutos para transporte de 1000 kg de petróleo por 13.300 km.	24
Tabela 7: ICV de dados brutos para transporte de 1000 kg de resina PP por 167 km.	25
Tabela 8: ICV de dados brutos para produção de 1000 kg de filme de BOPP.	26
Tabela 9: ICV de dados brutos para produção de 1000 kg de rótulos a partir do filme de BOPP.	27
Tabela 10: ICV de dados brutos para produção florestal de 1000 kg de madeira	28
Tabela 11: ICV de dados brutos para transporte rodoviário de 1000 kg de madeira por 150 km.	29
Tabela 12: ICV de dados brutos para extração e branqueamento de 1000 kg celulose branqueada.	30
Tabela 13: ICV de dados brutos para recuperação química de 1000 kg celulose branqueada.	31
Tabela 14: ICV de dados brutos para produção de 1000kg de papel offset.	32
Tabela 15: ICV de dados brutos para produção de 1000 kg de rótulos a partir do papel couché.	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABCV – Associação Brasileira de Ciclo de Vida
- ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química
- ABRE – Associação Brasileira de Embalagem
- ACV - Avaliação do Ciclo de Vida
- AICV – Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- BOPP – Polipropileno Biorientado
- COV - Compostos orgânicos voláteis
- COVNM – Compostos Orgânicos Voláteis Não-metanados
- CFC - Clorofluorcarbonetos
- DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DQO – Demanda Química de Oxigênio
- GAN – Grupo de Apoio à Normalização Ambiental
- GLP – Gás Liquefeito de Petróleo
- HCFC - hidroclorofluorcarbonos
- IBICT – Instituto Brasileiro de Informações em Ciência e Tecnologia
- ICV – Inventário do Ciclo de Vida
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
- ISO – *International Organization for Standardization*
- NBR – Norma Técnica Brasileira
- PBACV – Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida
- PETG - Tereftalato de polietileno glicol
- PVC - Policloreto de vinil
- REPA - *Resource and Environmental Profile Analysis*
- TRS – Compostos reduzidos de enxofre (*total reduced sulphur*)
- UPGN - Unidade de Processamento de Gás Natural

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	2
2	Revisão Bibliográfica	3
2.1	Avaliação do Ciclo de Vida	3
2.1.1	Conceitos e Histórico	3
2.1.2	A série NBR ISO 14040 e as Fases de uma ACV	4
2.1.3	ACV como ferramenta de gestão	5
2.1.4	Metodologia da ACV	5
2.2	Rótulos e Embalagens	7
2.2.1	Embalagens	7
2.2.2	Rótulos	7
2.2.3	Rotulagem	8
2.3	Produção de Rótulos de Polipropileno	11
2.3.1	Produção do polipropileno	11
2.3.2	Produção de rótulos a partir do filme de BOPP	13
2.4	Produção de Rótulos de Papel	14
2.4.1	Processo de extração da celulose	14
2.4.2	Processo de produção do papel	15
2.4.3	Produção de rótulos a partir de papel	16
3	Execução da ACV	17
3.1	Definição do objetivo	17
3.2	Definição do escopo	17
3.2.1	Definição da função e da unidade funcional	17
3.2.2	Definição das fronteiras e dos sistemas de produto estudados	17
3.2.3	Tipos de impactos e metodologia de AICV	18
3.2.4	Limitações	19
3.3	Análise de inventário	19
3.3.1	Análise de Inventário para rótulo de polipropileno	19
3.3.2	Análise de Inventário para rótulo de papel	28
4	Avaliação de Impactos ambientais e interpretação	34
4.1	Potencial de aquecimento global	34
4.2	Potencial de Acidificação	35
4.3	Pegada Hídrica	36
4.4	Demanda Bioquímica de Oxigênio	37
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	39
	REFERÊNCIAS	40
	APÊNDICE A	44
	ANEXO A	52

1 Introdução

No cenário atual em que vivemos, onde o consumo dos recursos naturais se mostra cada vez maior comparado à capacidade de reposição natural desses recursos, o desenvolvimento sustentável se mostra um tema recorrente e importante nas discussões sobre a capacidade de suprir as necessidades da geração atual e das futuras, que também deverá estar alinhado com o desenvolvimento econômico e social.

O desenvolvimento sustentável requer métodos e ferramentas para auxiliar na quantificação e comparação de impactos ambientais das atividades humanas para geração de bens e serviços (produtos) para a sociedade. A busca por um modelo de desenvolvimento sustentável que seja capaz de conservar e proteger o meio ambiente é um desafio a ser enfrentado pela sociedade e principalmente pelos tomadores de decisão.

Todos produtos tem um ciclo de vida que inclui desde a extração da matéria-prima até sua disposição final. No contexto em que a necessidade de uma visão sistêmica sobre o ciclo de vida do produto, de uma cadeia produtiva integrada que tem relação direta com o meio ambiente, a avaliação do ciclo de vida tornou-se uma das ferramentas de gestão ambiental mais empregadas para as análises dos potenciais impactos ambientais associados a cada etapa que o produto passa para ser produzido, distribuído, utilizado e descartado.

Os rótulos têm sua importância dada por diversos fatores como identidade visual do produto e marca, informações nutricionais do produto, informações sobre descarte correto de embalagens vazias, além de codificação para rastreabilidade dos fabricantes. Apesar de ter custo baixo na soma de custos da fabricação e distribuição do produto, podem gerar impactos ambientais significativos e a escolha do material do rótulo é um fator importante para entender isso. Os principais materiais utilizados na fabricação de rótulos de embalagens descartáveis são papel e polipropileno. Para analisar os impactos ambientais gerados na produção desses materiais, será feito uma avaliação do ciclo de vida, não encontrada na literatura, utilizando a abordagem do berço ao portão da fábrica, comparando e identificando, ao longo do ciclo de vida dos rótulos, as etapas que necessitam de melhorias do ponto de vista ambiental, para apoiar a tomada de decisão das indústrias e organizações.

1.1 Objetivos

Objetivo principal: Analisar e comparar os impactos ambientais associados a produção dos rótulos de polipropileno e de papel pelo método da Avaliação do Ciclo de Vida.

Objetivos específicos:

- I. Estudar as etapas dos processos de produção dos rótulos de polipropileno e de papel adotando a abordagem do berço ao portão de fábrica;
- II. Obter os inventários de ciclo de vida gerados a partir de 1000kg de rótulos;
- III. Analisar as categorias de impacto ambiental: Potencial de Aquecimento Global, Potencial de Acidificação, Pegada Hídrica e Demanda Bioquímica e Oxigênio.
- IV. Comparar os resultados obtidos.

O estudo pretende retratar a realidade nacional das etapas produtivas do polipropileno e do papel, e para isto, aproxima-se das condições tecnológicas típicas em que esses produtos são fabricados.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Avaliação do Ciclo de Vida

2.1.1 Conceitos e Histórico

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método de avaliação dos aspectos ambientais e impactos potenciais associado a todo o ciclo de vida útil de um produto, ou seja, desde a extração da matéria-prima até seu retorno ao meio ambiente (ABNT, 2014a; GALDIANO, 2006).

Figura 1: Etapas do Ciclo de Vida de um produto



Fonte: ABIQUIM, 2014.

Os estudos iniciais sobre a Avaliação do Ciclo de Vida de produtos surgiram nos anos de 1960 quando a conscientização sobre os problemas ambientais começou a ter uma escala global (CHRISTIANSEN, 1998; GALDIANO, 2006).

Com o objetivo de identificar qual embalagem de refrigerante seria a melhor opção para minimizar as emissões e recursos em sua fabricação, o primeiro estudo entendido como ACV foi realizado em 1965 nos Estados Unidos pela Coca-Cola. Esse estudo ficou conhecido como *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA) e produziu um inventário de matérias-primas, dos combustíveis utilizados e dos impactos ambientais do processo produtivo de cada embalagem (CURRAN, 2006).

Utilizando o REPA como referência, a metodologia da ACV, ao longo dos anos, foi aprimorada e consolidada permitindo assim melhores análises dos impactos ambientais e o surgimento de bancos de dados sobre o assunto.

A ACV surgiu no Brasil em 1994, a partir do Grupo de Apoio à Normalização Ambiental (GANA) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que criou o subcomitê de ACV. O qual participou de discussões sobre as primeiras normas brasileiras de ACV, e se

dedicou à análise do desenvolvimento da série de normas ISO 14000 que se refere à gestão ambiental (IBICT, 2014; LIMA, 2007).

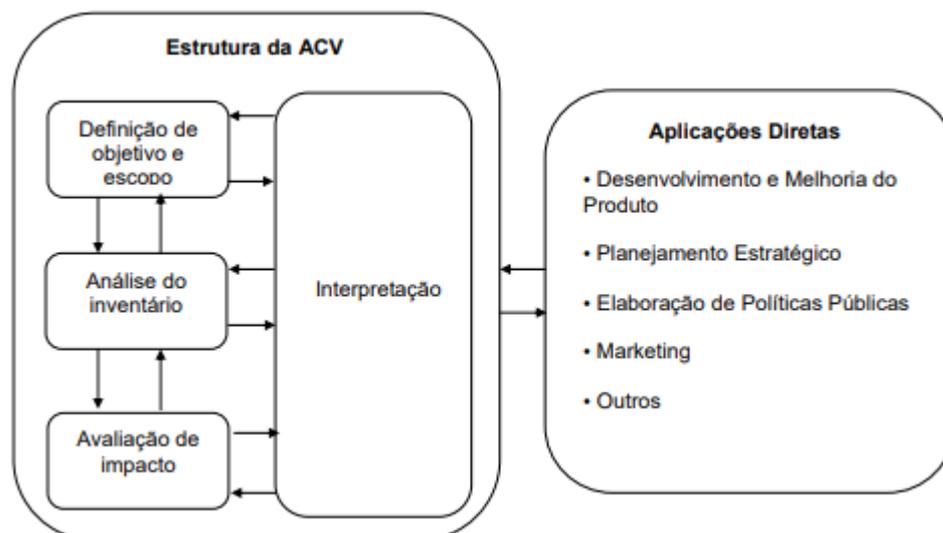
Com o objetivo de fomentar a ACV nos diversos setores e segmentos de indústrias, centros de pesquisa e também do governo, em 2002 foi criada a Associação Brasileira de Ciclo de Vida, ABCV. E a partir desta, outras instituições de renome também incorporaram a ACV como uma temática importante em suas linhas de trabalho como IBICT em 2003, Inmetro em 2004. A publicação do livro Avaliação do Ciclo de Vida- A ISO 14040 na América Latina em 2005 e o lançamento do Programa Brasileiro de ACV (PBACV) também contribuíram para o fortalecimento da ACV e Inventários de Ciclo de Vida (ICVs) nacionais (IBICT, 2014).

2.1.2 A série NBR ISO 14040 e as Fases de uma ACV

Através da análise de uma ACV, é possível identificar quais são os aspectos positivos e os negativos relacionados a um produto. As ACVs são padronizadas pelas NBR ISO 14040 – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura e NBR ISO 14044 – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações.

Conforme essas normas, o estudo de ACV engloba as fases de definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação, como apresentado na Figura 2, onde estão ilustradas também suas inter-relações que indicam que os resultados de uma etapa podem interferir no que foi definido na etapa anterior, evidenciando a característica iterativa da metodologia.

Figura 2: Fases de uma ACV



Fonte: ABNT, 2014a.

2.1.3 ACV como ferramenta de gestão

Com a concorrência entre as organizações, o processo de globalização, o desenvolvimento econômico e a crescente preocupação com os recursos naturais e a sustentabilidade, o gerenciamento da qualidade de produtos e processos, assim como a qualidade ambiental foram incorporadas pelas empresas como estratégias de tomada de decisão para se manterem competitivas (DE ASSIS, 2009; LOPES et al., 2002).

Nesse cenário, a Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos mostra-se uma importante ferramenta de gerenciamento, considerando a integração da performance ambiental, os fatores econômicos, a qualidade dos produtos, a sustentabilidade da cadeia e a tecnologia para agregar valor aos produtos.

Para que a ACV possa ser utilizada de modo amplo e confiável, faz-se necessário que se desenvolvam bases de dados regionalizadas, contendo Inventários de Ciclo de Vida (ICV) dos principais insumos usados pela sociedade - energia, matérias-primas entre outros.

2.1.4 Metodologia da ACV

2.1.3.1. Definição de Objetivo e Escopo

O objetivo do estudo da ACV deve especificar a aplicação pretendida, o motivo para execução, o público-alvo e a intenção de utilização dos resultados.

O escopo deve estar de acordo com os objetivos declarados para garantir a profundidade e detalhamento do estudo, especificando os itens: sistema do produto estudado; função do produto; unidade funcional; fluxo de referência; as fronteiras do sistema; procedimentos de alocação; categorias de impacto escolhidas; requisitos de qualidade de dados e limitações do estudo (ABNT, 2014a; COELHO, 2019; GALDIANO, 2006). Destes itens citados, serão melhor especificados a seguir as fronteiras e categorias de impactos.

Baseado em ABIQUIM (2014) e ABNT (2014b), é necessário escolher as fronteiras do sistema estudado. Os tipos de fronteiras utilizadas são:

- a. *Cradle-to-gate* (berço ao portão): Desde a extração da matéria-prima até a porta da fábrica.
- b. *Cradle-to-grave* (berço ao túmulo): Desde a extração da matéria-prima até o uso e descarte do produto.
- c. *Gate-to-Gate* (portão ao portão): De um ponto definido ao longo do ciclo de vida (por ex., onde as matérias-primas recebidas cruzam a entrada de um local de fabricação) para um segundo ponto definido ao longo do ciclo de vida (por ex., onde um produto acabado é entregue para um usuário final).

Conforme ABIQUIM (2014) e ABNT (2014b), as categorias de impactos ambientais mais comumente utilizadas no estudo da ACV e que devem ser escolhidas, são as seguintes:

- a. Demanda de Energia Cumulativa (CED – *Cumulative Energy Demand*);
- b. Potencial de Aquecimento Global (GWP – *Global Warming Potential*), também conhecido como Pegada de Carbono (*Carbon Footprint*);
- c. Potencial de Destruição do Ozônio (ODP – *Ozone Depletion Potential*);
- d. Potencial de Acidificação (AP – *Acidification Potential*);
- e. Potencial de Eutrofização (EP – *Eutrophication Potential*), também conhecido como Potencial de Nutrição (NP – *Nutrition Potential*);
- f. Potencial de Criação de Ozônio Fotoquímico (POCP - *Photochemical Ozone Creation Potential*);
- g. Pegada de Água de Consumo e Pegada de Emissões de Água;
- h. Avaliação de Toxicidade Ambiental e em Humanos;
- i. Mudança direta no uso da terra (LUC - *Land Use Change*);
- j. Demanda Bioquímica de Oxigênio (BOD - *Biochemical Oxygen Demand*);

2.1.3.2. Análise do inventário de Ciclo de Vida (ICV)

Nesta fase é feita a coleta de dados e cálculos de balanço de massa e energia dos fluxos para quantificar as entradas e saídas (emissões, matérias-primas e energia).

O processo de construção do inventário é iterativo, uma vez que à medida que aumenta o conhecimento sobre o sistema, pode ser encontrada limitações e gerar uma necessidade de modificar o procedimento de coleta de dados, ou até mudanças no escopo e objetivo do estudo, de modo a manter a compatibilidade entre as diferentes fases (ABNT, 2014a; OLIVEIRA, 2017).

Através do inventário, é possível identificar, no ciclo de vida do produto, onde há maior desperdício de matéria-prima ou onde ocorre maior geração de resíduos, facilitando assim a implementação de melhorias nos processos em conformidade com os objetivos e necessidades das empresas (DE ASSIS, 2009).

2.1.3.3. Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV)

Na fase de avaliação do impacto ambiental, o objetivo é estudar a importância e intensidade dos impactos ambientais potenciais selecionados do sistema estudado, de acordo com os resultados do ICV. Durante esta fase iterativa, que pode exigir modificações nas etapas anteriores, é feita a análise das categorias de impacto,

indicadores de categoria e modelos de caracterização escolhidos; correlação de resultados do ICV; cálculo de resultados dos indicadores de categoria; e resultados da AICV (ABNT, 2014a).

