

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**GABRIELA TAMIRES DINALDO**

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE PRODUTO ATRAVÉS DE METODOLOGIAS DE  
DECISÃO MULTICRITÉRIO E MATRIZ DFE**

**LONDRINA**

**2023**

**GABRIELA TAMIRES DINALDO**

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE PRODUTO ATRAVÉS DE METODOLOGIAS DE  
DECISÃO MULTICRITÉRIO E MATRIZ DFE**

**Product Life Cycle Analysis Through Multi-Criteria Decision Methodologies  
And Dfe Matrix**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Dr. Marco Antonio Ferreira

**LONDRINA**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**GABRIELA TAMIRES DINALDO**

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE PRODUTO ATRAVÉS DE METODOLOGIAS DE  
DECISÃO MULTICRITÉRIO E MATRIZ DFE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como  
requisito para obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 23 de novembro de 2023

---

Marco Antonio Ferreira  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Regina Lucia Sanches Malassise  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Reginaldo Fidelis  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**LONDRINA**

**2023**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer à Deus por guiar toda a minha jornada até aqui. Por ter me proporcionado a oportunidade de realizar uma graduação que tanto almejei e por me permitir concluir este trabalho com muito empenho e dedicação.

Agradeço imensamente à minha família, que sempre me apoiou e meu deu forças para continuar, em todas as áreas de minha vida. Em especial, dedico meus mais sinceros agradecimentos aos meus pais Cristiane de Jesus Correa e Marcelo Frabetti Correa, e meu irmão Matheus de Jesus Correa, por sempre me incentivarem aos estudos, acreditando em meu potencial e me dando apoio, seja ele emocional ou financeiro. Sem vocês, nada seria possível. Obrigada por serem meu porto seguro, meu amor por vocês é incondicional.

Não poderia deixar de agradecer ao meu orientador Prof. Dr. Marco Antonio Ferreira por todo conhecimento e sabedoria compartilhados, além de toda paciência e comprometimento ao longo deste ano. Suas orientações foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho.

À UTFPR, por conceder estrutura e corpo docente que me permitiram o aprendizado em minha graduação, lembrarei da universidade sempre com muito carinho.

Aos meus amigos e colegas da graduação, por tornarem os dias mais leves ao longo de todos estes anos, por toda parceria, ajuda e momentos de descontração.

Gostaria de agradecer aos meus companheiros de trabalho, pela oportunidade concedida para iniciar minha carreira e por transmitirem todos os ensinamentos. Vocês foram muito importantes em meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, não foram mencionados aqui, mas que me ajudaram e fazem parte, mesmo que indiretamente, da minha trajetória na graduação.

## RESUMO

Com o aumento da população, cresce a necessidade de aumento da produção de produtos e serviços. Com isso, surgiram alguns obstáculos em relação aos recursos limitados na natureza. Neste sentido, as empresas passam a ter de encontrar maneiras de não comprometerem o meio ambiente, sem perder a competitividade ou deixar de produzir. A partir disso, surgiu uma ferramenta de grande importância no âmbito sustentável, conhecida como ACV (Análise do Ciclo de Vida). Este é um método amplamente conhecido, se tratando de avaliação e quantificação de impactos ambientais de um produto ou processo. Sua visão sistêmica permite realizar um estudo completo, desde à matéria-prima até o descarte. O presente estudo tem como objetivo analisar o processo de reciclagem do papel em uma empresa do ramo de embalagens, com o intuito de compreender seu desempenho ambiental perante os processos de produção, através do ACV, combinando à duas ferramentas, que são as matrizes DFE e AHP. Para o estudo, o método em questão trata-se de uma pesquisa-ação, no qual são observadas as interações entre os cinco estágios do ciclo de vida analisados, que são pré-manufatura, manufatura, embalagem e distribuição, uso e manutenção e fim de vida, correlatos a cinco aspectos ambientais, que são materiais, uso de energia e resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Entretanto, a partir do método de ponderação de critérios, torna-se possível atribuir pesos diferentes para cada etapa, podendo assim, alterar os pontos de maior ou menor impacto, a fim de direcionar os esforços necessários de acordo com as estratégias adotadas. Os resultados indicam que o principal impacto está no estágio de pré-manufatura, devido ao desconhecimento em questões ambientais dos fornecedores da empresa estudada. O segundo estágio menos pontuado foi o de manufatura, relacionado às questões como reutilização de energia e geração de gases de efeito estufa. Em seguida, o terceiro maior impacto é pertinente ao fim de vida referente a geração de lodo. Por fim, o quarto maior impacto foi o de distribuição e embalagem, seguido do uso do produto e manutenção, este com pontuação total.

Palavras-chaves: Ciclo de vida do produto; Gestão ambiental; Resíduos de papel – Reaproveitamento; Matriz DFE; Matriz AHP.

## ABSTRACT

As the population increases, the need to increase the production of products and services grows. As a result, some obstacles arose in relation to limited resources in nature. In this sense, as companies begin to find ways to not compromise the environment, without losing competitiveness or ceasing to produce. From this, a tool of great importance in the sustainable field emerged, known as LCA (Life Cycle Analysis). This is a widely known method, dealing with the assessment and quantification of environmental impacts of a product or process. Its systemic vision allows us to carry out a complete study, from raw materials to disposal. The present study aims to analyze the paper recycling process in a packaging company, with the aim of understanding its environmental performance in relation to production processes, through LCA, combining with two matrices, which are the DFE and AHP matrices. . For the study, the method in question is action research, the interactions between the five proven life cycle advances are not observed, which are pre-manufacturing, production, packaging and distribution, use and maintenance and end of life, correlated to five environmental aspects, which are materials, energy use and solid, liquid and gaseous waste. However, using the criteria weighting method, it becomes possible to predict different weights for each stage, thus being able to change the points of greater or lesser impact, in order to direct the necessary efforts according to the strategies used. The results indicate that the main impact is in the prefabrication stage, due to the scientific company's suppliers' lack of knowledge on environmental issues. The second least scored stage was manufacturing, related to issues such as energy reuse and generation of greenhouse gases. Then, the third biggest impact is related to the end of life related to the generation of sludge. Finally, the fourth biggest impact was distribution and packaging, followed by product use and maintenance, this with full classification.

Keywords: Product life cycle; Environmental management; Paper waste – Reuse; DFE matrix; AHP matrix.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 1 - Ciclo de vida e suas interações com o meio ambiente: um exemplo</b>               | <b>17</b> |
| <b>Figura 2 - Elementos da Avaliação dos Impactos .....</b>                                     | <b>27</b> |
| <b>Figura 3 - Matriz DFE.....</b>   | <b>30</b> |
| <b>Figura 4 - O ciclo de vida resumido do produto .....</b>                                     | <b>31</b> |
| <b>Figura 5 - Estrutura Hierárquica Genérica .....</b>  | <b>33</b> |
| <b>Figura 6 - Esquema geral de uma máquina de papel .....</b>                                   | <b>43</b> |
| <b>Figura 7 - Fluxograma simplificado do processo de fabricação do papel<br/>reciclado.....</b> | <b>45</b> |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Exemplo de ponderação da matriz AHP .....   | 35 |
| Tabela 2 - Taxa de Recuperação de Papéis Recicláveis em Países Selecionados .....                    | 38 |
| Tabela 3 - Pontuação em Matriz DFE .....   | 52 |
| Tabela 4 - Pontuação da matriz AHP para aspectos ambientais.....                                     | 53 |
| Tabela 5 - Vetores normalizados e cálculo da razão de coerência para aspectos ambientais.....        | 53 |
| Tabela 6 - Escores normalizados e vetor decisão para aspectos ambientais ...                         | 54 |
| Tabela 7 - Pontuação da matriz AHP para estágios do ciclo de vida .....                              | 54 |
| Tabela 8 - Vetores normalizados e cálculo da razão de coerência para estágios do ciclo de vida ..... | 55 |
| Tabela 9 - Escores normalizados e vetor decisão para estágios do ciclo de vida .....                 | 55 |



## LISTA DE QUADROS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Quadro 1 - Escala fundamental de números absolutos.....</b>  | <b>34</b> |
| <b>Quadro 2 - Índice aleatório .....</b>  | <b>36</b> |
| <b>Quadro 3 - Resultado da pontuação do estágio de pré-manufatura.....</b>  | <b>46</b> |
| <b>Quadro 4 - Resultado da pontuação do estágio de manufatura .....</b>   | <b>47</b> |
| <b>Quadro 5 - Resultado da pontuação do estágio de distribuição e embalagem .</b>                                       | <b>48</b> |
| <b>Quadro 6 - Resultado da pontuação do estágio de uso do produto e<br/>manutenção .....</b>                            | <b>50</b> |
| <b>Quadro 7 – Resultado da pontuação do estágio de fim de vida .....</b>  | <b>51</b> |
| <b>Quadro 8 – Questões não pontuadas em relação ao uso de energia .....</b>   | <b>57</b> |
| <b>Quadro 9 – Questões não pontuadas em relação aos resíduos gasosos.....</b>   | <b>57</b> |
| <b>Quadro 10 – Questões não pontuadas em relação aos resíduos sólidos e<br/>líquidos.....</b>                           | <b>57</b> |
| <b>Quadro 11 – Questões não pontuadas em relação aos materiais .....</b>  | <b>58</b> |
| <b>Quadro 12 - Comparação dos estágios do ciclo de vida de acordo com a<br/>ponderação dos impactos .....</b>           | <b>58</b> |
| <b>Quadro 13 - Comparação dos aspectos ambientais do ciclo de vida de acordo<br/>com a ponderação dos impactos.....</b> | <b>59</b> |