2.1.3.4. Interpretação do Ciclo de Vida

Segundo a ISO 14040, é a fase de combinação das informações e resultados das fases anteriores, na qual identificamos as questões ambientais mais significativas, baseado no ICV e na AICV, realizamos análises de sensibilidade, incerteza e geráramos as conclusões, limitações e as recomendações da avaliação (ABNT, 2014a; VIANA, 2008).

2.2 Rótulos e Embalagens

2.2.1 Embalagens

Armazenagem, condicionamento e transporte são as três funções principais das embalagens. Ao longo dos anos, elas evoluíram em termos de processo, projeto e materiais empregados para atender todas as especificações e praticidade que se precisa. Hoje existem diversos tipos de embalagem com diferentes materiais para diferentes segmentos de mercado.

O projeto de desenvolvimento de uma embalagem passa por várias etapas antes de ser concluído. É importante que todos os elos da cadeia produtiva sejam envolvidos nesse processo afim de se obter um resultado de embalagem eficiente, adequada para utilização e produção e também que seja convidativa para o público (ABRE, 2018).

A etapas envolvidas são: estudo de materiais, normas e leis, cadeia de valor, especificações, função, a que se destina, segurança, além de outros fatores, como o próprio ciclo de vida dos produtos e materiais (BUGS, 2004).

2.2.2 Rótulos

Existem diversas outras funções da embalagem além das três funções essenciais, e uma delas que é importantíssima é a comunicação. A embalagem tem a função de informar o consumidor, através da forma, dimensão, cor, gráficos símbolos e impressão. E são os rótulos que desempenham grande parte dessa função.

O rótulo, segundo Giovannetti (1995), é o pedaço de papel, plástico, madeira, metal, tecido, ou até mesmo à própria pintura da embalagem, que cumpre as funções de identificar o produto e/ou a marca; categorizar os produtos; informar os aspectos dos produtos, como, quem, onde e quando foi feito, sua quantidade, conteúdo, como se usa, e quais as normas de segurança do produto embalado; e a função de promover o produto mediante a um *design* atrativo para o consumidor.

A importância do ciclo do rótulo está associada às condições e etapas que ele passará durante o seu tempo de vida útil associado a embalagem. É preciso estudar estes pontos para que seja escolhido, dentre as diversas opções, o modelo do rótulo e o tipo de

rotulagem mais adequada conforme o projeto da embalagem, objetivos e especificações da função do rótulo.

2.2.3 Rotulagem

Conforme a sua aplicabilidade na embalagem, os rótulos podem ser frontal, que cobre apenas uma porção da embalagem e pode ser colocado em qualquer parte da embalagem; envolvente, cobre completamente as laterais de uma embalagem; e retrátil, que são flexíveis e se adaptam conforme a embalagem (BUGS, 2004).

Existem diversos tipos de rótulos e formas de rotulagem, a seguir serão descritos os mais utilizados, baseado em Baumgarten (2013):

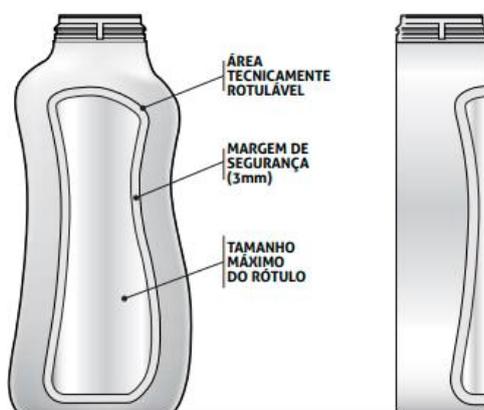
Autoadesivo

Entre as opções de rótulos, essa é a que vem se consolidando no mercado. Possui uma estrutura de três camadas, frontal, adesivo (camada intermediária) e liner (suporte para o rótulo adesivo) que são escolhidos conforme as especificações da embalagem, avaliando propriedades de adesão, formato, resultado visual e custos. São encontrados nos mais diversos segmentos de produtos e necessitam de painéis planos e não funcionam em embalagens com dupla geometria.

O frontal deve ser escolhido conforme as características visuais requeridas, pois cada material utilizado, os mais comuns são papéis e filmes plásticos, traduz uma imagem diferente, e deve garantir a integridade da informação contida nele. O adesivo deve ser escolhido conforme sua aplicação, pode ter remoção ou reposicionamento (com ou sem vestígio) ou adesão permanente. O liner é definido pela etapa de aplicação dos rótulos e os equipamentos utilizados e podem ser de papel ou filme plástico.

A Figura 3 ilustra os rótulos autoadesivos.

Figura 3: Exemplo de rótulo autoadesivo



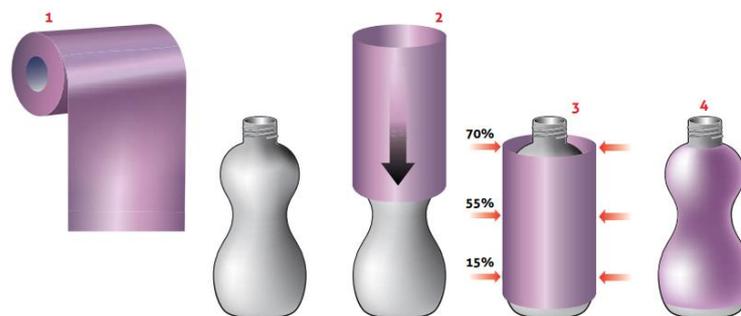
Fonte: BAUMGARTEN, 2013.

Termoencolhível

É um dos sistemas de rotulagem de embalagem mais avançado e complexo. A impressão é feita em um substrato contrátil no sentido transversal, possui flexibilidade e após ser submetido ao calor, se molda ao formato da embalagem. Devido a essa propriedade, deve ser bem estudado para que durante esse processo não se deforme ou contraia. Os substratos mais comumente usados são plásticos (PETG e PVC).

Os rótulos chegam à máquina aplicadora em bobinas; depois de cortados, são abertos e lançados sobre a embalagem; passam pelo túnel de encolhimento com temperatura regulada para diferentes área de contração e assume formato da embalagem. A Figura 4 ilustra esse processo.

Figura 4: Passo a passo da aplicação de rótulos termoencolhíveis

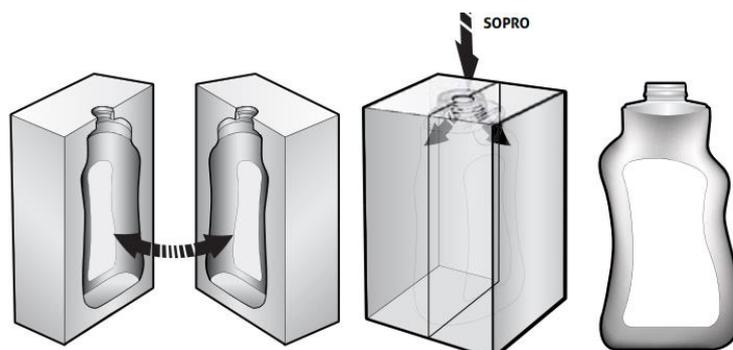


Fonte: BAUMGARTEN, 2013.

In-mold label (IML)

Essa forma de rotulagem é quando o rótulo é aplicado dentro do molde da peça plásticas injetadas ou sopradas. Esse tipo de rótulo é integrado com a embalagem e não é removível. É necessário que os materiais da embalagem e do rótulo sejam compatíveis para que esse tipo de rotulagem seja eficiente e mantenha sua integridade. Os filmes mais usados nesse modelo são à base de poliolefinas. A Figura 5 ilustra o exemplo de aplicação de in-mold label, no qual os rótulos são acomodados por um robô nas cavidades do molde e se fundem definitivamente à parede da embalagem soprada.

Figura 5: Passo a passo da aplicação de rótulos in-mold label



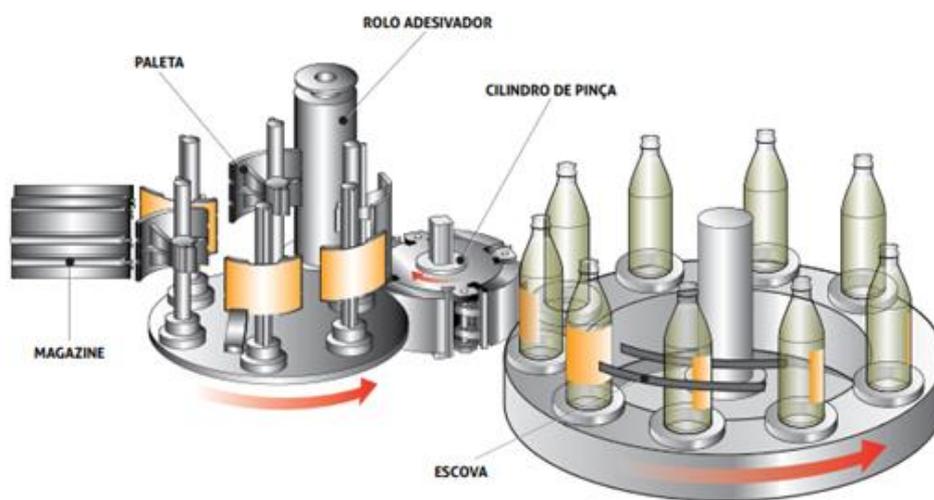
Fonte: BAUMGARTEN, 2013.

Pré-cortado

Esse tipo de rótulo é individual e pré-cortado (diferentes do autoadesivos que são bobinas) comumente utilizado em embalagens rígidas e com alta produtividade e volume. Tem um custo menor comparados aos outros tipos e há possibilidade de aplicação de vernizes especiais para produzirem efeitos. O principal insumo utilizado é o papel e também com filmes plásticos (especialmente BOPP).

O rótulo é puxado do magazine por uma paleta com uma fina camada de adesivo (cola fria ou quente) aplicada e em seguida, é transferida para a embalagem, onde é alisado por uma escova, como mostra a Figura 6.

Figura 6: Exemplo de aplicação de rótulo pré-cortado

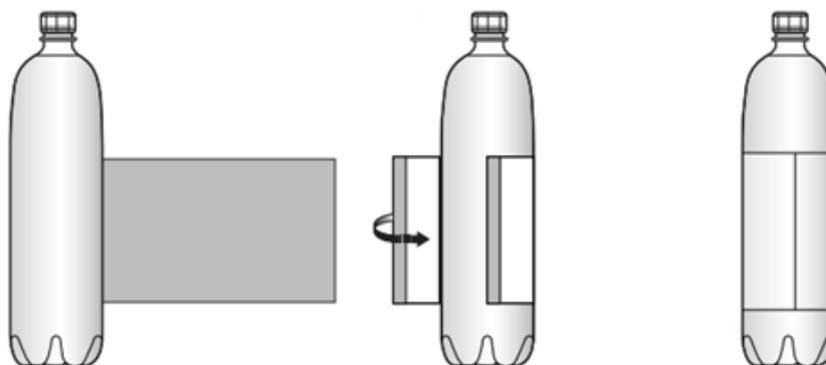


Fonte: BAUMGARTEN, 2013.

Roll label

São aplicados, por um processo contínuo, em volta do perímetro da embalagem, pode ser antes ou depois do envase. Fornecidos através de bobinas, utilizados para produção em massa e normalmente necessitam de adesivo. Para a produção desses rótulos são utilizados filmes de polipropileno (BOPP) e papel. Também é possível trabalhar com efeitos metalizados e outros recursos. A Figura 7 ilustra a aplicação do rótulo, já cortado, que recebe uma faixa de adesivo em uma de suas extremidades que adere à embalagem; posteriormente um movimento de rotação puxa o rótulo, que é colado com uma segunda faixa de adesivo, aplicado na outra extremidade.

Figura 7: Exemplo de aplicação de rótulo roll label



Fonte: BAUMGARTEN, 2013.

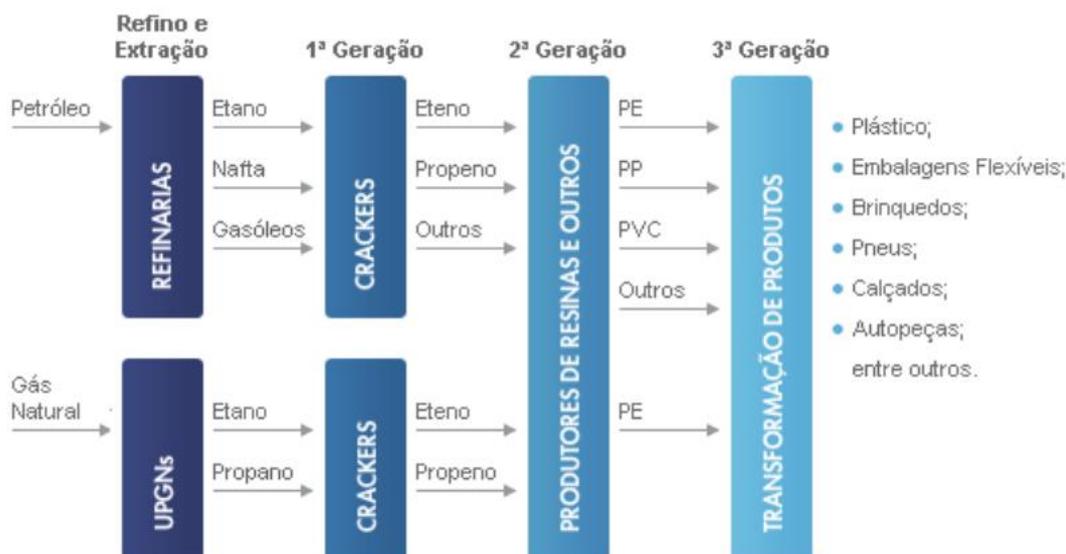
2.3 Produção de Rótulos de Polipropileno

2.3.1 Produção do polipropileno

O polipropileno (PP) é um polímero termoplástico pertencente ao grupo das poliolefinas obtido através da polimerização por adição do monômero propileno (propeno), que é um subproduto gasoso do refino do petróleo. É uma resina de baixa densidade, que oferece um bom equilíbrio de propriedades térmicas, químicas e elétricas, acompanhadas de resistência moderada.

Como mostra a Figura 8, o esquema da matéria-prima (petróleo ou gás natural) até a obtenção dos pellets de PP, passa pelas etapas de extração, refino, craqueamento, polimerização e transformação em produtos.

Figura 8: Esquema simplificado das etapas de fabricação de polímeros



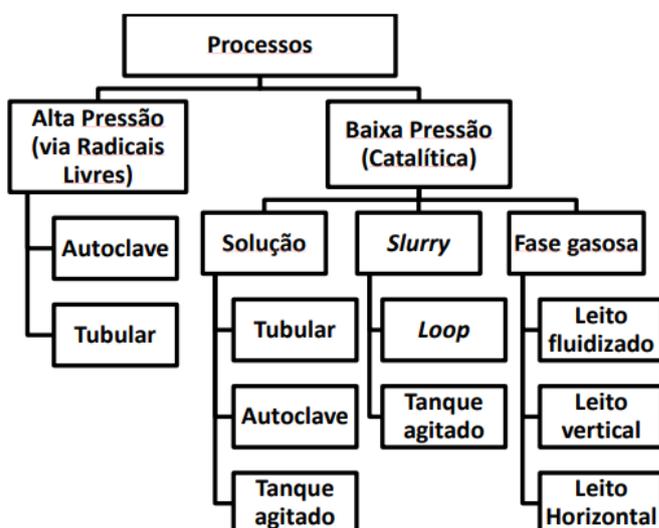
Fonte: CARVALHO, 2008.