## SUMÁRIO

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | <b>13</b> |
| <b>2</b>   | <b>OBJETIVOS</b> .....  | <b>16</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Objetivos Gerais</b> .....   | <b>16</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Objetivos Específicos</b> .....  | <b>16</b> |
| <b>3</b>   | <b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....  | <b>16</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Métodos de Avaliação de Impacto Ambiental Antrópico de Produtos</b><br><b>16</b> |           |
| 3.1.1      | Definição e conceito de ACV .....   | 16        |
| 3.1.2      | Histórico .....   | 19        |
| 3.1.3      | ACV comparativo.....  | 22        |
| 3.1.4      | Metodologia para construção do ACV .....  | 24        |
| <b>3.2</b> | <b>Matriz DFE</b> .....   | <b>29</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Decisão Multicritério</b> .....  | <b>31</b> |
| 3.1.1      | AHP .....   | 32        |
| <b>4</b>   | <b>INDÚSTRIA DE PAPEL RECICLADO</b> .....   | <b>36</b> |
| <b>5</b>   | <b>METODOLOGIA</b> .....  | <b>39</b> |
| <b>6</b>   | <b>A EMPRESA E O PROCESSO PRODUTIVO</b> .....                                       | <b>41</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Tratamento de Efluentes</b> .....  | <b>43</b> |
| <b>7</b>   | <b>ANÁLISE E DISCUSSÃO</b> .....  | <b>44</b> |
| <b>7.1</b> | <b>Objetivo</b> .....   | <b>44</b> |
| <b>7.2</b> | <b>Escopo</b> .....   | <b>45</b> |
| <b>7.3</b> | <b>Análise de Inventário para a Matriz DFE</b> .....                                | <b>45</b> |
| 7.3.1      | Pré-Manufatura.....   | 45        |
| 7.3.2      | Manufatura .....  | 46        |
| 7.3.3      | Distribuição e Embalagem.....   | 48        |
| 7.3.4      | Uso do produto e manutenção .....   | 49        |
| 7.3.5      | Fim de Vida .....   | 50        |
| 7.3.6      | Resultado Geral da Matriz DFE.....  | 51        |
| <b>7.4</b> | <b>Análise de Inventário para a Matriz AHP</b> .....                                | <b>53</b> |
| 7.4.1      | Ponderação de critérios para os aspectos ambientais .....                           | 53        |
| 7.4.2      | Ponderação de critérios para os estágios do ciclo de vida.....                      | 54        |
| <b>7.5</b> | <b>Avaliação de Impacto</b> .....   | <b>55</b> |
| <b>8</b>   | <b>CONCLUSÃO</b> .....  | <b>59</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | <b>62</b> |

**APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO ADAPTADO PARA A MATRIZ DFE .....69**

## 1 INTRODUÇÃO

No âmbito empresarial, a preocupação com o estado do meio ambiente ainda não se tornou, para a maioria das empresas, práticas administrativas e operacionais efetivas. Um dos grandes responsáveis pelos problemas ambientais foi o aumento da escala de produção, que estimula a exploração dos recursos naturais e eleva a quantidade de resíduos gerados (BARBIERI, 2016).

A partir desse viés, encontrar processos de produção e consumo que não comprometam a capacidade do meio ambiente de fornecer recursos para as gerações presentes e futuras, é fundamental para o movimento pelo desenvolvimento sustentável (BRANCHINI; CAJAZEIRA; BARBIERI, 2009).

Neste sentido, a avaliação do ciclo de vida (ACV) surgiu como a ferramenta analítica mais abrangente para avaliar o perfil ambiental de um produto. A ACV refere-se às técnicas utilizadas na identificação, avaliação e redução dos efeitos ambientais adversos associados a um sistema de ciclo de vida de um produto (KEOLEIAN, 1994).

A aplicação desta ferramenta pode auxiliar na identificação de oportunidades de melhoria, tomada de decisões em indústrias ou organizações governamentais, escolha de indicadores de desempenho ambiental e no marketing de um produto (ABNT NBR ISO 14044:2009).

A sustentabilidade tornou-se cada vez mais importante nas últimas décadas devido à crescente preocupação com os recursos ambientais limitados, aliada ao crescimento populacional, e está cada vez mais difundida nos diferentes setores da economia, solidificando-se como uma necessidade para manter a competitividade do mercado e cumprimento de políticas públicas (SUBTIL, 2015)

Por essa razão, o meio empresarial foi compelido a implementar uma série de mudanças em sua conduta, visando mitigar os efeitos ambientais negativos causados por suas atividades. O objetivo primordial dessas ações foi não apenas conquistar novos nichos de mercado, mas também assegurar a manutenção das posições já alcançadas (SEO; KULAY, 2006).

As organizações passam por duas fases no contexto ambiental: controle e prevenção. Na fase de controle, elas reagem aos apelos da sociedade e buscam minimizar os impactos ambientais negativos de suas atividades através de regulamentações governamentais. Na fase de prevenção, as organizações adotam uma abordagem proativa, visando evitar a ocorrência de impactos ambientais

prejudiciais. Elas buscam não gerar resíduos ou, quando não é possível, procuram formas sustentáveis de reaproveitá-los, evitando sua disposição no ambiente. Essa transição reflete uma mudança de mentalidade em direção à sustentabilidade e à responsabilidade ambiental (SILVA; KULAY, 2006).

Visando uma análise destas fases em um contexto ambiental, o método de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) fornece aos pesquisadores ou empresas, dados quantitativos sobre seus produtos atuais. Ao examinar a vida de um produto desde a extração da matéria-prima até o descarte, é possível analisar o impacto ambiental de cada processo e material. A ACV permite aos analistas determinar e analisar os aspectos tecnológicos, econômicos, ambientais e sociais de um produto ou processos necessários para gerenciar o ciclo de vida completo. Com esses dados quantitativos, é possível justificar as mudanças desejadas em relação ao custo e aos impactos ambientais de um produto ou processo (WILLIAMS, 2009).

A participação da população em programas de separação domiciliar de lixo, constitui importante indicação nesse sentido. Os movimentos sociais dedicados à preservação do meio ambiente têm direcionado, de forma cada vez mais enfática, seus esforços para a defesa e promoção de ações relacionadas ao gerenciamento de resíduos. Essa crescente pressão da sociedade se tornou um fator de extrema importância para a expansão do mercado de reciclagem, tanto no Brasil quanto em todo o mundo. (CALDERONI, 2003).

De forma a enfatizar esse interesse pela reciclagem, Grippi (2001) salienta que com o aumento do interesse pela reciclagem, cresceu também a quantidade de caixas feitas com material reciclado. A fabricação de papéis com uso de aparas gasta de 10 a 50 vezes menos água que no processo tradicional, que usa celulose virgem, além de reduzir o consumo de energia em 50%.

Segundo a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* - FAO (2021) a produção anual de papel e papelão aumentou em 6% desde 2010. Além disso, um trabalho realizado pela IEA (ETP 2017), observou que através do aumento da população e do padrão de vida, a demanda por papel de uso doméstico e sanitário, aumentou em 27% desde 2010. Ademais, o transporte de bens de consumo elevou a demanda por embalagens, aumentando as necessidades de material de empacotamento (aumento de 23%). Em contrapartida, a era digital proporcionou a redução em 16% a demanda por papéis de imprimir e escrever.

Para Vidal (2012), o papelão ondulado é atualmente o papel mais consumido no mundo, e essa tendência deve se acentuar, devido às perspectivas positivas para o setor. Mestriner (2013), comenta que, no futuro, haverá muito mais embalagens que precisarão ser geridas com responsabilidade ambiental, sendo recicladas. Essa atividade contribuirá para a geração de empregos, valor e renda, além de evitar que sejam dispostas no meio ambiente.

O setor de papel e celulose desempenha um papel crucial na economia nacional e global devido à sua receita gerada, investimentos significativos, impacto sobre outros setores econômicos em sua cadeia produtiva, geração e consumo de energia, além de impacto social e ambiental positivos (EPE; IEA, 2022).