O petróleo bruto é extraído do subsolo da crosta terrestre e é submetido ao refino do petróleo no qual é feito uma destilação fracionada para separar a mistura baseada nos diferentes pontos de ebulição dos componentes da mistura. A fração mais leve é a gasosa que sai no topo da coluna, na parte intermediária da coluna sai a fração de gasolina, querosene, óleo combustível, óleo lubrificante até a fração mais pesada, no fundo, que são os resíduos da destilação.

Assim a nafta, fase gasosa da destilação, passa por uma fase de craqueamento que é um conjunto de vários processos químicos com o objetivo de fracionar as cadeias longas de hidrocarbonetos e gerar hidrocarbonetos de cadeias mais curtas como o eteno e o propeno.

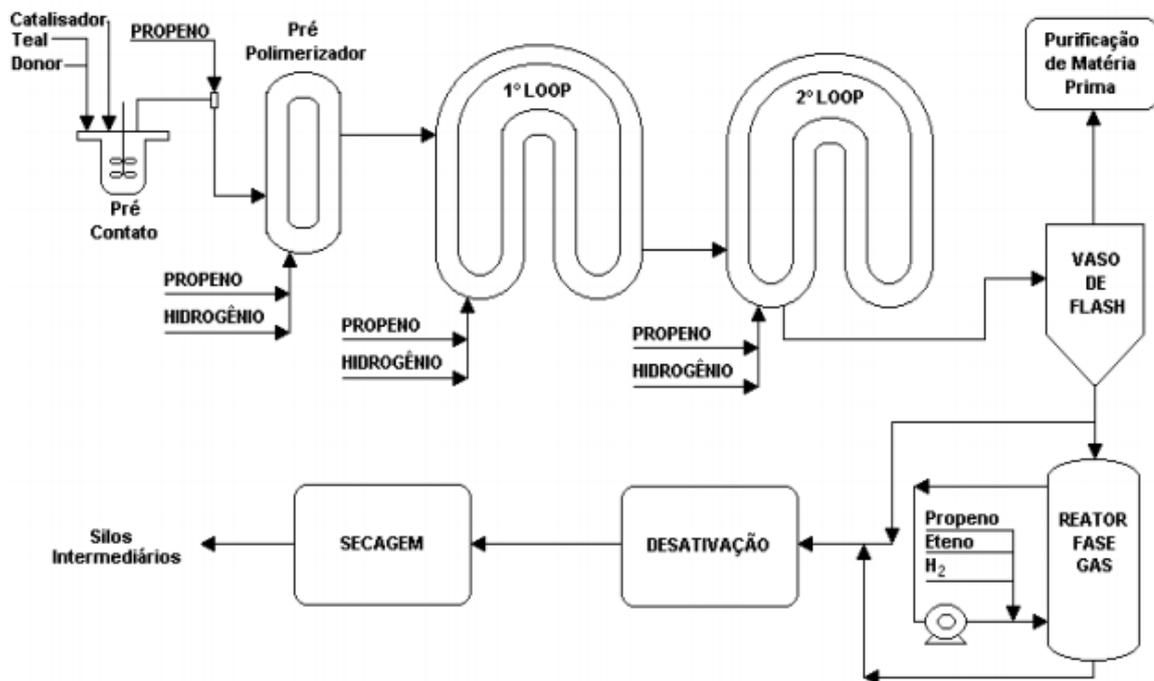
O propeno então, segue para a etapa de polimerização que por sua vez pode ser realizada por diferentes processos de polimerização, conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9: Processos de produção de poliolefinas



Fonte: TORRAGA, 2014.

Atualmente uma das tecnologias mais usadas é a Spheripol, pelo processo *bulk (massa)*. As etapas do processo são a pré-polimerização, para ativação; em seguida passando por dois reatores do tipo *loop* com entradas parte propeno fresco e parte propeno reciclado da etapa posterior; vaso flash para separar a parte reagida e não reagida; reator fase gás que pode ser usado para produzir homopolímero e copolímero randômico, desativação e secagem conforme indicado na Figura 10 (COELHO, 2019; TORRAGA, 2014).

Figura 10: Diagrama simplificado do processo *Spheripol*

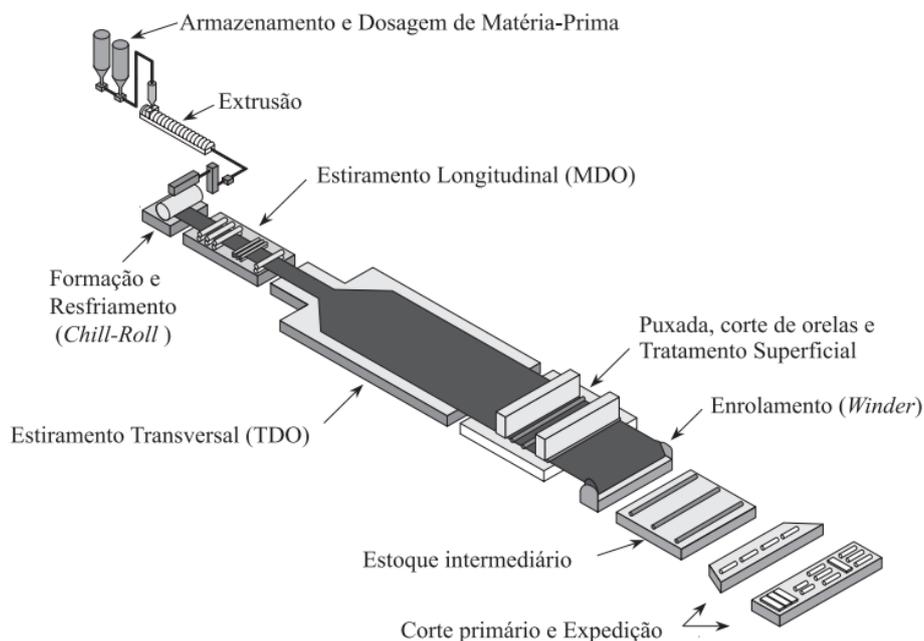
Fonte: THOMPSON, 2009.

2.3.2 Produção de rótulos a partir do filme de BOPP

Os filmes de polipropileno biorientado (BOPP) são películas plásticas produzidos na 3ª geração do refino do petróleo e é responsável pela aplicação de grande parte da quantidade de produção de polipropileno devido ao seu elevado desempenho das propriedades ópticas e mecânicas (CUNHA, 2014).

O processo de fabricação dos filmes de BOPP é composto pelas etapas de extrusão, conformação, estiramento longitudinal, estiramento transversal, tração e tratamento superficial e bobinamento conforme ilustrado na Figura 11 (COSTA 2014; MIGUEL et al., 2003).

Figura 11: Processo de Fabricação de Filmes de BOPP



Fonte: MIGUEL et al., 2003.

Os rótulos de filme BOPP são os mais comuns dentro dos tipos de filmes resistentes à umidade, possuem uma grande vantagem devido ao acabamento que pode ser transparente, brilhante, fosco ou metalizado, e são indicados para produtos com superfícies rígidas, pois não possuem elasticidade. Ideais para diversas aplicações para embalagens descartáveis e para diferentes tipos de rotulagem, possuem um custo um pouco maior que os outros rótulos, mas não impede sua utilização em grande escala (COPCENTRO, 2018).

2.4 Produção de Rótulos de Papel

2.4.1 Processo de extração da celulose

A madeira é formada de celulose, hemicelulose, lignina e outros componentes inorgânicos. A extração da celulose, principal matéria-prima para a produção do papel, inicia-se pela transformação da madeira, que pode ser de eucalipto, *pinus*, pinho araucária, carvalho, entre outros vegetais, em material fibroso. A produção da polpa pode ser feita por diversos tipos de processo: mecânico, termomecânico, semiquímico ou químico. Sendo o processo Kraft, o processo de polpação química mais comum (CASTRO, 2009; COELHO; 2019; JOAQUIM, 2013).

Como mostrado no Anexo I, as toras de madeira passam por um descascador mecânico para retirada das impurezas; lavagem; picagem convertendo em cavacos conforme tamanho especificado; cozimento com uso de reagentes químicos (licor de cozimento - hidróxido de sódio, sulfeto de sódio e água), calor e pressão para separar as fibras e dissolver a lignina; lavagem e depurador para eliminar impurezas das fibras; branqueamento, que são etapas intercaladas de lavagem e extração com reagentes químicos como oxigênio, dióxido de cloro, hipocloritos, peróxido de hidrogênio e ozônio;

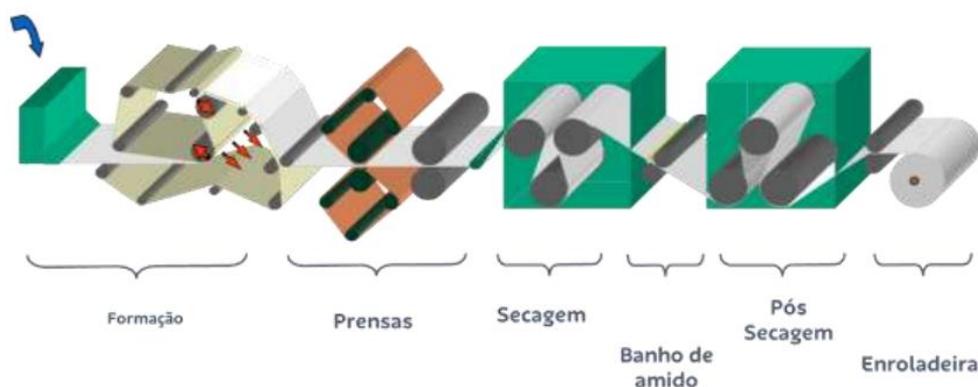
e por fim também existe a etapa de recuperação química, onde o químico do cozimento é recuperado e pode ser reutilizado no novo cozimento (SUZANO PAPEL E CELULOSE, 2020a).

2.4.2 Processo de produção do papel

Para a produção de papel, depois de pronta, a celulose passa por uma etapa de preparação da massa que consiste nas etapas de desagregação da celulose (necessária somente quando a fábrica de celulose e papel não são integradas), depuração, refinação e preparação da receita. Consistem em acrescentar aditivos (produtos químicos) para melhorar, corrigir e conferir parâmetros específicos do produto; promover fibrilação por tratamento mecânico em meio aquoso afim de deixar a fibra mais flexível, macia e aumentando as forças entre as ligações da fibra; e retirada de sujeiras e corpos estranhos que possam prejudicar a qualidade final do produto produzido. Assim, a mistura está pronta para ir para a máquina de papel e fica estocada em tanques agitados para manter a maior homogeneidade possível até ser usada. (COELHO, 2019; PIOTTO, 2003; SUZANO PAPEL E CELULOSE, 2020a).

Para formação da bobina de papel de acordo com as especificações requeridas, a mistura passa pelas etapas de formação, prensagem, secagem, aplicação de amido, pós secagem, calandragem e enrolamento ou corte da máquina de papel conforme indicado na Figura 12.

Figura 12: Esquema simplificado de máquina de produção de papel



Fonte: SUZANO PAPEL E CELULOSE, 2020a.

No sistema descrito, obtemos os papéis sem revestimento, ou seja, não recebem cobertura em sua superfície. O papel offset é sem revestimento, e serve como base para fabricação de outros papéis revestidos como por exemplo o couché, que recebe um revestimento formado por uma tinta à base d'água, formulada com pigmentos, ligantes e aditivos com os objetivos de ofertar maior qualidade de impressão. Esse revestimento é feito na máquina de papel, após a etapa do banho de amido e pós secagem e posteriormente passa pela enroladeira e recebe o acabamento necessário.

2.4.3 Produção de rótulos a partir de papel

Dependendo da sua aplicação, os rótulos de papel podem ser feitos diretamente com o papel offset ou então com papeis revestidos. É comum que o processo de impressão dos rótulos seja feito no papel couché, visto que o papel offset, tem uma maior resistência na impressão, que leva o mesmo nome e utiliza água, já que sua colagem foi feita a partir do amido. Os rótulos são produzidos a partir da inserção de uma bobina de papel em uma máquina de impressão, podendo ser por exemplo offset ou flexográfica. Conforme a máquina alonga a bobina, é colocado tinta sobre o material, baseado nas especificações de cores e tamanho. Para finalizar, o rótulo pode receber também uma camada de verniz.

3 Execução da ACV

3.1 Definição do objetivo

O presente trabalho tem como base as NBR ISO 14040 (2014a) e NBR ISO 14044 (2014b) e o objetivo de avaliar os diferentes impactos associados ao ciclo de vida de rótulos de embalagens descartáveis feitos a partir de polipropileno comparando com os rótulos feitos a partir de papel. Essa avaliação será feita com a obtenção dos Inventários do Ciclo de Vida (ICVs) e execução da AICV para os dois tipos de materiais utilizados para produção de rótulos. O público alvo deste estudo é a população como um todo, bem como setores do governo e instituições públicas ou privadas.

3.2 Definição do escopo

3.2.1 Definição da função e da unidade funcional

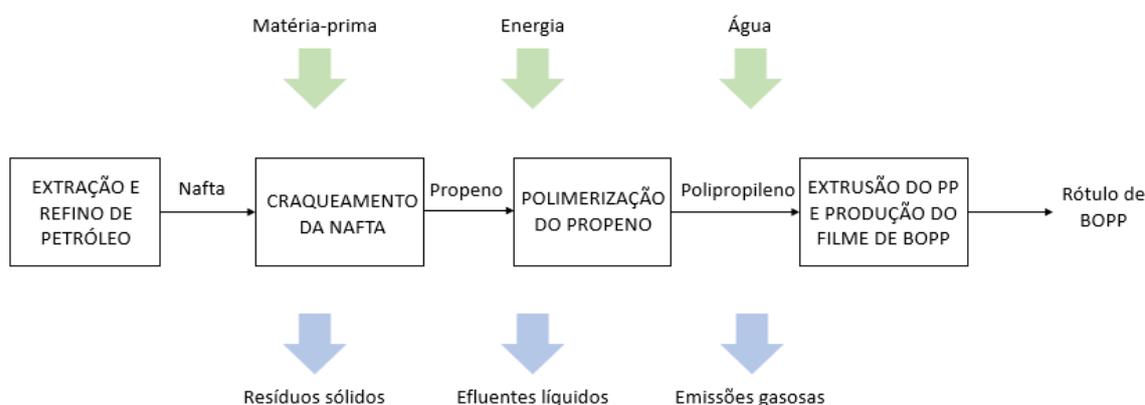
Para a execução da ACV, definiu-se que a unidade funcional é igual a 1000 kg de rótulos de PP ou papel e a função para ambos os sistemas de produto é produzir rótulo que caracterizam os produtos.

3.2.2 Definição das fronteiras e dos sistemas de produto estudados

As fronteiras dos sistemas estudados nessa ACV são definidas pela abordagem do berço ao portão da fábrica (*Cradle to Gate*). O que significa que as etapas do ciclo de vida do produto consideradas são as de beneficiamento dos recursos naturais, fabricação dos produtos intermediários e fabricação do produto principal. As etapas de distribuição, uso e disposição final são desconsideradas.

Desta maneira, para a avaliação do ciclo de vida do rótulo de plástico, temos as seguintes etapas: extração do petróleo; refino do petróleo; craqueamento da nafta, produzindo o propeno; polimerização do propeno e produção do PP; produção do filme de BOPP e a produção dos rótulos de BOPP. A Figura 13, ilustra as fronteiras do sistema que será avaliado para a produção dos rótulos de BOPP.