No âmbito mundial, há uma crescente preocupação em analisar o impacto ambiental dos produtos ao longo do seu ciclo de vida, haja vista o acelerado ritmo de crescimento econômico, no qual os processos produtivos tendem a impactar fortemente em questões relacionadas a geração de resíduos, uso de recursos naturais e poluição. No contexto da indústria do papel reciclado, a ACV desempenha um papel fundamental na avaliação e comparação do desempenho ambiental de diferentes processos de produção.

Segundo Calderoni (2003), as questões ecológicas já possuem considerações relevantes, como a inclusão da questão ecológica no debate público, ao longo de já quase três décadas, produziu uma considerável elevação no grau de consciência social sobre o tema.

Dessa forma, faz-se necessário uma análise sobre o impacto ambiental de um produto de papel, que é feito a partir da reciclagem do papelão (aparas), utilizado para embalagens primárias e secundárias. Nesse contexto, é essencial compreender seu desempenho ambiental perante os processos de produção.

Para Azapagic (1999), a Avaliação do Ciclo de Vida oferece uma maneira sistemática de incorporar toda a cadeia de fornecimento de materiais e energia no planejamento estratégico e no desenvolvimento de políticas. Isso é demonstrado por um número crescente de aplicações de LCA (life cycle assessment), tanto pela indústria quanto pelos governos.

Por fim, Calderoni (2003) complementa que “embora o caminho já percorrido tenha sido bastante imenso, é inquestionável que o que resta ainda por fazer representa tarefa gigantesca”. (CALDERONI, 2003 p. 32)

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

O objetivo geral deste Trabalho de Conclusão de Curso é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do processo de fabricação de bolachas de papel, fabricado a partir da reciclagem de aparas, com o intuito de analisar e quantificar os impactos ambientais decorrentes de suas etapas, desde a pré-manufatura até o fim de vida.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Mapear o processo de fabricação de papel reciclado, incluindo a coleta de dados;
- Aplicar a metodologia do ACV a partir dos dados coletados, com o auxílio da metodologia multicritério AHP e matriz DFE, através da ponderação de cinco critérios pré-estabelecidos, como pré-manufatura, manufatura, distribuição e embalagem, uso do produto e manutenção e fim de vida;
- Identificar e analisar os pontos críticos do ciclo de vida do produto, onde os impactos ambientais são mais significativos;

## **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **3.1 Métodos de Avaliação de Impacto Ambiental Antrópico de Produtos**

#### **3.1.1 Definição e conceito de ACV**

Para Jaime (2010) o assunto relacionado às embalagens tem sido amplamente debatido no contexto das preocupações ambientais, principalmente quando se trata dos resíduos sólidos gerados após o consumo dos produtos. Devido ao fato de que, após a utilização do produto, a única coisa que permanece é a embalagem, gerando uma grande pressão sobre o seu impacto nos resíduos sólidos urbanos. No entanto, é importante destacar que a embalagem desempenha um papel fundamental na preservação dos produtos e, conseqüentemente, na utilização consciente dos recursos naturais e da mão de obra humana.

As empresas que não controlam os impactos ambientais negativos de seus processos produtivos, podem perder a competitividade no mercado e sofrer penalidades judiciais. Desta maneira, buscar alternativas ambientalmente mais adequadas e seguras à saúde humana se tornou incontestável a todas as empresas,

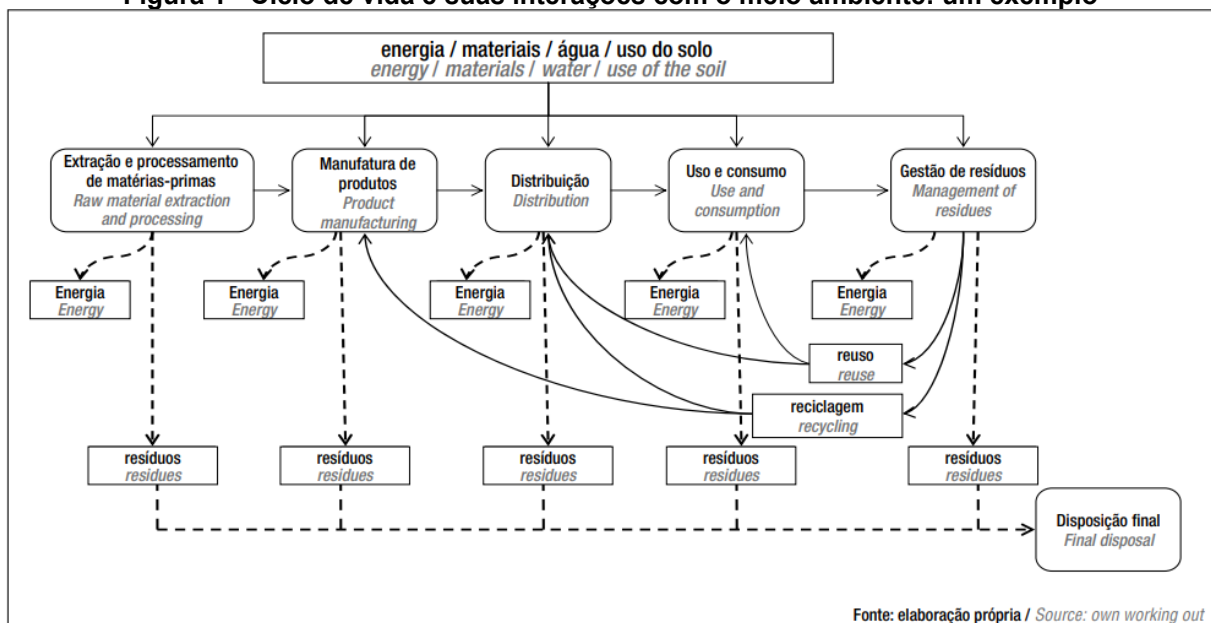
independentemente de seu tamanho, visando também a questão estratégica. (MENDES, 2013).

A partir da norma ISO 14040, afirma-se que com a crescente conscientização quanto à importância da proteção ambiental e os possíveis impactos associados aos produtos, relacionados à fabricação ou consumo, têm intensificado o interesse no desenvolvimento de métodos que compreendem e lidam com estes impactos. Uma das técnicas em desenvolvimento com esse objetivo é a avaliação do ciclo de vida (ACV).

Nesse contexto, ciclo de vida é “o conjunto de etapas necessárias para que um produto cumpra sua função e que vão desde a obtenção dos recursos naturais até sua disposição final após o cumprimento da função.” (SILVA; KULAY, 2006 p.3)

A Figura 1: Ciclo de vida e suas interações com o meio ambiente mostra esse ciclo por meio de etapas de uma cadeia produtiva. É possível observar que a cada etapa, novos recursos são utilizados e novos resíduos são produzidos. (BRANCHINI; CAJAZEIRA; BARBIERI, 2009).

**Figura 1 - Ciclo de vida e suas interações com o meio ambiente: um exemplo**



**Fonte: Barbieri; Cajazeira; Branchini (2009)**

Grande parte da fabricação de um produto envolve a sequência ilustrada, com a extração e processamento de matérias-primas, a manufatura, distribuição, uso e consumo e gestão dos resíduos. Toda etapa gera resíduos e se utiliza de algum tipo de energia. Embora não representado na figura, o transporte é uma etapa do ciclo de



vida por ser uma atividade potencialmente geradora de impactos ambientais, que ocorre praticamente no ciclo de vida de todos os produtos (SILVA; KULAY, 2006), assim como os relacionados com os retornos de materiais para reuso, reparo, reciclagem e remoção dos resíduos (BRANCHINI; CAJAZEIRA; BARBIERI, 2009).

A definição de ACV para Queiroz e Garcia (2010, p.401) é:

Uma técnica para avaliar o desempenho ambiental de um determinado produto: incluindo a identificação e quantificação da energia e das matérias-primas utilizadas no seu ciclo de fabricação, bem como as emissões para a água, solo e ar inerentes da produção, utilização e disposição final, avaliando o impacto ambiental associado ao uso dos recursos naturais (energia e materiais) e emissões de poluentes e identificando oportunidades para melhorar o sistema de forma a otimizar o desempenho ambiental do produto.

Segundo Claudino e Talamini (2012) “a técnica do ACV é uma análise (analysis) ao detalhar os fluxos do processo de produto e é uma avaliação (assessment) ao interpretar os fluxos.”

A metodologia de avaliação do ciclo de vida (ACV) realiza um balanço de todas as interações que podem ocorrer no tempo e espaço, e seus impactos relacionados. É uma ferramenta que pode ser utilizada para analisar os efeitos ambientais de um produto, processo ou atividade (CURRAN, 1996).

Esta ferramenta é utilizada para avaliar os efeitos ambientais de certo produto, processo ou atividade ao longo de seu ciclo de vida, que é conhecida como uma análise "do berço ao túmulo", segundo Roy *et al.*, 2009.