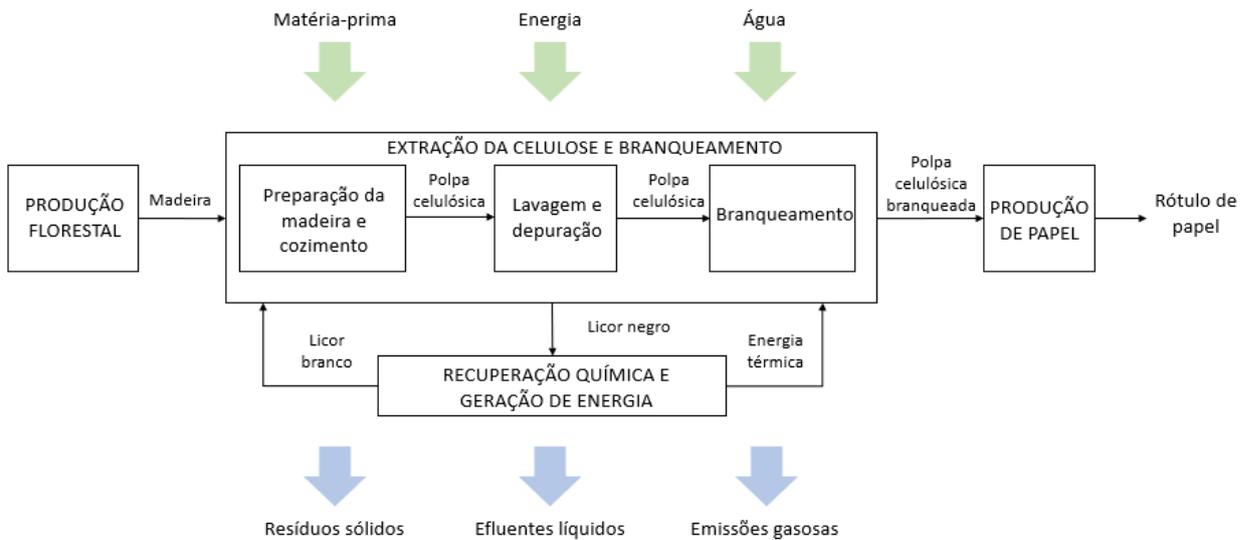
Figura 13: Fluxograma simplificado do sistema de produto considerado para produção de rótulo de BOPP.



Fonte: Adaptado de COELHO, 2019.

Para a avaliação do ciclo de vida dos rótulos de papel, as etapas consideradas são: produção florestal da madeira, seguida de seu transporte até a unidade de produção de celulose, seu preparo, cozimento, produção da polpa celulósica, produção da polpa celulósica branqueada, recuperação química, produção do papel e, por fim, a produção do rótulo de papel. A Figura 14, ilustra as fronteiras do sistema que será avaliado para a produção dos rótulos de papel.

Figura 14: Fluxograma simplificado do sistema de produto considerado para produção de rótulo de papel.



Fonte: Adaptado de COELHO, 2019.

O sistema de produto foi definido com base nas observações dos rótulos de embalagens descartáveis a fim de verificar qual sistema de produto tem melhor desempenho ambiental. Foram considerados rótulo de papel em comparação com rótulos de plástico e os processos elementares envolvidos como a aquisição de matéria-prima até a fabricação destas.

3.2.3 Tipos de impactos e metodologia de AICV

As categorias de impacto ambiental consideradas nessa ACV são o Potencial de Aquecimento Global, também conhecido como Pegada de Carbono; o Potencial de Acidificação; a Pegada Hídrica e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Para essas categorias, os cálculos para caracterização são feitos conforme indicado abaixo:

- I. Potencial de Aquecimento Global (GWP): $\text{kg equivalente de CO}_2 = \sum m_i \times f_i$, onde m_i é a massa do gás estufa i , e f_i é seu fator de multiplicação tabelado. Aspectos ambientais considerados nessa categoria são CO_2 , CH_4 , N_2O , CFCs, halons e HCFCs (COELHO, 2019);
- II. Potencial de Acidificação (AP): $\text{kg equivalente de SO}_2 = \sum m_i \times f_i$, onde m_i é a massa do gás ácido i , e $f_i = \frac{n \times 32,03}{mm}$, com n igual ao número de hidrogênios liberados em solução quando o gás ácido sofrer reações secundárias e se

transformar em algum ácido, e mm a massa molar do gás (Ministério do Meio Ambiente Dinamarquês, 2005). Aspectos ambientais considerados nessa categoria são H₂S, NO₂ e SO₂;

- III. Pegada Hídrica (WF): kg de H₂O = $\sum m_i$, onde m_i é a massa de água consumida;
- IV. Demanda Bioquímica de Oxigênio: (kg O₂/L) = $\sum m_i$, sendo m_i a massa de oxigênio a ser consumida em algum corpo aquático por decomposição biológica aeróbia de determinado efluente líquido (COELHO, 2019);

Os resultados obtidos por esses cálculos, serão comparados através de indicadores para cada categoria de impacto.

3.2.4 Limitações

No presente estudo de ACV, foram considerados que as entradas mássicas são fluxos elementares, não levando em consideração as cargas de aspectos ambientais anteriores e, em sua maioria, baseadas em dados secundários encontrados na literatura. Considerado assim, um estudo preliminar, necessitando de revisão e incorporação de outros aspectos ambientais, assim como a análise de todo o ciclo de vida para que haja uma comparação mais justa entre os diferentes produtos.

3.3 Análise de inventário

3.3.1 Análise de Inventário para rótulo de polipropileno

3.3.1.1 ICV do subsistema de extração do petróleo

Para obtenção de rótulos de plástico a partir do polipropileno, a primeira etapa é a extração do petróleo. Este então é refinado e uma de suas frações é a nafta, que é craqueada e da origem ao propeno, matéria-prima do polipropileno, que posteriormente será extrusado e estirado para formar o BOPP.

Baseado no trabalho de Vianna (2006), que obteve os dados do inventário através do software GaBi 4, para a extração de 1000 kg de petróleo cru, no transporte até a refinaria são perdidos cerca de 83 kg. Esse ponto será considerado no inventário consolidado da produção de rótulos de BOPP.

No inventário apresentado na Tabela 1, baseado no trabalho de Vianna (2006), são consolidados os aspectos ambientais da extração do petróleo nacional extraído em terra e mar e no petróleo importado.

Tabela 1: ICV de dados brutos para extração de 1000 kg de petróleo cru.

Parâmetros	Quantidade	Unidade
ENTRADAS		
Recursos Materiais		
Carvão	4,28E-02	kg
Gás natural	3,89E+01	kg
Combustíveis renováveis	2,97E-01	kg
Água	2,06E+02	kg
Recursos energéticos		
Energia	2,97E+02	kJ
SAÍDAS		
Produto		
Petróleo	1,00E+03	kg
Emissões atmosféricas		
CO ₂	1,50E+02	kg
CO	2,96E-01	kg
Vapor de água	2,11E-01	kg
Materil particulado	1,11E-01	kg
CH ₄	2,37E+00	kg
Efluentes líquidos		
DBO	3,06E-02	kg
DQO	1,89E-01	kg
Metais pesados não especificados	4,25E-06	kg
CxHy	1,78E-03	kg
Efluentes líquidos não especificados	2,87E-05	kg
Água residual	2,87E-03	kg
Óleo	7,58E-03	kg
Sólidos suspensos totais	9,72E-02	kg
Efluentes líquidos		
DBO	3,06E-02	kg
DQO	1,89E-01	kg
Metais pesados não especificados	4,25E-06	kg
CxHy	1,78E-03	kg
Efluentes líquidos não especificados	2,87E-05	kg
Água residual	2,87E-03	kg
Óleo	7,58E-03	kg
Sólidos suspensos totais	9,72E-02	kg
Resíduos sólidos		
Resíduos não especificados	3,19E-07	kg

Fonte: Autor.

3.3.1.2 ICV do subsistema de refino do petróleo

Como a nafta é um dos produtos associados ao refino do petróleo, para obter um ICV de refino de petróleo para a obtenção de 1000 kg de nafta, é necessário realizar um procedimento de alocação por poder calorífico para obter as cargas ambientais referentes apenas à nafta. Essa alocação é necessária também para uma comparação mais justa entre os impactos ambientais associados aos diferentes materiais para a produção de rótulos. Os fatores de alocação foram calculados com base no volume de produção e poderes caloríficos de cada um dos derivados do petróleo no ano de 2019, de acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2020a;2020b).

Tabela 2: Fatores de alocação para os derivados do petróleo.

	Massa específica (t/m ³)	Poder Calorífico (kcal/kg)	Produção (m ³)	Massa (kg)	Energia (kcal)	Fator de alocação (%)
Gasolina A	7,42E-01	1,04E+04	2,52E+07	1,87E+10	1,94E+14	21,99%
GLP	5,52E-01	1,11E+04	9,82E+06	5,42E+09	6,01E+13	6,80%
Óleo combustível	1,01E+00	9,59E+03	1,18E+07	1,19E+10	1,15E+14	12,96%
Óleo diesel	8,40E-01	1,01E+04	4,09E+07	3,44E+10	3,47E+14	39,26%
QAV	7,90E-01	1,04E+04	6,07E+06	4,79E+09	4,98E+13	5,64%
Querosene iluminante	7,99E-01	1,04E+04	5,96E+03	4,76E+06	4,95E+10	0,01%
Asfalto	1,03E+00	9,79E+03	1,72E+06	1,76E+09	1,73E+13	1,95%
Coque	8,80E-01	9,00E+03	4,41E+06	3,88E+09	3,49E+13	3,95%
Nafta	7,02E-01	1,06E+04	4,48E+06	3,15E+09	3,34E+13	3,78%
Óleo lubrificante	8,75E-01	1,01E+04	5,66E+05	4,95E+08	5,01E+12	0,57%
Parafina	8,20E-01	1,04E+04	1,24E+05	1,02E+08	1,06E+12	0,12%
Solvente	7,41E-01	1,06E+04	3,17E+05	2,35E+08	2,48E+12	0,28%
Outros	8,64E-01	1,02E+04	2,71E+06	2,34E+09	2,39E+13	2,70%
Total	-	1,33E+05	1,08E+08	8,72E+10	8,84E+14	100,00%

Fonte: Autor.

Como mostrado na Tabela 2, o fator de alocação calculado para a Nafta é de 0,0378, o que significa que para cada 1000 kg de petróleo, são produzidos 37,8 kg de Nafta. Assim, o ICV do refino de petróleo para a produção de 1000 kg de nafta é apresentado na Tabela 3, que se baseou nos trabalhos de Coelho (2019), Jungbluth, Meili e Wenzel (2018) e Vianna (2006).

Tabela 3: ICV de dados brutos para refino de petróleo cru e obtenção de 1000 kg de nafta.

Parâmetros	Quantidade	Alocação de 3,78 % para nafta	Unidade
ENTRADAS			
Recursos Materiais			
Água	1,31E+04	4,95E+02	L
CaCl ₂	4,19E-01	1,58E-02	kg
CaO	9,04E-01	3,42E-02	kg
FeSO ₄	1,29E+00	4,88E-02	kg
HCl	2,30E+00	8,69E-02	kg
NaClO	1,29E+00	4,88E-02	kg
NH ₃	5,17E-02	1,95E-03	kg
H ₂ SO ₄	2,50E-01	9,46E-03	kg
Óleo Lubrificante	3,18E-01	1,20E-02	kg
Petróleo Cru	2,58E+04	2,58E+04	kg
Sabão	6,93E-02	2,62E-03	kg
Recursos energéticos			
Energia Elétrica	1,10E+03	4,14E+01	kWh
SAÍDAS			
Produto			
Nafta	1,00E+03	1,00E+03	kg
Emissões atmosféricas			
CH ₄	1,15E+00	4,35E-02	kg
CO ₂	2,15E+02	8,12E+00	kg
CO	6,82E-01	2,58E-02	kg
H ₂ S	5,40E-03	2,04E-04	kg
Material particulado	3,88E-01	1,47E-02	kg
NH ₃	2,84E-02	1,07E-03	kg
NO ₂	1,51E-01	5,70E-03	kg
SO ₂	1,26E-01	4,77E-03	kg
COVs	5,84E-01	2,21E-02	kg
Efluentes líquidos			
DBO	1,14E-01	4,30E-03	kg
Efluentes de processo	1,35E+04	5,10E+02	m ³
Cloreto	4,83E-01	1,83E-02	kg
Fenol	4,96E-04	1,88E-05	kg
Fosfato	3,36E-03	1,27E-04	kg
Nitrato	1,60E-01	6,06E-03	kg
Nitrogênio amoniacal	3,10E-02	1,17E-03	kg
Óleo não especificado	5,37E-03	2,03E-04	kg
Sulfato	1,32E+00	4,99E-02	kg
Sólidos suspensos	1,63E-01	6,15E-03	kg
Resíduos sólidos			
Catalisadores	2,58E-02	9,77E-04	kg
Resíduos de processo	5,04E-01	1,90E-02	kg
Lodo	1,02E+01	3,87E-01	kg

Fonte: Autor.

3.3.1.3 ICV do subsistema de craqueamento da nafta

O inventário foi elaborado considerando a produção de propeno por meio do craqueamento da nafta utilizando o banco de dados de processos disponível no software

SimaPro 7.0 (PRÉ-CONSULTANTS, 2006). A Tabela 4 representa o inventário obtido para a produção de 1000 kg de propeno.

Tabela 4: ICV de dados brutos para craqueamento da nafta e obtenção de 1000 kg de propeno.

Parâmetros	Quantidade	Unidade
ENTRADAS		
Recursos Materiais		
Nafta	1,33E+03	kg
SAÍDAS		
Produto		
Propeno	1,00E+03	kg
Emissões atmosféricas		
CO ₂	1,06E+03	kg
CO	5,40E-01	kg
Material particulado	3,00E-02	kg
NO ₂	2,01E+00	kg
SO ₂	2,00E-01	kg
COVs	1,41E+00	kg
Efluentes líquidos		
DBO	4,00E-02	kg
Sulfato	9,00E-02	kg

Fonte: Adaptado de COELHO, 2019

3.3.1.4 ICV do subsistema de produção do polipropileno

O inventário da produção de 1000 kg de PP é apresentado na Tabela 5. Foi baseado no trabalho de Cunha (2014) que inventariou o ciclo da produção do filme de BOPP produzido no Brasil e no trabalho de Fendrich (2008) que fez um estudo de caso sobre o inventário do ciclo de vida de uma empresa fabricante de polipropileno.

Tabela 5: ICV de dados brutos para produção de 1000 kg de polipropileno.

Parâmetros	Quantidade	Unidade
ENTRADAS		
Recursos Materiais		
Água	1,14E+04	L
Aditivos	4,24E+00	kg
Propeno	1,03E+03	kg
Catalisadores	2,06E+00	kg
Materiais Auxiliares	1,14E+02	kg
Recursos energéticos		
Energia Elétrica	4,64E+05	kWh
Gás natural	2,06E+01	kg
GLP	4,62E-01	kg
Óleos	8,32E+01	kg

continuação

Parâmetros	Quantidade	Unidade
SAÍDAS		
Produto		
Polipropileno (PP)	1,00E+03	kg
Emissões atmosféricas		
CO	1,79E-01	kg
CO ₂	3,12E+02	kg
N ₂	8,75E+02	kg
NO ₂	1,01E+00	kg
SO ₂	2,41E-02	kg
Efluentes líquidos		
Efluentes de processo	1,90E+03	kg
Resíduos sólidos		
Resíduos de processo	1,64E+01	kg

Fonte: Autor.

3.3.1.5 ICV do subsistema de transportes

No inventário de transportes considera-se o transporte marítimo do petróleo importado e o transporte rodoviário da resina de PP. Para obtenção dos dados utilizou-se como base dados *IDEMAT 2001* do SimaPro 7.0, conforme o trabalho de Ribeiro (2009). Para elaboração dos cálculos, foi considerado que o transporte marítimo é feito por um navio com 88.750 toneladas de capacidade por 13.300 km, movido à óleo diesel voltando vazio para o local de origem após a descarga. A Tabela 6 apresenta os dados de ICV para o transporte marítimo.

Tabela 6: ICV de dados brutos para transporte de 1000 kg de petróleo por 13.300 km.

Parâmetros	Quantidade	Unidade
ENTRADAS		
Recursos Materiais		
Petróleo	1,08E+02	kg
Gás Natural	5,19E-01	kg
Carvão	4,27E-02	kg
Recursos energéticos		
Energia Elétrica	4,88E+02	kWh
SAÍDAS		
Emissões atmosféricas		
CO	9,32E-01	kg
CO ₂	3,10E+02	kg
NO ₂	5,88E+00	kg
SO ₂	4,93E+00	kg
CxHy	5,56E-01	kg
Metais	8,38E-06	kg
Material particulado	2,85E-03	kg
COVNM	1,72E-02	kg

Continuação

Parâmetros	Quantidade	Unidade
Efluentes líquidos		
DBO	8,38E-05	kg
DQO	4,19E-05	kg
Íons metálicos	4,19E-05	kg
Cl-	8,38E-05	kg
CxHy	1,68E-04	kg
Óleos	5,77E-04	kg
Resíduos sólidos		
Resíduos não especificados	1,85E-02	kg
Resíduos sólidos oleosos	1,37E+00	kg

Fonte: Adaptado de Ribeiro, 2009.

Para a obtenção dos dados do transporte rodoviário da resina de PP, utilizou-se como base de dados o software SimaPro 2003 para *Truck I – IDEMAT 2001*, conforme proposto no trabalho de Viana (2008). No cálculo, também foi considerado que o caminhão truck retorna vazio para a origem, é movido a óleo diesel e a distância média entre a empresa que fabrica a resina até a empresa que produz o BOPP é de 167 km (CUNHA, 2014). A Tabela 7 apresenta os dados de ICV para o transporte rodoviário.

Tabela 7: ICV de dados brutos para transporte de 1000 kg de resina PP por 167 km.

Parâmetros	Quantidade	Unidade
ENTRADAS		
Recursos Materiais		
Óleo diesel	3,39E+00	kg
SAÍDAS		
Emissões atmosféricas		
CO	1,82E-02	kg
CO ₂	1,06E+01	kg
COVNM	1,04E-02	kg
Material particulado	5,08E-03	kg
NO ₂	1,12E-01	kg
SO ₂	3,27E-03	kg
N ₂ O	2,42E-03	kg
CH ₄	3,62E-04	kg

Fonte: Adaptado de Viana, 2008.

3.3.1.6 ICV do subsistema de produção do BOPP

Para a obtenção dos dados de produção do BOPP, foi baseado em uma produção de filme de BOPP com transparência, gramatura de 22,8 g/m² e com rendimento de 44 m²/kg, conforme descrito no trabalho de Cunha (2014). O ICV da produção do BOPP é apresentado na Tabela 8, onde pode-se ver que a resina de polipropileno representa cerca de 80% da matéria-prima necessária para a fabricação do BOPP. Essa resina em forma de *pellets* passa pela extrusão e estiramento para formar o filme.

Tabela 8: ICV de dados brutos para produção de 1000 kg de filme de BOPP.

Parâmetros	Quantidade	Unidade
ENTRADAS		
Recursos Materiais		
Resina (PP)	8,79E+02	kg
Aditivos	2,35E+00	kg
Regranulado	2,32E+02	kg
Água	4,37E+03	L
Recursos energéticos		
Energia Elétrica	2,29E+03	kWh
GLP	2,23E+01	kg
SAÍDAS		
Produto		
Filme de BOPP	1,00E+03	kg
Emissões atmosféricas		
CO	5,00E-01	kg
CO ₂	2,09E+02	kg
Material particulado	5,30E-06	kg
CxHy	1,98E+00	kg
Efluentes líquidos		
Efluentes de processo	3,15E+02	kg
Resíduos sólidos		
Scrap de BOPP	2,04E+02	kg
Borra	2,71E+00	kg
Resina (PP)	2,58E-01	kg
Resíduos de processo	1,34E+01	kg

Fonte: Adaptado de Cunha, 2014.

3.3.1.7 ICV do subsistema de produção do rótulo de BOPP

O inventário da produção de rótulos de filme de BOPP foi elaborado a partir de dados de fonte primária de uma empresa produtora de rótulos localizada em Caxias do Sul – RS. O questionário aplicado está apresentado no Apêndice I. Os dados correspondem a uma estimativa das entradas e saídas do processo de impressão de rótulos autoadesivos no ano de 2020, como mostrado na Tabela 9.

Tabela 9: ICV de dados brutos para produção de 1000 kg de rótulos a partir do filme de BOPP.

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Gramatura	Unidade
ENTRADAS				
Recursos Materiais				
Bobina de BOPP	1,20E+03	kg	5,40E+01	g/m ²
Adesivo	2,22E+01	kg	1,00E+00	g/m ²
Liner	1,33E+03	kg	6,00E+01	g/m ²
Tinta	6,67E+01	kg	3,00E+00	g/m ²
Verniz UV	2,22E+01	kg	1,00E+00	g/m ²
Água	3,00E+01	L	-	-
Recursos energéticos				
Energia Elétrica	1,33E+01	kWh	-	-
SAÍDAS				
Produto				
Rótulos de BOPP	1,00E+03	kg	-	-
Emissões atmosféricas				
Ozônio	-	-	-	-
Resíduos sólidos				
Resíduos de processo	5,35E+02	kg	-	-

Fonte: Autor.

Na Tabela 9, pode-se observar as gramaturas de cada entrada e que o processo de impressão do rótulo, independente da geometria, tem uma média de 20% de perdas devido ao recorte e eventuais falhas de impressão. As especificações para a produção do rótulo autoadesivo são: processo de impressão por flexografia a 40 m/min; liner é do tipo super calandrado; impressão de quatro cores; verniz UV com base água. Cabe salientar que devido a utilização de verniz UV o manual da tecnologia orienta a utilização de exaustores devido à formação de ozônio pois o material é exposto à lâmpada UV, contudo não é informado a quantidade gerada. Sendo assim, não foi possível estimar a quantidade de ozônio formada, mas tanto no processo de impressão em BOPP quanto em Papel foi considerado esse mesmo acabamento, logo na comparação não é identificada diferença.

3.3.1.8 ICV consolidado para a produção de rótulos de BOPP

Os inventários de dados brutos dos subsistemas de produção dos rótulos de BOPP foram consolidados e convertidos conforme a unidade funcional de 1000 kg de rótulos e é apresentado no Apêndice III.

Pode-se verificar, no apêndice III, que para produção de 1000 kg de rótulos de BOPP, são necessários 1200 kg de filme de BOPP, oriundos de 1054,8 kg de polipropileno que foram obtidos a partir de 1445 kg de nafta e usando o fator de alocação de 3,78% dos derivados do petróleo, a nafta foi obtida a partir do refino de 3,73E+04 kg de petróleo cru. Para os transportes foi considerado que o petróleo importado representa 19% do total de petróleo utilizado que foi transportado por 13.300 km e para o transporte rodoviário da resina de PP, o trajeto médio foi de 167 km.

3.3.2 Análise de Inventário para rótulo de papel

3.3.2.1 ICV do subsistema de produção florestal

Para a produção de celulose e papel, destacam-se como principais matérias-primas as coníferas (Pinos) e as folhosas (Eucalipto), sendo o Brasil pioneiro e maior produtor desta segunda. Apesar da árvore ser composta por outros componentes, o tronco que é utilizado para a produção de papel e celulose, e os demais componentes são deixados na floresta para proteção e adubação do solo (SUZANO PAPEL E CELULOSE, 2020b).

A produção de papel pode ser feita com fibras curtas ou longas, dependendo da aplicação. Neste caso, considerou-se a fibra do Eucalipto, que é curta e possui em média um ciclo de crescimento de 7 anos. Essas árvores são plantadas em florestas exclusivas para a finalidade de produção de papel e celulose, não sendo usadas florestas nativas e o bom desenvolvimento dessa planta, é importante pois tem vários fatores envolvidos que influenciam na qualidade do produto final.

Os dados do ICV de produção florestal são dados secundários baseados no trabalho de dissertação de mestrado de Galdiano (2006), que inventariou todo o processo de produção do papel offset no Brasil. A Tabela 10, apresenta o ICV para a produção florestal de 1000 kg de madeira, que inclui as etapas de viveiro, plantio e corte dela.

Tabela 10: ICV de dados brutos para produção florestal de 1000 kg de madeira

Parâmetros	Quantidade	Unidade
ENTRADAS		
Recursos Materiais		
Água	2,74E+02	L
Fertilizante	8,83E+00	kg
Defensivos - Herbicidas	1,40E-01	L/ciclo
Defensivos - Formicidas	8,83E-02	kg/ciclo
Mudas/Sementes	1,77E+01	-
Calcário	1,94E+01	kg/ciclo
CO ₂ fixado	9,63E+02	kg
Recursos energéticos		
Energia	7,46E+00	kWh
SAÍDAS		
Produto		
Madeira	1,00E+03	kg
Emissões atmosféricas		
CO ₂ fóssil	1,73E+00	kg
CO ₂ renovável	8,04E+01	kg
Resíduos sólidos		
Resíduos de processo	7,58E-01	kg

Fonte: Autor.

3.3.2.2 ICV do subsistema de transporte

O transporte rodoviário da madeira que vai desde o pátio intermediário nas fazendas, onde ficam estocadas as toras após o corte, até o pátio de estocagem da fábrica, possui uma parcela significativa dos custos final da madeira (BERGER et. al, 2013).

Devido a essa importância econômica, também serão avaliados os impactos ambientais relacionados a essa atividade. Baseando-se nas distâncias média entre as áreas florestais e as fábricas de papel, foi adotado uma distância média de 150 km de transporte rodoviário com caminhões de 16-32 toneladas, movidos a óleo diesel com baixo teor de enxofre (COELHO, 2019; GALDIANO, 2006). A Tabela 11 apresenta o ICV de dados brutos para o transporte rodoviário de 1000 kg de madeira por 150 km de distância média entre as unidades, baseado nos dados do Ecoinvent 3.3.

Tabela 11: ICV de dados brutos para transporte rodoviário de 1000 kg de madeira por 150 km.

Parâmetros	Quantidade	Unidade
ENTRADAS		
Recursos Materiais		
Óleo Diesel	5,63E+00	kg
SAÍDAS		
Emissões atmosféricas		
CO ₂	1,76E+01	kg
CO	3,96E+04	kg
Material particulado	5,40E-04	kg
N ₂ O	1,01E-03	kg
NO ₂	4,97E-02	kg
SO ₂	8,64E-05	kg

Fonte: Autor.

3.3.2.3 ICV do subsistema de extração e branqueamento da celulose

O processo de extração e branqueamento da celulose, foi baseado no processo Kraft, no qual a polpa é submetida ao cozimento para dissolver a lignina para liberar as fibras, após concluída a etapa de cozimento da madeira, os residuais químicos e substâncias dissolvidas formam o licor negro, que será recuperado. A polpa que deixa o digestor, passa por uma lavagem, e é branqueada por uma série de reações químicas (ALVES et. Al, 2015). Para inventariar o processo Kraft nessa etapa, os dados foram baseados nos trabalhos de Coelho (2019), Galdiano e Sun, Wang e Shi (2018). A Tabela 12 apresenta o ICV de dados brutos para extração e branqueamento de 1000kg de celulose branqueada pelo processo Kraft.

Tabela 12: ICV de dados brutos para extração e branqueamento de 1000 kg celulose branqueada.

Parâmetros	Quantidade	Unidade
ENTRADAS		
Recursos Materiais		
Madeira	3,99E+03	kg
Água	2,84E+04	L
Soda Caústica	9,89E+00	kg
Antiespumante	6,68E-01	kg
Clorato de sódio	1,71E+01	kg
Ácido Sulfúrico	1,31E+01	kg
Enxofre (e/ou sulfato de sódio)	5,93E+00	kg
Oxigênio líquido	1,47E+01	kg
Peróxido de Hidrogênio	7,76E+00	kg
Cal virgem	9,89E+00	kg
Ácido Clorídrico	1,79E+00	kg
Metanol	2,13E+00	kg
Recursos energéticos		
Energia Elétrica	4,57E+02	kWh
Energia Térmica	2,21E+04	kWh
SAÍDAS		
Produto		
Celulose branqueada	1,00E+03	kg
Emissões atmosféricas		
CH ₄	1,41E+01	kg
CO ₂	1,51E+03	kg
CO	2,31E+02	kg
COVs	1,59E+01	kg
Material particulado	3,90E-01	kg
NO ₂	2,99E+00	kg
H ₂ S	3,59E+00	kg
SO ₂	4,80E-01	kg
Efluentes líquidos		
Efluentes de processo	1,81E+01	m ³
Nitrogênio amoniacal	3,50E-02	kg
Sólidos totais	4,24E+01	kg
Sólidos suspensos	5,65E+00	kg
DBO	7,61E+00	kg
Resíduos sólidos		
Cascas	1,29E+02	kg
Nós e palitos	5,29E+01	kg
Resíduos de processo	6,01E+00	kg
Lodo	1,32E+02	kg

Fonte: Autor.

3.3.2.4 ICV do subsistema de recuperação química

Uma das vantagens do processo Kraft é ter mínimas perdas químicas e máxima eficiência energética, que é viável pelo processo de recuperação química, quando o licor negro se torna licor branco sendo reutilizado no processo de extração da celulose e também é gerado energia para o processo. Na Tabela 13, é apresentado o inventário dos

aspectos ambientais para a etapa de recuperação química baseado em ABTCP (2012), Coelho (2019) e Galdiano (2006).

Tabela 13: ICV de dados brutos para recuperação química de 1000 kg celulose branqueada.

Parâmetros	Quantidade	Unidade
ENTRADAS		
Recursos Materiais		
Licor negro	1,95E+01	m ³
Recursos energéticos		
Energia Elétrica	8,50E+01	kWh
Energia Térmica	1,69E+04	kWh
SAÍDAS		
Emissões atmosféricas		
CO ₂	3,95E+03	kg
Material particulado	6,95E-01	kg
TRS	3,31E+00	kg
SO ₂	6,68E-02	kg
Efluentes líquidos		
Efluentes de processo	5,54E+00	m ³
Sólidos totais	1,06E+01	kg
Sólidos suspensos	7,16E-01	kg
DBO	5,18E-01	kg
Resíduos sólidos		
Resíduos de processo	4,24E-02	kg

Fonte: Autor.

3.3.2.5 ICV do subsistema de produção de papel

As unidades produtoras de papel geralmente são integradas às unidades de produção de celulose, visto isso, depois que a celulose branqueada chega na unidade para formar o papel, ela passa pela etapa de preparação da massa com produtos químicos e chega à máquina de papel, que irá formar a folha conforme as características requeridas.

O inventário dos aspectos ambientais para o subsistema de fabricação de papel offset é apresentado na Tabela 14, e baseou-se nos dados fornecidos por Galdiano (2006).

Tabela 14: ICV de dados brutos para produção de 1000kg de papel offset

Parâmetros	Quantidade	Unidade
ENTRADAS		
Recursos Materiais		
Água	1,91E+04	L
Celulose branqueada	8,23E+02	kg
CaCO ₃ precipitado	1,05E+02	kg
Adesivo	1,00E+00	kg
Aditivos	1,90E+01	kg
Recursos energéticos		
Energia Elétrica	6,10E+02	kWh
Energia Térmica	1,60E+04	kWh
SAÍDAS		
Produto		
Papel Offset	1,00E+03	kg
Efluentes líquidos		
Efluentes de processo	1,92E+00	m ³
Sólidos totais	6,13E+00	kg
Sólidos suspensos	3,91E+00	kg
DBO	1,01E+00	kg
Resíduos sólidos		
Aparas de papel	9,85E+01	kg

Fonte: Autor.

Como apresentado na Tabela 14, o ICV é do papel offset. Para o ICV da produção do rótulo de papel será considerado o papel couché por ser o papel mais utilizado na fabricação dos rótulos. Nesse processo, iremos considerar que os impactos ambientais associados ao papel couché são os mesmo que o do papel offset, visto que o papel couché é um papel offset com revestimento de tinta à base d'água formada por pigmentos, ligantes e aditivos e não encontramos especificamente esses dados.

3.3.2.6 ICV do subsistema de produção do rótulo de papel

O inventário da produção do rótulo de papel couché foi elaborado a partir de dados de fonte primária de uma empresa produtora de rótulos localizada em Caxias do Sul – RS. O questionário aplicado está apresentado no Apêndice I. Os dados correspondem a uma estimativa das entradas e saídas do processo de impressão no ano de 2020, como mostrado na Tabela 15.