No entanto, o ciclo de vida pode ser ajustado a escopos menos abrangentes devido aos resultados que se pretende obter. Quando se restringem ao ciclo produtivo, em que o produto é o foco, a análise é “do berço ao portão da fábrica” (cradle-to-gate). Se o foco for o processo, a prática se delimita “do portão ao portão” (gate-to-gate) (SUBTIL, 2015).

Ainda, segundo Williams (2009, *apud* Subtil, 2015):

Uma parcela da comunidade científica que defende ainda escopos que tratem apenas de efeitos de pós-produção, ou, do ‘portão ao túmulo’ (gate-to-grave), sobretudo para serviços, em que, em geral, impactos ambientais decorrentes da instalação de um empreendimento mostram-se pouco significantes se comparados à realização da atividade em si (Williams, 2009 *apud* Subtil 2015, p. 70)

A ACV parte do princípio de que todos os estágios da vida de um produto ou processo têm potencial para gerar impactos ambientais relevantes, devendo, portanto,

serem avaliados, configurando uma abordagem abrangente. (OLIVEIRA; SAADE, 2010).

Segundo Ferrão (1998), a ACV pode ser entendida como o processo que engloba os fluxos de entrada e saída de um produto ou processo, juntamente com a avaliação dos impactos ambientais ao longo de todo o seu ciclo de vida.

### 3.1.2 Histórico

Os estudos sobre a ACV foram iniciados na década de 1960, impulsionados pela crise do petróleo, o que levou a sociedade a refletir sobre os limites da extração de recursos naturais, em especial os combustíveis fósseis e os recursos minerais. Os primeiros estudos objetivaram calcular o consumo de energia e, por isso, eram conhecidos como “análise de energia” (energy analysis). Estes estudos abrangeram a elaboração de um fluxograma de processo com balanço de massa e energia. Como resultado, as informações relacionadas ao consumo de matérias-primas, combustíveis e resíduos sólidos passaram a ser registradas automaticamente. Por esta razão, alguns analistas se referiam a estes estudos como “análise de recursos” (resource analysis) ou “análise do perfil ambiental” (environmental profile analysis) (COLTRO, 2007).

Para outros autores, como Silva e Kulay (2006), o primeiro estudo referido de na literatura, realizado com foco no produto, foi conduzido em 1960 pelo Midwest Research Institute, solicitado pela Coca-Cola Company. O colaborador responsável pelas embalagens se preocupava com as consequências ambientais destas, desde o consumo de energia e materiais até a sua disposição. Esse projeto recebeu o nome de Resource and Environmental Profile Analysis (REPA) porém nunca foi publicado devido a confidencialidade. Uma das conclusões desse relatório foi a adoção da viabilidade ambiental em alterar o material das garrafas de vidro para plástico.

Sobretudo entre os anos de 1973 e 1975 foram realizados, a pedido do governo de diversos países industrializados, estudos minuciosos para avaliar o potencial energético do planeta, além de propostas de alternativas ao uso de combustíveis fósseis. Porém, a abordagem caiu em descrédito junto à comunidade científica devido a diversidade de padrões e critérios da metodologia, junto à falta de dados confiáveis e os altos custos envolvidos. Portanto, resultou em desconfiança sobre uma possível manipulação dos resultados. Ainda assim, alguns centros acadêmicos continuaram

suas pesquisas no sentido de aprimorar os pontos em questão. Desse progresso, surgiu a metodologia ACV na década de 1980 (SILVA; KULAY, 2006).

Nesse sentido, a SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) teve um papel decisivo no aperfeiçoamento da ACV, criando as bases para a construção de metodologias padronizadas de uso universal. A Organização Internacional para a Padronização (ISO-International Organization for Standardization) elaborou diversas normas internacionais sobre ACV, constituindo a mais importante fonte de padronização desse instrumento do ponto de vista processual, com a primeira norma pronta já em 1997. (BRANCHINI; CAJAZEIRA; BARBIERI, 2009).

Do ponto de vista de muitos praticantes, essa organização, que se ocupa de uma base conceitual uniforme e consistente para a ACV há mais de 10 anos, é o principal fórum mundial de discussão em relação aos aspectos correlacionados (SILVA; KULAY, 2006).

A primeira atividade formal relacionada à ACV no Brasil, foi a criação em 1994, do Grupo de Apoio à Normatização (Gana) junto à ABNT, com o intuito de viabilizar a colaboração do Brasil no ISO/TC 207, criado no ano anterior. O primeiro trabalho completo de ACV brasileiro noticiado, foi executado no Centro de Tecnologia de Embalagem (Cetea) do Instituto de Tecnologia de Alimentos (Ital) em 1999, avaliando os diversos tipos de materiais utilizados nas embalagens para alimentos (SILVA; KULAY, 2006).

A primeira empresa a obter a certificação ISO 14.000 no Brasil foi a Bahia Sul-Produtora de Papel, localizada em Mucuri. Devido ao setor atuante, investiu em um projeto de sistema de gestão ambiental, que durou cerca de três anos para implementação (FARIA, 2000).

Pouco tempo depois, surgiram legislações específicas, como a Lei nº6.938/81, que apresentou a Política Nacional do Meio Ambiente, definindo os conceitos, princípios, objetivo e instrumentos para a defesa do meio ambiente, que entraram em vigor para controlar a instalação de novas indústrias e estabelecer exigências para as emissões daquelas já instaladas. Naquela época, a proteção ambiental ainda era vista de forma defensiva e as soluções propostas alentavam ações corretivas, respondendo somente ao cumprimento dos requisitos legais (VALLE, 1996).

Para Ferreira e Jabbour (2015), uma das principais regulamentações brasileiras sobre o assunto de gestão ambiental foi a criação da Lei nº 12.305, que “estabeleceu

a Política Nacional de Resíduos Sólidos, abrangendo diretrizes para o desenvolvimento de planos nacionais de gestão de resíduos, com implicações tanto para empresas quanto para o governo”.

Em 2022, foi fundada a ABCV, Associação Brasileira do Ciclo de Vida, visando congrega todos os interessados em ACV e coordenar as atividades de construção do banco de dados brasileiro e manutenção dos vínculos com a comunidade internacional (SILVA; KULAY, 2006).

Como a preocupação pública aumentou, o governo e a indústria intensificaram o desenvolvimento e aplicação de métodos para identificar e reduzir os efeitos ambientais prejudiciais do consumo de produtos manufaturados e serviços. Estes efeitos ocorrem em todos os estágios do ciclo de vida de um produto. O LCA (life cycle assessment) pode ser usado como ferramenta técnica objetiva para avaliar essas consequências do produto, produção, processo, embalagem ou atividades em todo o ciclo de vida. (VEGON, 1993).

É preciso conhecer os impactos ambientais específicos de cada etapa da cadeia produtiva para reduzir a necessidade de recursos e descarte de resíduos. Como os problemas ambientais são transferidos entre uma etapa e outra, é improvável que possam ser resolvidos de forma adequada, somente por uma unidade produtiva de forma isolada. A visão do ciclo de vida permite atuar com mais eficácia tanto sobre os problemas ambientais dos produtos e serviços quanto sobre a concepção e implementação de inovações em produtos e processos, com a finalidade de reduzir os resíduos antes de serem gerados, e, assim, facilitar a recuperação de materiais pós-consumo (BRANCHINI; CAJAZEIRA; BARBIERI, 2009).

Diversas empresas começaram a se preocupar com os impactos ambientais de suas atividades, bem como entendê-los, segundo Passuelo (2007). Para isso, muitas corporações fizeram análises através de auditorias e avaliações de impacto ambiental. Todavia, os processos são ligados a fornecedores e clientes, entre outras atividades. É nesse sentido que a avaliação do ciclo de vida atua.

A expansão da estrutura ISO LCA (life cycle analysis) possui vantagens e desvantagens, conforme mencionado por Jeswani et al (2010), que sua integração e conexão com outros conceitos e métodos poderia fortalecer a ACV como ferramenta e, eventualmente, aumentar sua utilidade. No entanto, por outro lado, a expansão da estrutura de ACV ISO pode levar a uma ACV cada vez mais complexa, o que poderia

prejudicar a reputação da ferramenta e, eventualmente, diminuir seu valor para os tomadores de decisão nos negócios e na política.

Além disso, segundo Kloepffer (2008); Ruviano *et al.* (2012); ABNT (2009) *apud* Ponce (2019), uma das principais vantagens da ACV é sua natureza quantitativa, o que a torna atraente para critérios de tomada de decisão. Ela permite comparar diferentes processos de forma mais objetiva e facilita a visualização dos dados relevantes.

Mas, essa característica também é alvo de críticas devido à possibilidade de ocultar informações relevantes e gerar estudos complexos e de difícil compreensão para o público em geral. Além disso, a ACV pode ser dispendiosa e demorada para as empresas, o que dificulta sua utilização como instrumento de análise. (ISLAM *et al.*, 2016; BAUMANN; REX, 2008; KLOEPFFER, 2008 *apud* PONCE, 2019)

### 3.1.3 ACV comparativo

Para Kulay (2004), o despertar do ser humano para os danos originados da manufatura e do consumo de bens e serviços, trouxeram reflexos importantes sobre as reservas de recursos naturais e a qualidade do meio ambiente. Portanto, a relação de causa e efeito abrange não somente a manufatura dos produtos, mas o consumidor passou a exigir medidas mais eficazes que preservassem a natureza.

O setor empresarial foi conduzido à mudança de postura ao se sentir pressionado a reduzir os custos e sujeito às políticas ambientais, possibilitando-o uma vantagem competitiva, com forte apelo de “marketing”. Desta forma, grandes empresas foram forçadas a incluir a variável ambiental tanto em seus processos, como no projeto de novos produtos. Para isso, elas precisavam de diversas técnicas de identificação e avaliação dos efeitos adversos causados pelas atividades antrópicas. Dentre elas, destacou-se a Análise de Ciclo de Vida (KULAY, 2004).

A utilização da ACV com esse viés encontra maior necessidade naquelas organizações que desejam demonstrar a superioridade ambiental de seus produtos em relação aos seus concorrentes, com o intuito de expandir o mercado. Além disso, quando efetuada confrontando o desempenho ambiental de um ou mais produtos contra um padrão preestabelecido, a ACV pode servir para a elaboração de rótulos e declarações ambientais. (SEO; KULAY, 2006).

Mesmo quando uma empresa polui dentro dos limites legais estabelecidos, ela continua a ter um passivo em relação ao meio ambiente. Isso ocorre porque será necessário realizar a restauração ou remediação do meio ambiente, o que pode acarretar uma obrigação pecuniária para a empresa (FERREIRA *et al.*, 2007).

Em uma das fases da ACV, há a etapa de avaliação do impacto do ciclo de vida, onde são realizadas as etapas de classificação, caracterização, normalização e valoração. Os fatores de caracterização são comumente referidos como fatores de equivalência. A normalização expressa os impactos potenciais de maneira que possam ser comparados (por exemplo, comparando o impacto no aquecimento global do dióxido de carbono e do metano para as duas opções). A valoração é a avaliação da importância relativa dos ônus ambientais identificados nas etapas de classificação, caracterização e normalização, atribuindo-lhes ponderações que permitem a comparação ou agregação (ROY *et al.*, 2009).

Um dos problemas mais graves é a possibilidade do uso incorreto da ACV para obter vantagens ambientais inexistentes nos produtos de uma empresa ou para criar desvantagens que não existem nos produtos concorrentes. Com efeito, uma organização ou associação de um setor pode encomendar uma ACV de cartas marcadas para valorizar o seu produto em detrimento de outros substitutos próximos para ganhar mercado, aproveitando-se do prestígio que questões ambientais adquiriram ao longo destas últimas décadas. Em detrimento dessas ações, a Organização Internacional para a Standardização (ISO) estabelece conceitos, diretrizes e requisitos para que a ACV seja um instrumento com credibilidade (BRANCHINI; CAJAZEIRA; BARBIERI, 2009).

Na aplicação da ACV para efeito de comparação de produtos, são avaliados os aspectos ambientais e seus impactos associados, para diferentes formas de desempenhar a mesma funcionalidade (SEO; KULAY, 2006).

Em um estudo comparativo entre telhas ecológicas e convencionais, Yoshimura e Wiebeck (2012) concluem que as telhas ecológicas, feitas a partir do papel reciclado, não apenas apresentam um desempenho ambiental satisfatório, mas também cumprem seu propósito de contribuir para a reciclagem do papel, reduzir a quantidade de resíduos destinados a aterros e, o mais importante, promover a formação de novas cooperativas de catadores de papel, o que resulta na inclusão social dessas pessoas.

Foi realizado um estudo comparando uma luminária com caixa confeccionada de alumínio e o seu substituto, com caixa de polietileno. As conclusões obtidas por

intermédio da ACV estabeleceram orientações essenciais para o projeto de uma luminária que provocasse menores impactos ao meio ambiente ao longo de todo seu ciclo de vida. (SEO; KULAY, 2006).

Se a indústria de papel deseja se tornar mais sustentável, serão necessárias mais mudanças nas práticas industriais em cada estágio do ciclo do papel - gestão florestal, produção de celulose e papel, uso do papel, reciclagem, recuperação de energia e disposição final (*World Business Council for Sustainable Development – WBCSD, 1996*).

#### 3.1.4 Metodologia para construção do ACV

Conforme descrito na ABNT NBR ISO 14040:1997, o estudo de ACV é composto por quatro fases:

- a) definição de objetivo e escopo
- b) análise de inventário
- c) avaliação de impactos
- d) interpretação

- **Definição de objetivos e escopo**

Para os objetivos, devem ser declarados: aplicação pretendida, razões do estudo, público-alvo a quem se destina os resultados do mesmo, e, por fim, se há ou não a intenção de divulgá-los publicamente (ABNT NBR ISO 14044:2009).

O escopo de uma ACV deve especificar, de maneira clara, as funções (características de desempenho) do sistema em questão. Um dos principais intuítos de uma unidade funcional é fornecer uma referência em relação à qual os dados de entrada e saída são normalizados (no sentido matemático). Portanto, deve ser claramente definida e mensurável, e ser consistente com o objetivo e escopo do estudo.

Para Keoleian (1994), a utilização dessa ferramenta no desenvolvimento de produtos também depende da natureza e complexidade do sistema do produto, do ciclo de desenvolvimento do produto (restrições de tempo para chegar ao mercado), disponibilidade de recursos técnicos e financeiros, e da abordagem de design.

Segundo Coltro (2007) um dos elementos fundamentais para se entender o conceito da ACV, é a unidade funcional. Ela é definida como o desempenho quantificado de um sistema de produto, cuja função é servir como unidade de referência mensurável. Cada produto possui a sua unidade de medida, como, por exemplo, 1000 kg de café torrado, 1m<sup>2</sup> revestido por tinta etc.

Outro ponto de suma importância para o estudo, trata-se da delimitação da fronteira do sistema. De acordo com a norma ISO 14044 (2009), fronteira de sistema é um conjunto de critérios que ditam quais processos elementares fazem parte de um sistema de produto.

As fronteiras precisam ser estabelecidas em diversas dimensões. Estas podem ser em relação aos sistemas naturais, especificando início e fim do sistema; as geográficas que delimitam a área estudada; temporais, com perspectiva de tempo do estudo; fronteiras dentro do sistema técnico produtivo, definindo quais atividades constam no ciclo e vida do produto estudado; por fim, tem-se as fronteiras dentro do sistema técnico relacionadas com o ciclo de vida de outros produtos, quando um processo produtivo gera diversos produtos, a carga ambiental deve ser distribuída entre os vários coprodutos (Coltro, 2007).

Na prática, o delineamento da fronteira do sistema deve ser realizado com acuidade, pois devem ser considerados os recursos financeiros disponíveis e o tempo. Portanto, devem-se adotar procedimentos que tornem o estudo gerenciável, prático e econômico, mas com aspectos que confiabilizem o modelo (KEOLEIAN, 1994).

- **Análise de inventário (ICV)**

Segundo a ABNT NBR ISO 14044:2009:

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

A análise de inventário é a etapa da ACV, cuja execução demanda maiores recursos e tempo, em que se identificam as necessidades de matéria e energia e as disposições de resíduos materiais e energéticos associadas ao ciclo de vida do produto (SILVA; KULAY, 2006).

É importante garantir uma compreensão uniforme e consistente dos sistemas de produto que serão modelados, uma vez que a coleta de dados pode envolver várias



fontes e referências publicadas. Convém adotar-se medidas para garantir uma visão clara e coerente dos sistemas em questão (ABNT NBR ISO 14044:2009).

O levantamento do inventário consiste em um processo iterativo, cuja sequência de eventos envolve a verificação de procedimentos. Para muitos autores, essa fase se assemelha a um balanço contábil-financeiro, no qual, ao invés de valores econômicos, serão consideradas correntes de matéria e de energia. Por conta disso, pode-se concluir que o total de entradas no sistema em estudo deve ser semelhante, em número, ao somatório das saídas (KEOLEIAN, 1994).