Tabela 15: ICV de dados brutos para produção de 1000 kg de rótulos a partir do papel couché.

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Gramatura	Unidade
ENTRADAS				
Recursos Materiais				
Bobina de Papel Couché	1,20E+03	kg	8,60E+01	g/m ²
Adesivo	1,40E+01	kg	1,00E+00	g/m ²
Liner	8,37E+02	kg	6,00E+01	g/m ²
Tinta	4,19E+01	kg	3,00E+00	g/m ²
Verniz UV	1,40E+01	kg	1,00E+00	g/m ²
Água	3,00E+01	L	-	-
Recursos energéticos				
Energia Elétrica	1,33E+01	kWh	-	-
SAÍDAS				
Produto				
Rótulos de Papel Couché	1,00E+03	kg	-	-
Emissões atmosféricas				
Ozônio	-	-	-	-
Resíduos sólidos				
Resíduos de processo	4,27E+02	kg	-	-

Fonte: Autor.

O processo de impressão no papel couché é semelhante ao processo de impressão no filme de BOPP. A média de perdas no processo também é de 20%, assim como as especificações de impressão por flexografia, liner, cores, e verniz UV.

3.3.2.7 ICV consolidado para a produção de rótulos de papel

O inventário do ciclo de vida consolidado é apresentado no Apêndice IV e baseou-se nos ICV dos subsistemas de produção de rótulos de papel com a conversão dos fluxos para a unidade funcional.

Assim, pode-se verificar que para produzir 1000 kg de rótulos de papel, são necessários 1200 kg de papel couché, oriundos de 3,94E+03 kg de madeira que foi convertido em 988 kg de celulose branqueada e 23,4 kg de licor negro que será recuperado.

4 Avaliação de Impactos ambientais e interpretação

4.1 Potencial de aquecimento global

As Figuras 15 e 16 apresentam o potencial de aquecimento global para produção de rótulos de BOPP e papel.

Figura 15: Potencial de aquecimento global para cada subsistema da produção de rótulo de BOPP.

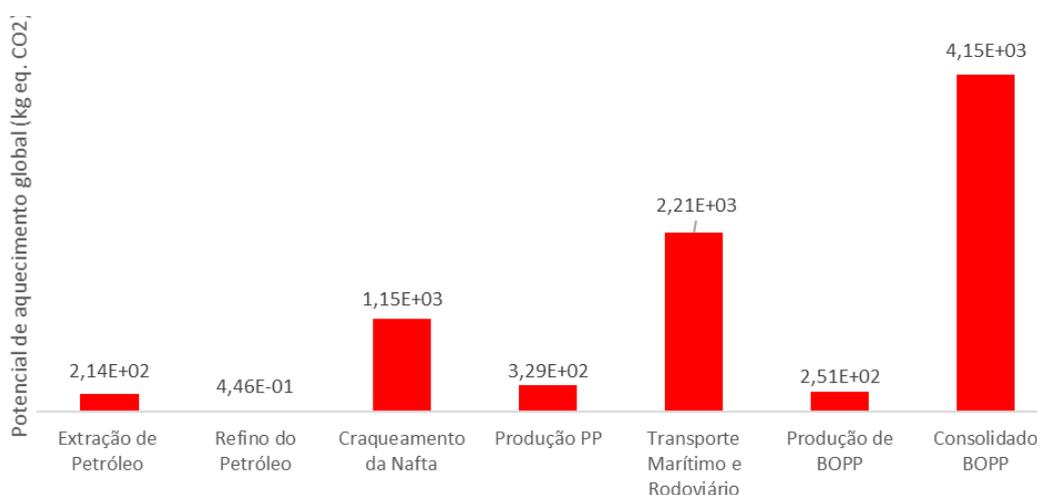
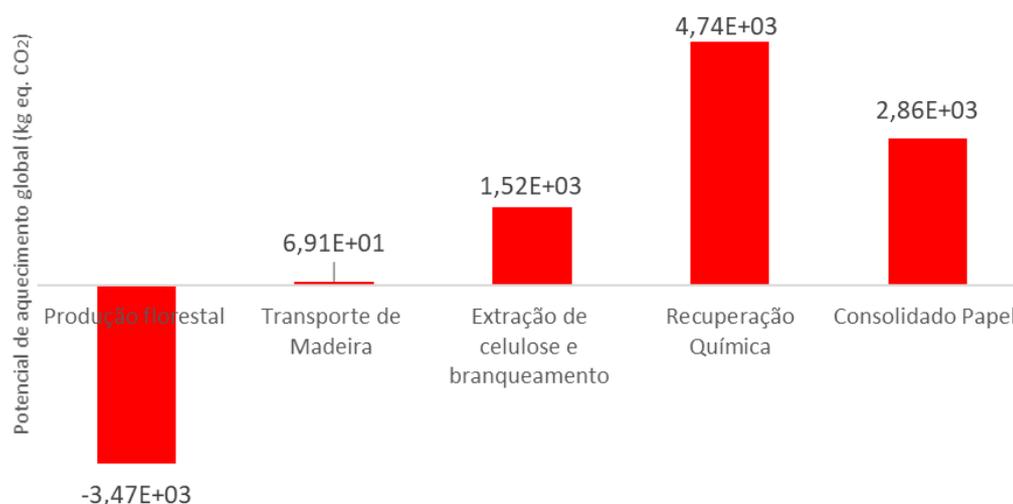


Figura 16: Potencial de aquecimento global para cada subsistema da produção de rótulo de Papel.



Para a categoria de potencial de aquecimento global, ocasionado principalmente, neste estudo, por gases liberados durante a produção, o rótulo de BOPP mostrou um valor cerca de 1,45 vezes maior que o rótulo de papel nessa categoria, visto que para o ciclo de vida do rótulo de BOPP só ocorrem emissões de CO₂ e demais gases do efeito estufa, e

para o ciclo de vida do rótulo de papel possui absorção de CO₂ por meio da fotossíntese na produção florestal.

Pode-se observar que para a produção dos rótulos de BOPP, os subsistemas que possuem o maior potencial de aquecimento global são o transporte, principalmente devido ao transporte marítimo do petróleo importado e o de craqueamento da nafta. E para a produção dos rótulos de papel, são os subsistemas de recuperação química e de extração e branqueamento da celulose.

4.2 Potencial de Acidificação

As Figuras 17 e 18 apresentam o potencial de acidificação para produção de rótulos de BOPP e papel.

Figura 17: Potencial de acidificação para cada subsistema da produção de rótulo de BOPP.

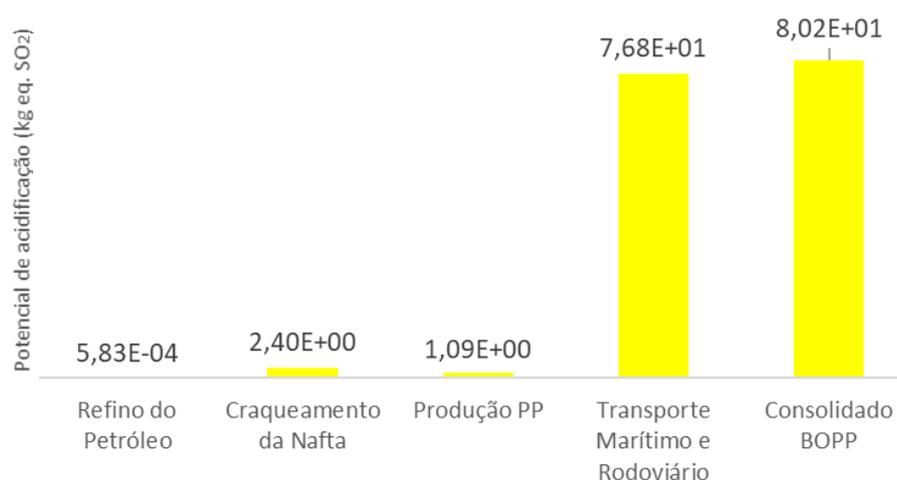
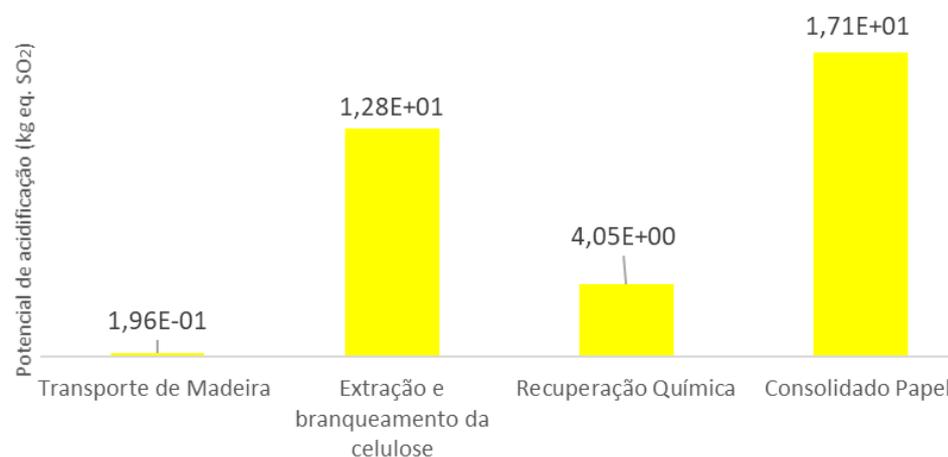


Figura 18: Potencial de acidificação para cada subsistema da produção de rótulo de Papel.



Quanto à categoria de potencial de acidificação, ocasionada pela emissão de substâncias acidificantes derivadas do enxofre, foi possível notar que o rótulo de BOPP mostrou um valor cerca de 4,70 vezes maior que o rótulo de papel para essa categoria. Essa diferença significativa ocorre principalmente pelo subsistema de transporte marítimo para a produção dos rótulos de BOPP, e para o papel, o principal subsistema responsável pelo potencial de acidificação é a extração e branqueamento da celulose, que libera gases sulfurosos e nitrogenados no processo de cozimento dos cavacos de madeira com outros componentes químicos que possuem enxofre.

4.3 Pegada Hídrica

As Figuras 19 e 20 apresentam a pegada hídrica para produção de rótulos de BOPP e papel.

Figura 19: Pegada hídrica para cada subsistema da produção de rótulo de BOPP.

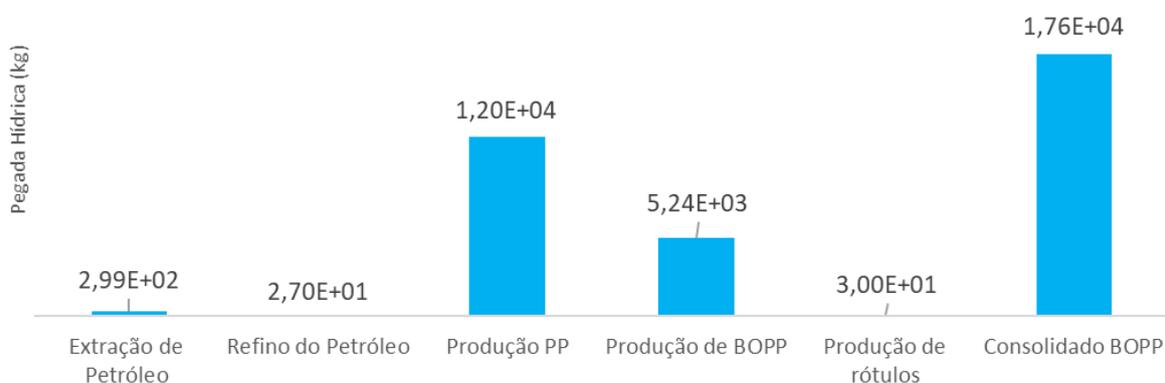
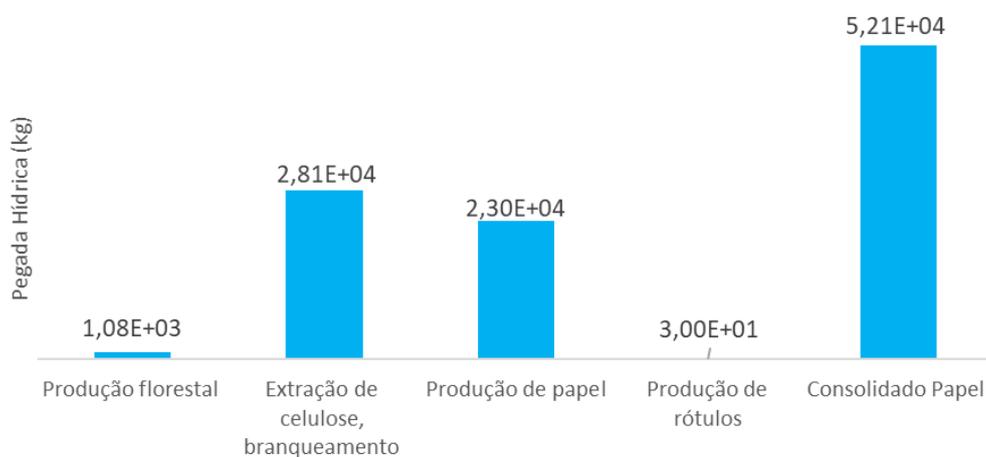


Figura 20: Pegada hídrica para cada subsistema da produção de rótulo de Papel.



A categoria de impacto pegada hídrica, expressa a quantidade de água consumida ao longo da cadeia produtiva, possui um valor cerca de 2,96 vezes maior para a produção dos rótulos de papel comparado com a produção dos rótulos de BOPP. As etapas que mais consomem água para o ciclo de vida do papel são a extração e branqueamento da celulose

e a produção de papel, e para o ciclo de vida do BOPP são a produção de polipropileno e a produção do filme de BOPP.

4.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio

As Figuras 21 e 22 apresentam a demanda bioquímica de oxigênio para produção de rótulos de BOPP e papel.

Figura 21: Demanda bioquímica de oxigênio para cada subsistema da produção de rótulo de BOPP.

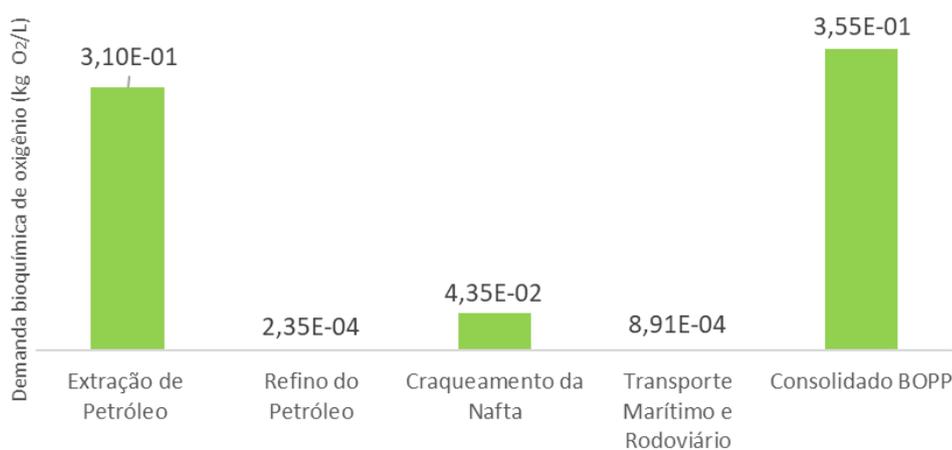
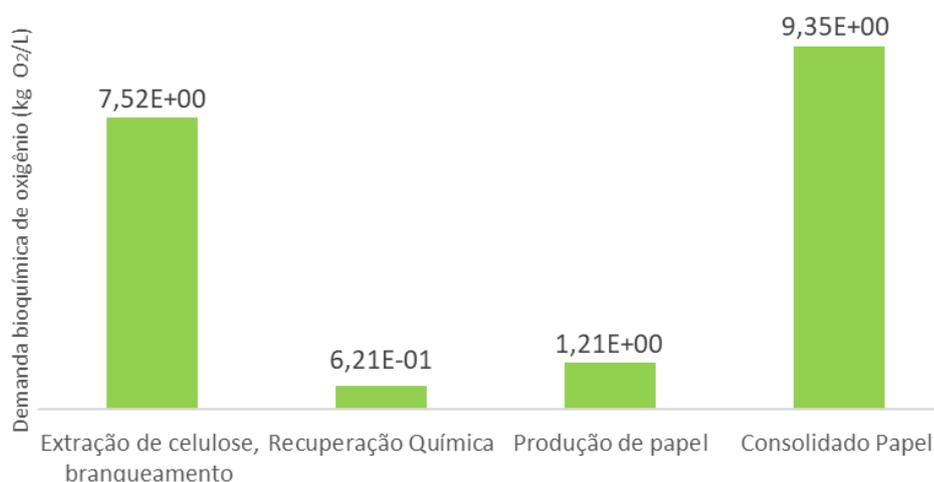


Figura 22: Demanda bioquímica de oxigênio para cada subsistema da produção de rótulo de Papel.