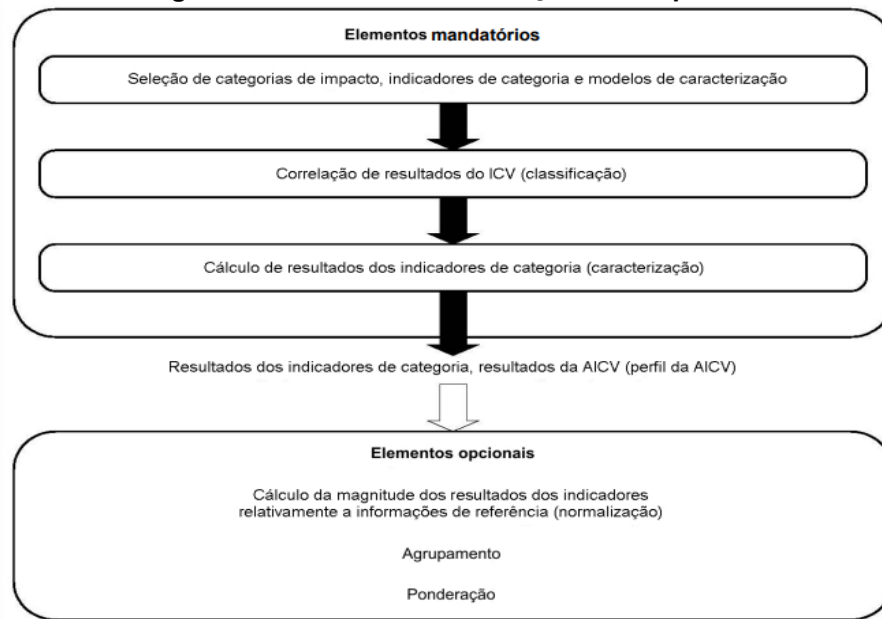
De acordo com a norma ISO 14044: 2009, os dados coletados, sejam eles medidos, calculados ou estimados, são utilizados como forma de quantificar entradas e saídas de um processo elementar. Como a coleta de dados pode abranger vários locais de origem e referências publicadas, devem ser tomadas algumas medidas para garantir a total compreensão dos sistemas de produto a serem modelados: desenho de fluxogramas gerais do processo, descrição detalhada de cada processo elementar com possíveis fatores que influenciam entradas e saídas, a lista de fluxos e de dados relevantes para as condições de operação associadas a cada processo elementar.

- **Avaliação dos impactos (AICV)**

A terceira fase, diz respeito à avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV). O objetivo é fornecer informações adicionais para auxiliar na avaliação dos resultados do ICV de um sistema produtivo, visando ao melhor entendimento de sua significância ambiental (ABNT NBR ISO 14040:2009).

O perfil ambiental de um sistema de produto existente é estabelecido primeiramente por meio da realização do inventário do ciclo de vida e/ou da avaliação de impacto. Estas, estão se tornando ferramentas amplamente reconhecidas para a avaliação e gestão ambiental (KEOLEIAN, 1994).

De acordo com a ABNT NBR ISO 14040, a fase em questão possui elementos mandatórios e opcionais, conforme ilustrados na Figura 2:

**Figura 2 - Elementos da Avaliação dos Impactos**

**Fonte: ABNT NBR ISO 14044 (2009)**

“A fase de AICV inclui a coleta de resultados dos indicadores para as diferentes categorias de impacto, que em conjunto representam o perfil de AICV para o sistema de produto.” (ABNT NBR ISO 14044, 2009).

A escolha e seleção das categorias de impacto podem tanto se alinhar às categorias tradicionais, como podem definir categorias que representem características específicas para tomadas de decisão, relacionadas a um determinado processo (SETAC, 1998).

De acordo com a ABNT NBR ISO 14040 (2009) os componentes necessários da AICV incluem, para cada categoria de impacto:

- Identificação do(s) ponto (s) final (is) de categoria;
- Definição do indicador de categoria;
- Identificação dos resultados apropriados do ICV que podem estar correlacionados à categoria de impacto, levando em conta o indicador escolhido;
- Identificação do modelo de caracterização e dos fatores de caracterização;

“Esse procedimento facilita a coleta, correlação e modelagem da caracterização dos resultados apropriados do ICV, ajudando a ressaltar a validade técnica e científica, pressupostos, escolhas de valores e grau de exatidão no modelo de caracterização.” (ABNT NBR ISO 14040, 2009)

A AICV associa os resultados do ICV a categorias de impacto. Portanto, para cada categoria, é selecionado um indicador e calculado o seu resultado. O conjunto dos resultados dos indicadores fornece informações sobre as questões ambientais associadas às entradas e saídas do sistema produtivo (ABNT NBR ISO 14040:2009).

Esta etapa é responsável pela tradução das informações dos inventários de ciclo de vida em indicadores de impacto ambiental. Diversas categorias relacionadas ao processo podem ser analisadas, mas os resultados obtidos dependem do método de avaliação utilizado. As categorias compreendem impactos globais, como: mudanças climáticas, depleção de recursos e da camada de ozônio, acidificação, eutrofização e emissões de material particulado. (LNBR, 2021).

Na etapa seguinte, conhecida como caracterização, “os dados do inventário são multiplicados por fatores de equivalência para cada categoria de impacto” (Coltro, 2007 p. 10). Um dos exemplos dados pela autora revela que, se determinado poluente ou matéria é equivalente à emissão de outro, todos os parâmetros incluídos na categoria de impacto são somados e é obtido o seu resultado.

- **Interpretação**

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14040:2009:

A interpretação do ciclo de vida é a fase final do procedimento de ACV, na qual os resultados de um ICV e/ou de uma AICV, ou de ambos, são sumarizados e discutidos como base para conclusões, recomendações e tomada de decisão de acordo com a definição de objetivo e escopo.

Alguns dos elementos presentes nessa fase são (ABNT NBR ISO 14044:2009):

- Identificação dos principais problemas com base nos resultados das fases de ICV e AICV da ACV;
- Avaliação do estudo, considerando análises de abrangência, sensibilidade e congruência;
- Conclusões, limitações e recomendações.

Algumas das limitações do ACV, consiste das informações que podem ser modificadas por meio de agregação, desagregação, truncamento e outros procedimentos simplificadores, o que pode levar a distorções na compreensão do sistema original. Esses fatores podem ser significativos na comunicação e interpretação dos resultados da ACV por parte dos tomadores de decisão em projetos

e outros usuários que frequentemente carecem de conhecimento para interpretar informações ambientais. (KEOLEIAN, 1993).

Para Coltro (2007), na fase de interpretação é feito um resumo dos resultados da análise de inventário e da avaliação de impacto obtidos no estudo, onde os resultados são conclusões e recomendações.

Segundo Manzini e Vezzoli (2002), o uso de ferramentas auxiliares do design sustentável estão evoluindo e ampliando seu potencial e sua eficácia em relação aos critérios de redução de impacto ambiental em todo o ciclo de vida dos produtos. O uso prático de métodos ambientais da ACV e ferramentas de software na indústria, revelou a necessidade de simplificações para muitas aplicações.

Diante disso, a ACV simplificada surgiu como uma eficiente ferramenta para avaliar os atributos ambientais do ciclo de vida de um produto ou processo (GRAEDEL; SAXTON, 2002).

O uso de ferramentas simplificadas e outros métodos de concepção ecológica, tais como listas de verificação e matrizes, são essenciais. O uso prático destas ferramentas depende da complexidade e natureza do sistema do produto. (KEOLEIAN, 1993). Uma destas ferramentas é a matriz DFE, e embora seja voltada para o design de produtos, ela também pode ser facilmente usada para avaliar produtos existentes (YARWOOD; EAGAN, 1998).

### **3.2 Matriz DFE**

Design for Environmental (DFE) é uma maneira sistemática de incorporar atributos ambientais ao design do produto. Este, considera os potenciais impactos em todo o ciclo de vida, que incluem a extração dos recursos necessários para fabricar o produto, liberação de químicos no meio ambiente para o consumo de recursos não renováveis e uso de energia. Quanto mais cedo forem considerados estes aspectos no desenvolvimento de um produto, maiores serão os potenciais benefícios ao meio ambiente, custos e tempo de colocação no mercado serão reduzidos e melhor posição de mercado (YARWOOD; EAGAN, 1998).

Durante a última década, para Baumann, Boons e Bragd (2002), a terminologia de design do produto que integram as questões ambientais tem passado por mudanças. O termo original, design verde, foi substituído por ecodesign ou DFE. A

transição do “verde” para o “eco” e “sustentável” representa um alargamento do âmbito teórico e prático, com uma perspectiva cada vez mais crítica sobre ecologia e design.

A fim de determinar o impacto ambiental de um produto, há 100 perguntas propostas que abordam uma ampla gama de tópicos de design ambiental, escritas de maneira a serem aplicadas a inúmeros produtos, podendo ser adaptadas caso necessário. Este método pode ser implementado de algumas maneiras, sendo elas para mudança incremental de um produto ou novos conceitos e para a melhoria nos processos (YARWOOD; EAGAN, 1998).

Os totais para cada fase do ciclo de vida e os impactos ambientais, indicam áreas importantes e de melhoria em termos de atributos ambientais. A pontuação total da matriz é uma medida relativa, de análise semi-qualitativa, que complementam parâmetros econômicos, agregação de valor e manufacturabilidade, no qual também devem ser avaliados (SILVEIRA, 2011).

A matriz cinco x cinco proposta por Graedel, Allenby e Conrie (1995) presente na Figura 3 consiste em um questionário abordando cada fase do ciclo de vida: pré-manufatura, manufatura, embalagem e distribuição, uso e manutenção, fim de vida. Estes se relacionam a cada aspecto ambiental: materiais, consumo de energia, resíduos sólidos, resíduos líquidos e resíduos gasosos.

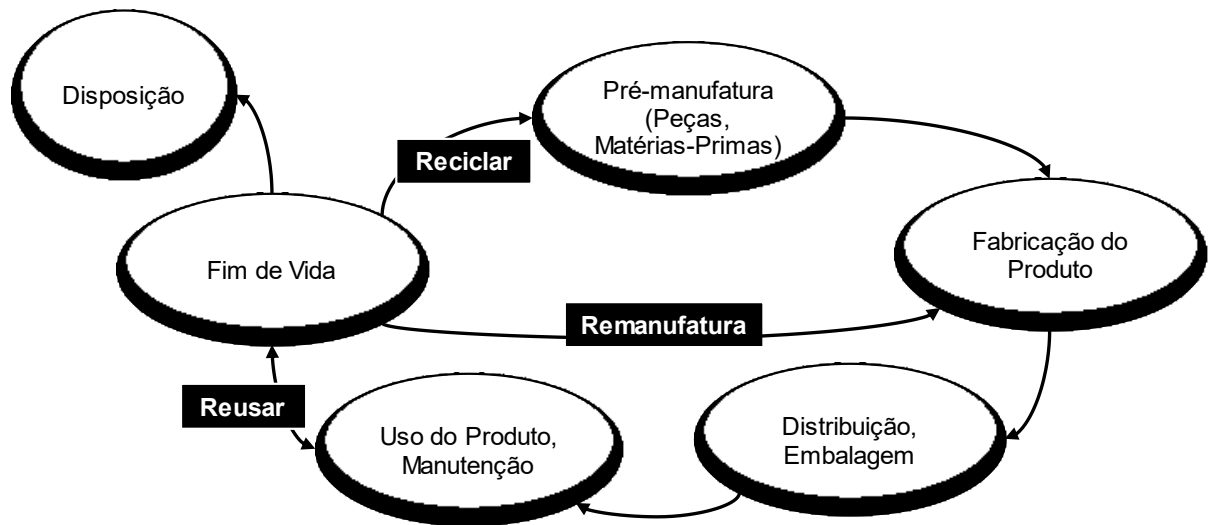
**Figura 3 - Matriz DFE**

| Estágio do ciclo de vida   | Aspecto Ambiental |                |                  |                   |                  | Total |
|----------------------------|-------------------|----------------|------------------|-------------------|------------------|-------|
|                            | Materiais         | Uso de energia | Resíduos sólidos | Resíduos líquidos | Resíduos gasosos |       |
| Pré-manufatura             |                   |                |                  |                   |                  |       |
| Manufatura                 |                   |                |                  |                   |                  |       |
| Distribuição, embalagem    |                   |                |                  |                   |                  |       |
| Uso do produto, manutenção |                   |                |                  |                   |                  |       |
| Fim de vida                |                   |                |                  |                   |                  |       |
| <b>Total</b>               |                   |                |                  |                   |                  |       |

**Fonte: Graedel; Allenby; Conrie (1995) traduzido pelo autor**

Com base nesta ferramenta, um ciclo de vida de um produto foi compactado em cinco estágios, mostrados na Figura 4.

**Figura 4 - O ciclo de vida resumido do produto**



**Fonte: Yarwood; Eagan (1998) adaptado do autor**

As cinco etapas do ciclo de vida, segundo Yarwood e Eagan (1998):

- **Pré-fabricação**: aquisição de peças e matérias-primas para utilização na fabricação do produto.
- **Fabricação**: todas as etapas de produção que ocorrem na empresa, considerando desde a entrada de insumos nas instalações até o produto acabado, incluindo processos de acabamento e montagem.
- **Embalagem e Distribuição**: o material é embalado para transporte ou compra, encaminhado através do sistema de transporte apropriado e entregue ao cliente.
- **Uso e Manutenção**: desde o momento em que o cliente recebe o produto até que o consumidor esteja pronto para descartá-lo. Isto inclui manutenções e substituições parciais ou revisões ao longo do tempo.
- **Fim de Vida**: o produto é reciclado, remanufaturado ou retirado do ciclo de vida inteiramente por deposição em aterro ou incineração.

### **3.1 Decisão Multicritério**

O processo de tomada de decisões é bastante complexo. Devido a sua subjetividade, faz-se necessário considerar múltiplas perspectivas para superar os conflitos de interesse que poderão surgir (SAATY, 2009). As métricas, obtidas a partir de uma escala matemática, precisam de julgamento humano para serem

interpretadas, e assim, estimar sua importância, e a partir dela, desenvolver as prioridades.

O homem tenta há muitos anos abordar os processos complexos de tomada de decisão, utilizando abstrações, heurísticas e raciocínios dedutivos, segundo Gomes (2019). A área de Pesquisa Operacional (PO) encarrega-se da otimização dos processos organizacionais e métodos de resolução de problemas e apoio às tomadas de decisão.

Técnicas de tomada de decisão multicritério (MCDM - Multi-criteria decision-making) fornecem uma abordagem estruturada para um processo de tomada de decisão. Eles diferem dos métodos convencionais, pois levam em consideração um conjunto de objetivos e critérios que podem ser conflitantes, multidimensionais, incomparáveis e incomensuráveis (TSOULFAS; PAPPIS, 2008).

Um dos primeiros métodos, dedicados ao ambiente de decisão multicritério, e possivelmente o mais usado até os dias atuais, trata-se do método AHP clássico, desenvolvido pelo Prof. Thomas L. Saaty na década de 1970. O problema de decisão pode ser geralmente decomposto em níveis hierárquicos, facilitando, assim, sua compreensão e avaliação (GOMES, 2019).

### 3.1.1 AHP

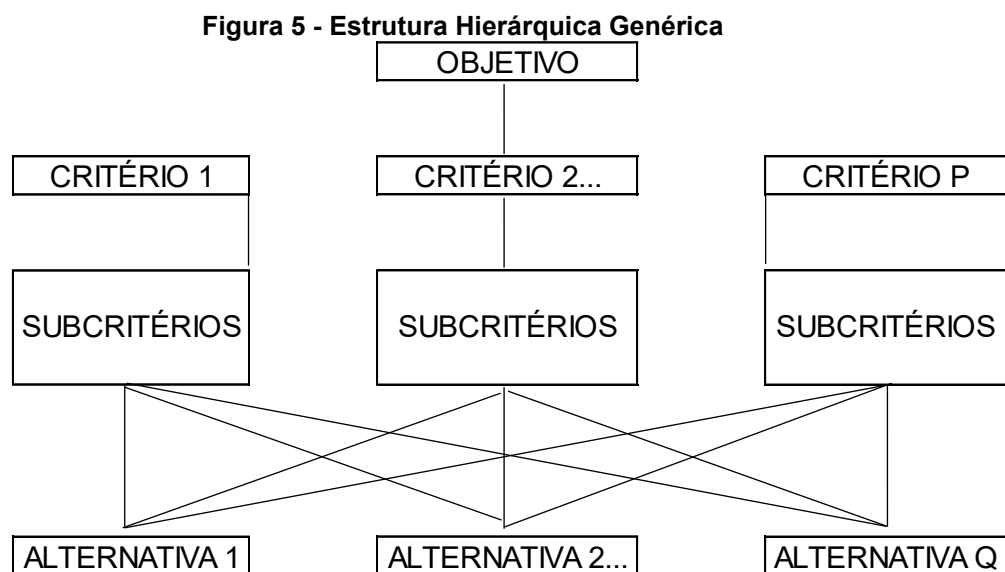
T. L. Saaty desenvolveu o AHP de 1971 - 1975 enquanto estava na *Wharton School* (Universidade da Pensilvânia). O AHP (Analytic Hierarchy Process) tem suas aplicações mais amplas relacionadas às tomadas de decisão multicritérios, como planejamento e alocação de recursos e em resolução de conflitos (SAATY, 1987).

Ainda para Saaty (1987), este método é uma estrutura não linear, que leva em consideração vários fatores simultaneamente, permitindo a dependência e o feedback, fazendo compensações numéricas para se chegar a uma conclusão. Ao usar o AHP para modelar um problema, é necessária uma estrutura hierárquica ou de rede para representar esse problema e realizar comparações entre pares para estabelecer relações dentro da estrutura.

A escala AHP admite diferentes intensidades e capta prioridades que indicam uma gama de possibilidades para nossas preferências, ao invés de zero (não

preferido) e um (preferido) da lógica tradicional. Nele, um único número é usado para representar uma preferência entre dois elementos (SAATY, 2009).

Segundo os autores Bushan e Rai (2004), o primeiro passo é decompor o problema em uma hierarquia de objetivos, critérios, subcritérios e alternativas. Esta é a parte mais criativa e importante da tomada de decisão. A hierarquia indica uma relação entre os elementos de um nível com os de níveis inferiores imediatos. Esta relação permeia-se até os níveis mais baixos, ou seja, desta maneira, cada elemento está ligado a todos os outros, mesmo que indiretamente, demonstrado na Figura 5.