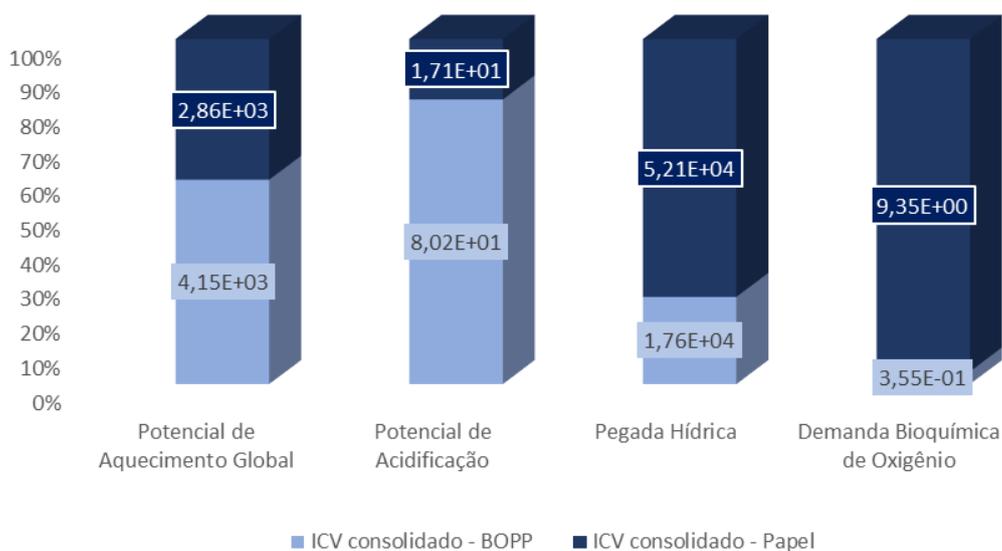


A categoria de impacto demanda bioquímica de oxigênio, corresponde à quantidade de oxigênio necessária para ocorrer a oxidação da matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbias. A DBO possui um valor cerca de 26,4 vezes maior para a produção dos rótulos de papel comparado com a produção dos rótulos de BOPP, essa diferença significativa pode ser influenciada pela ausência de dados de DBO para os efluentes da polimerização e extrusão do BOPP. Mas mesmo com essa limitação, sabe-se que os efluentes gerados na produção de papel têm um alto conteúdo de DBO e várias concentrações de outros contaminantes que dependem dos tipos de processos aplicados. Essa indústria produz a terceira maior quantidade de águas residuais, depois das

indústrias primárias de metais e produtos químicos (ASHRAFI, YERUSHALMI E HAGHIHAT; 2015). Na análise feita nesse trabalho, pode-se observar que a etapa que mais demanda oxigênio para o ciclo de vida do papel é a extração e branqueamento da celulose, e para o ciclo de vida do BOPP é a extração do petróleo, visto as considerações citadas acima.

A Figura 23, evidencia a porcentagem dos dois materiais dos rótulos impacta em cada uma das quatro categorias estudadas, em um consolidado geral, conforme os resultados descritos anteriormente.

Figura 23: Impactos ambientais comparando rótulos de polipropileno e rótulos de papel



Os resultados obtidos estão de acordo com a literatura, especificamente com o trabalho desenvolvido por Coelho (2019), que realizou uma ACV de canudos de papel e de polipropileno utilizando a abordagem do berço ao portão de fábrica, analisando as mesmas categorias de impactos ambientais que este trabalho, cujos resultados foram que os canudos de polipropileno possuem um desempenho pior, comparando com o de papel, apenas na categoria de potencial de aquecimento global. Diferenciando-se deste trabalho na categoria de potencial de acidificação, justificada pela incorporação dos subsistemas de transporte marítimo e rodoviário, que influenciam no resultado associado ao polipropileno para essa categoria.

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

O presente estudo avaliou o ciclo de vida de rótulos de embalagens descartáveis, comparando os impactos ambientais associados a dois tipos de materiais que são feitos esses rótulos, polipropileno e papel. Foram observados os impactos ambientais associadas as categorias escolhidas: Potencial de Aquecimento Global, Potencial de Acidificação, Pegada Hídrica e Demanda Bioquímica de Oxigênio.

Através da avaliação do inventário do ciclo de vida, verificou-se que os rótulos de plástico tiveram desempenho melhor que os rótulos de papel nas categorias de pegada hídrica, cerca de 33% do consumo de água associado a produção dos rótulos de papel, e a demanda bioquímica de oxigênio, que comparado ao processo realizado com papel, representa cerca de 3% devido a etapa de extração e branqueamento da celulose que gera uma grande DBO.

Para as categorias de potencial de aquecimento global e de potencial de acidificação, o ciclo de vida dos rótulos de papel possui um desempenho melhor. O potencial de aquecimento global para o papel possui um valor cerca de 1,45 vezes menor justamente de pela absorção de CO₂ na etapa de produção florestal da madeira e o potencial de acidificação para os rótulos de papel possui um valor 4,7 vezes menor do que para os rótulos de polipropileno. No geral, a categoria de impacto ambiental que influencia mais na soma total de impactos ambientais gerados pelas categorias de impacto, que possuem unidades de kg eq. de CO₂, kg eq. de SO₂, kg de água, kg de O₂/L, foi a pegada hídrica.

Deste modo, é possível concluir que os impactos gerados por cada produto são diferentes e variam de acordo com as categorias escolhidas, sendo o resultado apresentado um resultado parcial, visto que existem outros fatores que precisam ser incluídos. Considerando as premissas e limitações adotadas durante o estudo, entende-se que o objetivo do trabalho foi alcançado e que a escolha do material para a fabricação dos rótulos, depende também das condições que ele será submetido pós fabricação, e deve ser associado com uma avaliação econômica relacionada ao ciclo de vida desses rótulos.

Visando um resultado mais completo e robusto, para trabalhos futuros, será necessário estender o escopo do trabalho e incluir a análise dos subsistemas de uso e descarte dos rótulos produzidos, além de considerar todas as categorias de impactos ambientais. Assim, a avaliação do ciclo de vida seria do berço ao túmulo, possibilitando decisões mais assertivas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2020**, 2020a. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/arquivos/central-conteudos/anuario-estatistico/2020/anuario-2020.pdf>. Acesso em: 18 out. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Fatores de conversão, densidades e poderes caloríficos inferiores: valores médios para o ano de 2020**, 2020b. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/arquivos/central-conteudos/anuario-estatistico/2020/anuario-2020-fatores-conversao.pdf>. Acesso em: 18 out. 2020.

ALVES, Érica Daré et al. Estudo do processo de obtenção celulose Kraft com ênfase no forno de cal. **Revista Liberato**, v. 16, n. 26, p. 205-218, 2015.

ASHRAFI, O.; YERUSHALMI, L.; HAGHIGHAT, F. **Wastewater treatment in the pulp-and-paper industry: A review of treatment processes and the associated greenhouse gas emission**. *Journal of Environmental Management*, 158, 146-157, 2015

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA (ABIQUIM). **Como saber se e quando é hora de empreender uma Avaliação de Ciclo de Vida**. São Paulo – SP, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM (ABRE). **Quais etapas e quem envolver no projeto de desenvolvimento de embalagem?**, 2018. Disponível em: <http://blog.indumak.com.br/projeto-de-desenvolvimento-de-embalagem/> Acesso em: 7 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:2009: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2014a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044:2009: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro, 2014b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL (ABTCP). **Balanco de massa e energia da Caldeira de Recuperação da Fibria em Jacareí/SP**, 2012. Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2012_Balanzo_massa_energia_Fibria_Jacarei.pdf. Acesso em: 15 out. 2020.

BAUMGARTEN. **Guia Baumgarten de Referência em Embalagens**. Blumenau – SC: Baumgarten Gráfica Ltda, 2013.

BERGER, Ricardo et al. Minimização de custos de transporte florestal com a utilização da programação linear. **Floresta**, v. 33, n. 1, 2003.

BERGER, R. **Minimização do custo de transporte de madeira de eucalipto no estado de São Paulo. Piracicaba, 1975. 122p**. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

BUGS, Gilson Lucas. **Embalagem e Rotulagem em Produtos Alimentícios: um enfoque ambiental**. Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Sócio Econômico, Curso de Administração. Florianópolis, 2004.

CARVALHO, L. B. **Produção de polipropileno bi-orientado (Bopp): tecnologia e aplicações**. 2008. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão.

CASTRO, H. F. de. **Processos Químicos Industriais II: Papel e Celulose**. Lorena, 2009 (Apostila). Disponível em: http://bizuando.com/material-apoio/processos-qi2/Apostila_4_Papel_e_Celulose_2009.pdf. Acesso em: 08 out. 2020.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do ciclo de vida de produtos–ferramenta gerencial da ISO 14000–Qualitymark**. Rio de Janeiro, 1998.

CHRISTIANSEN, Kim. **Life Cycle Assessment in a Historical Perspective**. In: Workshop Internacional sobre Análise do Ciclo de Vida. Rio de Janeiro: ABNT. 1996. Anais. Rio de Janeiro, ABNT, GANA, 1996, P.121.

COELHO, F. C. **Avaliação do ciclo de vida comparativa entre canudos de papel e de polipropileno utilizando a abordagem do berço ao portão da fábrica**. Trabalho de Conclusão de Curso-Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

COPCENTRO. **5 tipos de rótulos para o seu produto**, 2018. Disponível em: <http://copcentro.com.br/5-tipos-de-rotulos-para-o-seu-produto/> Acesso em: 7 out. 2020.

COSTA, Felipe Silveira. **Análise de falhas de um processo de fabricação de filmes plásticos de BOPP utilizando os conceitos de confiabilidade**. Trabalho de Conclusão de Curso-Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre, 2014.

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

CURRAN, M. A. **Life Cycle Assessment: Principles and Practice**. EPA – Environmental Protection Agency: Cincinnati, EUA, 2006. 88 p.

DE ASSIS, Bruno Bastos. **Avaliação do Ciclo de Vida do produto como ferramenta para o desenvolvimento sustentável**. Trabalho de Conclusão de Curso-Engenharia de Produção, Universidade Federal De Juiz De Fora. Juiz de Fora, 2009.

ECOINVENT 3.3. **Ecoinvent 3.3 dataset documentation: transport, freight, lorry 16-32 metric ton**, EURO5, 2014.

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>. Acesso em: 21 out. 2020.

GALDIANO, G. P. **Inventário do ciclo de vida do papel offset produzido no Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química. São Paulo/SP, 2006.

GIOVANNETTI, Dolores Vida les. **El mundo del envase: manual para el disetio y producción de envases y embalajes**. México: Ediciones G. Gill, 1995

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IBICT). **Desenvolvimento Sustentável e Avaliação do Ciclo de Vida**. LAMB, C. M. S. R. (coord.). CNI/Ibict: Brasília, DF. 33p. 2014.

JOAQUIM, Ricardo Braun. **Análise do ciclo de vida: sacola plástica X sacola de papel**. Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2013.

JUNGLUTH, Niels; MEILI, Christoph; WENZEL, Paula. **Life cycle inventories of oil refinery processing and products**, 2018.

LIMA, Â. M. **Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil: inserção e perspectivas**. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo). Universidade Federal da Bahia, Departamento de Engenharia Ambiental. Salvador, 2007.

LOPES, J. F. et al. **Análise do ciclo de vida de produtos como técnica de apoio a gestão ambiental e industrial**. UTFPR–Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2002. Disponível em: <<http://pg.utfpr.edu.br/expout/2011/artigos/7.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2020.

MEILI, Christoph; JUNGLUTH, Niels; ANNAHEIM, Jasmin. **Life cycle inventories of crude oil extraction**. ESU-services Ltd Fair consuting in sustainability, 2018.

MIGUEL, Paulo A. Cauchick et al. **Desdobramento da qualidade no desenvolvimento de filmes flexíveis para embalagens**. *Polímeros: ciência e tecnologia*, v. 13, n. 2, p. 87-94, 2003.

OLIVEIRA, Maria Clara Brandt Ribeiro de. **Avaliação de ciclo de vida de embalagens plásticas de óleo lubrificante: um estudo de caso**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

PIOTTO, Z. **Eco-eficiência na indústria de Celulose e Papel – Estudo de Caso**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

PRÉ-CONSULTANTS. **Data Archive: propene (propylene) production**. SimaPro. Versão 7, 2006.

RIBEIRO, P. H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009, 341 f. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-31032010-114700/publico/TESE_Paulo_3602337.pdf Acesso em: 21 out. 2020.

SOUSA, Roberto Antonio Ticle de Melo. **Análise do fluxo de transporte rodoviário de toras curtas de eucalipto para algumas indústrias de celulose e de chapas de composição no estado de São Paulo**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2000.

STRANDDORF et al. **Impact categories, normalisation and weighting in LCA**. Environmental News, Copenhagen, v. 78, 2005.

SUZANO PAPEL E CELULOSE. **Produção de papel não revestido (offset)**. São Paulo, 2020a. Disponível em: <https://storage.googleapis.com/stateless-site-suzano-com-br/2020/01/fabrica%C3%A7%C3%A3o-de-papel_NR.pdf>. Acesso em: 21 out. 2020.

SUZANO PAPEL E CELULOSE. **Produção de papel revestido couché**. São Paulo, 2020b. Disponível em: < https://storage.googleapis.com/stateless-site-suzano-com-br/2020/01/fabrica%C3%A7%C3%A3o-de-papel_RE.pdf>. Acesso em: 21 out. 2020.

THOMPSON, Cynthia. **Avaliação da contração e do coeficiente de expansão térmico linear em copolímeros heterofásicos**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Engenharia de Materiais. Porto Alegre, 2009.

TORRAGA, Maria Giuliana Fontanelli. **Otimização da transição de grades poliméricos em reatores tipo loop para a produção de polipropileno**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2016.

TOULOUPIDIS, Vasileios. **Mathematical Modelling and Simulation of na Industrial alfa-olefins Catalytic Slurry Phase Loop-Reactor Series**. Tese – Aristotle University of Thessalonik, Thessalonik, 2010. 322p.

VIANA, Marcelo Mendes. **Inventário do ciclo de vida do biodiesel etílico do óleo de girassol**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica – Engenharia Química. São Paulo, 2008.

VIANNA, Fernanda Cristina. **Análise de ecoeficiência: avaliação do desempenho econômico-ambiental do biodiesel e petrodiesel**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica – Engenharia Química. São Paulo, 2006.

WERLANG, Luís AR; RIEGEL, Izabel C. Embalagens de água mineral: a importância da seleção e identificação de materiais no projeto da embalagem visando a reciclagem. Programa de Pós-Graduação em Gestão Tecnológica: Qualidade Ambiental do Centro Universitário Feevale. **Anais do 9º Congresso Brasileiro de Polímeros**. Campina Grande, Brasil, 2007. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2007/PDF/477.pdf>> Acesso em: 18 set. 2020.

APÊNDICE A

Apêndice I: Questionário aplicado para processo elementar de produção de rótulos.

Preenchido por:		
Data do preenchimento:		
Processo elementar:		
Origem dos dados:		
Descrição do processo elementar:		
Parâmetros	Quantidade	Unidade
ENTRADAS		
Recursos Materiais		
Recursos energéticos		
SAÍDAS		
Produto		
Emissões atmosféricas		
Efluentes líquidos		
Resíduos sólidos		

Apêndice II: Inventário do ciclo de vida consolidado para a produção de rótulos de BOPP.

Parâmetros	Unidade	Extração de 4,07E+04 kg de Petróleo com fator de alocação de 3,78%	Refino de 3,73E+04 kg de Petróleo Cru com fator de alocação de 3,78%	Craqueamento de 1445 kg de Nafta	Produção de 1054,8 kg PP	Transporte Marítimo de 7,09E+03 de petróleo cru por 13.300 km e Rodoviário de 1054,8 kg de resina PP por 167 km	Produção de 1200 kg de BOPP	Produção de 1000 kg de rótulos	Consolidado para 1000 kg de rótulos de BOPP
ENTRADAS									
Recursos Materiais									
Carvão	Kg	6,03E-02				3,03E-01			3,63E-01
Gás natural	Kg	5,49E+01			2,17E+01	3,68E+00			8,03E+01
Combustíveis renováveis	Kg	4,20E-01							4,20E-01
Água	L	2,91E+02	2,70E+01		1,20E+04		5,24E+03	3,00E+01	1,76E+04
CaCl ₂	Kg		8,64E-04						8,64E-04
CaO	Kg		1,87E-03						1,87E-03
FeSO ₄	kg		2,67E-03						2,67E-03
HCl	kg		4,75E-03						4,75E-03
NaClO	kg		2,67E-03						2,67E-03
NH ₃	kg		1,07E-04						1,07E-04
H ₂ SO ₄	kg		5,17E-04						5,17E-04
Óleo Lubrificante/ Diesel	kg		6,56E-04		8,78E+01	3,58E+00			9,13E+01
Sabão	kg		1,43E-04						1,43E-04
Aditivos	kg				4,47E+00		2,82E+00		7,29E+00
GLP	kg				4,87E-01		2,68E+01		2,72E+01

Continuação

Parâmetros	Unidade	Extração de 4,07E+04 kg de Petróleo com fator de alocação de 3,78%	Refino de 3,73E+04 kg de Petróleo Cru com fator de alocação de 3,78%	Craqueamento de 1445 kg de Nafta	Produção de 1054,8 kg PP	Transporte Marítimo de 7,09E+03 de petróleo cru por 13.300 km e Rodoviário de 1054,8 kg de resina PP por 167 km	Produção de 1200 kg de BOPP	Produção de 1000 kg de rótulos	Consolidado para 1000 kg de rótulos de BOPP
Catalisadores	kg				2,17E+00				2,17E+00
Materiais Auxiliares	kg				1,20E+02				1,20E+02
Regranulado de PP	kg						2,78E+02		2,78E+02
Adesivo	kg							2,22E+01	2,22E+01
Liner	kg							1,33E+03	1,33E+03
Tinta	kg							6,67E+01	6,67E+01
Verniz UV	kg							2,22E+01	2,22E+01
Energia	kWh	1,17E+02	2,26E+00		4,89E+05	3,46E+03	2,75E+03	1,33E+01	4,96E+05
SAÍDAS									
Emissões atmosféricas									
CO ₂	kg	2,11E+02	4,43E-01	1,15E+03	3,29E+02	2,21E+03	2,51E+02		4,15E+03
CO	kg	4,18E-01	1,41E-03	5,87E-01	1,89E-01	6,63E+00	6,00E-01		8,42E+00
Vapor de água	kg	2,98E-01							2,98E-01
Material particulado	kg	1,57E-01	8,00E-04	3,26E-02		2,55E-02	6,36E-06		2,16E-01
CH ₄	kg	3,34E+00	2,37E-03			3,82E-04			3,34E+00
H ₂ S	kg		1,12E-05						1,12E-05
NH ₃	kg		5,87E-05						5,87E-05
NO ₂	kg		3,12E-04	2,18E+00	1,07E+00	4,18E+01			4,50E+01
SO ₂	kg		2,60E-04	2,17E-01	2,54E-02	3,50E+01			3,52E+01
COVs	kg		1,21E-03	1,53E+00					1,53E+00

Continuação

Parâmetros	Unidade	Extração de 4,07E+04 kg de Petróleo com fator de alocação de 3,78%	Refino de 3,73E+04 kg de Petróleo Cru com fator de alocação de 3,78%	Craqueamento de 1445 kg de Nafta	Produção de 1054,8 kg PP	Transporte Marítimo de 7,09E+03 de petróleo cru por 13.300 km e Rodoviário de 1054,8 kg de resina PP por 167 km	Produção de 1200 kg de BOPP	Produção de 1000 kg de rótulos	Consolidado para 1000 kg de rótulos de BOPP
N ₂	kg				9,23E+02				9,23E+02
CxHy	kg	2,51E-03				3,95E+00	2,38E+00		6,32E+00
Metais pesados não especificados	kg	6,00E-06				5,94E-05			6,54E-05
COVNM	kg					1,33E-01			1,33E-01
N ₂ O	kg					2,55E-03			2,55E-03
Efluentes líquidos									
DBO	kg	4,32E-02	2,35E-04	4,35E-02		5,94E-04			8,75E-02
DQO	kg	2,67E-01				2,97E-04			2,67E-01
Efluentes líquidos não especificados/ processo	kg / m ³	4,05E-05	2,78E+01		2,00E+03		3,78E+02		2,41E+03
Água residual	kg	4,05E-03							4,05E-03
Óleo	kg	1,07E-02	1,11E-05			4,09E-03			1,48E-02
Sólidos suspensos totais	kg	1,37E-01	3,36E-04						1,38E-01
Cloreto	kg		9,98E-04						9,98E-04
Fenol	kg		1,02E-06						1,02E-06
Fosfato	kg		6,94E-06						6,94E-06
Nitrato	kg		3,31E-04						3,31E-04

Continuação

Parâmetros	Unidade	Extração de 4,07E+04 kg de Petróleo com fator de alocação de 3,78%	Refino de 3,73E+04 kg de Petróleo Cru com fator de alocação de 3,78%	Craqueamento de 1445 kg de Nafta	Produção de 1054,8 kg PP	Transporte Marítimo de 7,09E+03 de petróleo cru por 13.300 km e Rodoviário de 1054,8 kg de resina PP por 167 km	Produção de 1200 kg de BOPP	Produção de 1000 kg de rótulos	Consolidado para 1000 kg de rótulos de BOPP
Nitrogênio amoniacal	kg		6,40E-05						6,40E-05
Sulfato	kg		2,73E-03	9,78E-02					1,01E-01
Íons metálicos	kg					2,97E-04			2,97E-04
Cl-	kg					5,94E-04			5,94E-04
Resíduos sólidos									
Resíduos não especificados/processo	kg	4,51E-07	1,04E-03		1,73E+01	1,31E-01	1,61E+01	5,35E+02	5,68E+02
Catalisadores	kg		5,34E-05						5,34E-05
Lodo	kg		2,11E-02						2,11E-02
Scrap de BOPP	kg						2,45E+02		2,45E+02
Borra	kg						3,25E+00		3,25E+00
Resina (PP)	kg						3,10E-01		3,10E-01
Resíduos sólidos oleosos	kg					9,71E+00			9,71E+00

Apêndice III: Inventário do ciclo de vida consolidado para a produção de rótulos de Papel.

Parâmetros	Unidade	Produção florestal de 3,94E+03 Kg de Madeira	Transporte de 3,94E+03 de Madeira por 150 km	Extração de celulose, branqueamento e geração de 988 Kg de celulose branqueada	Recuperação Química de 23,4 kg de Licor negro	Produção de 1200 kg de papel	Produção de 1000 kg de rótulos	Consolidado para 1000 kg de rótulos de papel
ENTRADAS								
Recursos Materiais								
Água	L	1,08E+03		2,81E+04		2,30E+04	3,00E+01	5,21E+04
Fertilizante	kg	3,48E+01						3,48E+01
Defensivos - Herbicidas	L/ciclo	5,52E-01						5,52E-01
Defensivos - Formicidas	kg/ciclo	3,48E-01						3,48E-01
Mudas/Sementes	-	6,96E+01						6,96E+01
Calcário	kg/ciclo	7,65E+01						7,65E+01
CO ₂ fixado	kg	3,79E+03						3,79E+03
Óleo Diesel	kg		2,22E+01					2,22E+01
Soda Cáustica	kg			9,77E+00				9,77E+00
Antiespumante	kg			6,60E-01				6,60E-01
Clorato de sódio	kg			1,68E+01				1,68E+01
Ácido Sulfúrico	kg			1,29E+01				1,29E+01
Enxofre (e/ou sulfato de sódio)	kg			5,86E+00				5,86E+00
Oxigênio líquido	kg			1,45E+01				1,45E+01
Peróxido de Hidrogênio	kg			7,67E+00				7,67E+00
Cal virgem	kg			9,77E+00				9,77E+00
Ácido Clorídrico	kg			1,76E+00				1,76E+00
Metanol	kg			2,10E+00				2,10E+00

Continuação

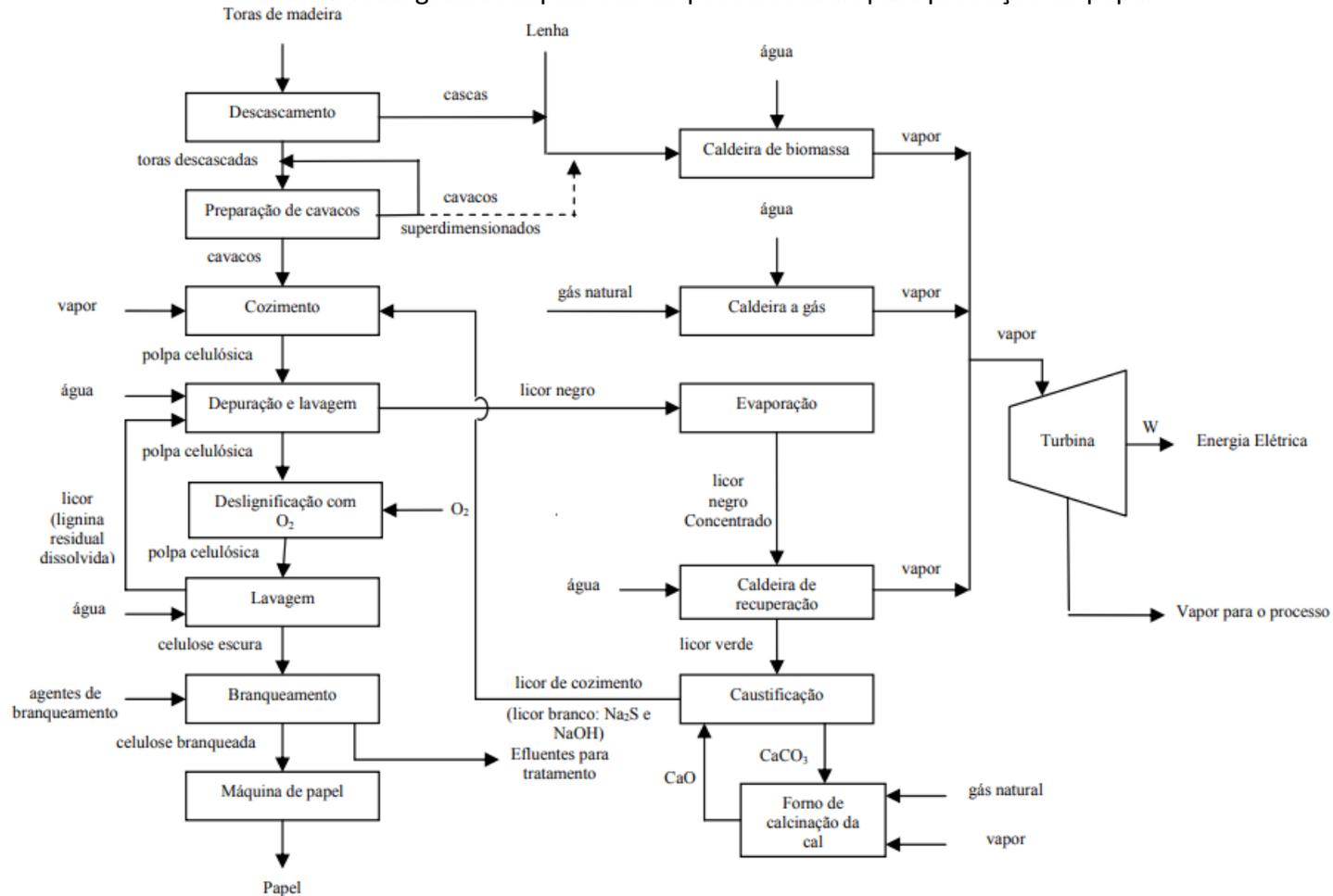
Parâmetros	Unidade	Produção florestal de 3,94E+03 Kg de Madeira	Transporte de 3,94E+03 de Madeira por 150 km	Extração de celulose, branqueamento e geração de 988 Kg de celulose branqueada	Recuperação Química de 23,4 kg de Licor negro	Produção de 1200 kg de papel	Produção de 1000 kg de rótulos	Consolidado para 1000 kg de rótulos de papel
Licor negro	m3				2,34E+01			2,34E+01
CaCO ₃ precipitado	kg					1,26E+02		1,26E+02
Adesivo	kg					1,20E+00	1,40E+01	1,52E+01
Aditivos	kg					2,28E+01		2,28E+01
Liner	kg						8,37E+02	8,37E+02
Tinta	kg						4,19E+01	4,19E+01
Verniz UV	kg						1,40E+01	1,40E+01
Energia	kWh	2,94E+01		2,23E+04	2,03E+04	1,99E+04	1,33E+01	6,26E+04
SAÍDAS								
Emissões atmosféricas								
CO ₂	kg	3,24E+02	6,91E+01	1,49E+03	4,74E+03			6,62E+03
CO	kg		1,56E+05	2,28E+02				1,56E+05
Material particulado	kg		2,13E-03	3,85E-01	8,33E-01			1,22E+00
CH ₄	kg			1,39E+01				1,39E+01
H ₂ S	kg			3,55E+00				3,55E+00
NO ₂	kg		1,96E-01	2,95E+00				3,15E+00
SO ₂	kg		3,40E-04	4,74E-01	8,02E-02			5,55E-01
<u>COV₅</u>	kg			1,57E+01				1,57E+01
N ₂ O	kg		3,99E-03					3,99E-03
TRS	kg				3,97E+00			3,97E+00
Efluentes líquidos								
DBO	kg			7,52E+00	6,21E-01	1,21E+00		9,35E+00

Continuação

Parâmetros	Unidade	Produção florestal de 3,94E+03 Kg de Madeira	Transporte de 3,94E+03 de Madeira por 150 km	Extração de celulose, branqueamento e geração de 988 Kg de celulose branqueada	Recuperação Química de 23,4 kg de Licor negro	Produção de 1200 kg de papel	Produção de 1000 kg de rótulos	Consolidado para 1000 kg de rótulos de papel
Efluentes líquidos não especificados/ processo	kg / m3			1,79E+01	6,64E+00	2,30E+00		2,68E+01
Sólidos suspensos totais	kg			4,75E+01	1,36E+01	1,20E+01		7,31E+01
Nitrogênio amoniacal	kg			3,46E-02				3,46E-02
Resíduos sólidos								
Resíduos não especificados/processo	kg	2,98E+00		5,94E+00	5,09E-02		4,27E+02	4,36E+02
Cascas	kg			1,27E+02				1,27E+02
Nós e palitos	kg			5,23E+01				5,23E+01
Aparas de papel	kg					1,18E+02		1,18E+02
Lodo	kg			1,30E+02				1,30E+02

ANEXO A

Anexo I: Fluxograma simplificado do processo Kraft para produção de papel



Fonte: GALDIANO, 2006