Fonte: Bushan e Rai (2004) adaptado do autor

O segundo passo, ainda segundo os autores, envolve a coleta de dados junto aos especialistas ou decisores correspondentes à estrutura hierárquica, comparando par a par dentre as alternativas em uma escala qualitativa. Esta, envolve valores numéricos que podem ser usados de acordo com a classificação através da comparação realizada. Para Saaty e Vargas (2012), após identificar as opções, deve-se analisar o custo/benefício utilizando valores marginais. Como há hierarquia de dominância, pergunte-se qual a alternativa produz o maior benefício, ou para custo, qual o maior deles. Podem ser classificados como iguais, utilizando o número um, moderadamente importante com o número três, e assim por diante, conforme demonstrado no Quadro 1.



**Quadro 1 - Escala fundamental de números absolutos**

| Intensidade da importância | Definição                             |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 1                          | Mesma importância                     |
| 2                          | Fraco ou leve                         |
| 3                          | Importância moderada                  |
| 4                          | Mais moderado                         |
| 5                          | Fortemente importante                 |
| 6                          | Mais forte                            |
| 7                          | Muito forte ou importância comprovada |
| 8                          | Muito, muito forte                    |
| 9                          | Extremamente importante               |

Fonte: Saaty (2009) adaptado do autor

As comparações aos pares de vários critérios gerados na etapa anterior, são organizados em uma matriz quadrada. Os uns são inseridos na matriz diagonal por padrão, pois cada entidade é igual a si mesma em qualquer critério (SAATY, 2009).

O critério na *i*-ésima linha é melhor que o critério da *j*-ésima coluna, se o valor do elemento (*i*, *j*) for maior que 1. Caso contrário, o critério na *j*-ésima coluna é melhor que o da *i*-ésima linha. O elemento (*j*, *i*) da matriz é o inverso do elemento (*i*, *j*) (BUSHAN; RAI, 2012).

Para Saaty (1998), uma maneira típica de formular uma pergunta para preencher uma entrada na matriz de comparações é: ao considerar dois elementos, *i* no lado esquerdo e *j* ao topo, quem tem mais prioridade ou qual satisfaz mais ao critério, ou seja, qual é considerado mais importante? Usando os valores da escala fundamental, preenchamos o seu valor recíproco automaticamente para o seu transposto. Através da Tabela 1, é possível observar que ambiente é 2 vezes mais importante em relação à reputação. Logo, reputação é menos importante que o ambiente, de igual escala, ou seja,  $\frac{1}{2}$ .

**Tabela 1 - Exemplo de ponderação da matriz AHP**

| Foco        | Localização | Ambiente | Reputação | Acadêmicos |
|-------------|-------------|----------|-----------|------------|
| Localização | 1           | 1/7      | 1/5       | 1/5        |
| Ambiente    | 7           | 1        | 2         | 3          |
| Reputação   | 5           | 1/2      | 1         | 1          |
| Acadêmicos  | 5           | 1/3      | 1         | 1          |

**Fonte: Saaty (1987) adaptado do autor**

Para interpretar e dar os pesos relativos a cada critério, é necessário normalizar a matriz comparativa. Para isso, basta dividir cada elemento pela soma total de sua coluna correspondente. Para determinar a contribuição de cada critério, basta fazer uma média aritmética com os valores de cada linha (SAATY, 2009). A decisão é tomada a partir do maior valor.

É importante analisar o quão consistente foram as escolhas dos critérios. Uma matriz é dita consistente se  $a_{ij} * a_{jk} = a_{ik}$ ,  $\forall i, j, k$ . Exemplificando de acordo com a Tabela 1, (ambiente; reputação) = 2, enquanto (reputação; acadêmicos) = 1. Portanto, para ser consistente, pode-se dizer que ambiente e acadêmicos (2;4) = ambiente e reputação (2;3) x reputação e acadêmicos (3;4) = (2) x (1) = (2). Mas, o valor obtido na posição (2;4) é 3. Este é maior do que deveria para ser consistente. Então, inserimos o valor recíproco 1/3 na posição (4;2) e notamos que  $1/3 < 1/2$ . A relevância desta observação é que enquanto um valor excede o valor consistente correspondente, o seu recíproco é menor que o inverso do valor consistente. Portanto, há uma tendência para compensar (SAATY, 1987).

O professor Saaty (2009) ainda afirma que, o maior valor Eigen é igual ao tamanho da matriz de comparação, ou  $\lambda_{m\acute{a}x} = n$ . Então, ele deu uma medida de consistência, o índice de Consistência como desvio ou grau de consistência usando a seguinte fórmula:

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1}$$

Visando a utilização deste índice, deve-se comparar com o índice de consistência aleatória (IR). Este valor é tabelado, mostrado no Quadro 2. A partir disto, foi proposto a taxa de consistência (CR), através da fórmula:

$$CR = \frac{CI}{IR} < 0,1$$

Se o valor CR for menor ou igual a 10%, a inconsistência é aceitável. Se o Índice de Consistência é superior a 10%, precisamos revisar o julgamento subjetivo.

**Quadro 2 - Índice aleatório**

| N                | 1 | 2 | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8   | 9    | 10   |
|------------------|---|---|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| Índice Aleatório | 0 | 0 | 0,52 | 0,89 | 1,11 | 1,25 | 1,35 | 1,4 | 1,45 | 1,49 |

Fonte: Saaty (2009) adaptado do autor

#### 4 INDÚSTRIA DE PAPEL RECICLADO

Sabe-se que o papel é muito importante, seja pela multiplicidade do uso ou na economia. Atualmente, existe certa tendência de relacionar o consumo per capita deste produto ao estágio de vida de uma população e, por isto, é utilizado como um dos indicadores do nível de desenvolvimento de um país (MORENO, 2007).

A partir do Plano de Metas, houve uma priorização no desenvolvimento das indústrias de papel e celulose no país. O governo federal implementou o primeiro programa de investimentos para esse setor. No entanto, o verdadeiro impulso ocorreu na década de 70, com o II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND) e a criação do I Programa Nacional de Papel e Celulose. Nessa época, grandes projetos apoiados pelo Estado, e financiados pelo BNDE (atual BNDES), foram implementados com o objetivo de atender aos mercados interno e externo (MORENO, 2007).

De acordo com o *World Business Council for Sustainable Development – WBCSD* (1996, p.15), a produção de papel consome grandes quantidades de água e energia. Por exemplo, em 1992, a indústria de papel dos EUA foi o terceiro maior consumidor de energia, depois dos setores de petróleo e química. A água é um ingrediente essencial na fabricação de polpa e papel. É usada para criar a polpa e para eliminar impurezas indesejadas. As emissões de resíduos para a água são um dos impactos ambientais mais significativos da fabricação de papel.

Do ponto de vista de Branchini, Cajazeira e Barbieri (2009) a afirmação de que a fabricação de papel reciclado consome mais água e energia considera apenas o processo de produção industrial, ignorando as etapas anteriores e posteriores, bem

como o destino do papel usado. Caso o papel usado não seja recuperado para reciclagem, ele será incinerado ou depositado em aterros sanitários.

Contudo, Grippi (2001) defende que a reciclagem é um processo que envolve uma série de atividades através das quais os materiais que normalmente seriam descartados como lixo são desviados, coletados, separados e processados para serem utilizados como matéria-prima na fabricação de outros produtos. Esses materiais reciclados substituem a necessidade de utilizar matéria-prima virgem, que anteriormente seria exclusivamente utilizada na produção desses bens.

A reciclagem, é um dos princípios fundamentais do pensamento baseado no ciclo de vida. Trata-se de um processo pelo qual materiais usados e recuperados são reintroduzidos no sistema produtivo, reduzindo a demanda por novos materiais extraídos do ambiente. No entanto, é importante reconhecer que, como em qualquer processo de produção, a reciclagem também acarreta impactos ambientais negativos em diferentes etapas do seu ciclo. (BRANCHINI; CAJAZEIRA; BARBIERI, 2009).

A reciclagem apresenta vantagens ambientais em relação ao aterro, mas a comparação com a incineração é menos clara. Muito depende dos requisitos de transporte para o papel reciclado, da natureza do processo de fabricação e do grau em que combustíveis fósseis são utilizados para gerar a eletricidade necessária para a produção (De acordo com o *World Business Council for Sustainable Development – WBCSD* (1996, p.27).

Ao contrário de outros produtos recicláveis, como alumínio, vidro e aço, por exemplo, o papel perde parte de suas propriedades ao passar pelo processo de reciclagem e nem todo tipo de papel pode ser reciclado. No entanto, este que não pode ser reciclado, pode ser direcionado para a fabricação de novos produtos diferentes do original, como é o caso das embalagens, servindo como matéria-prima. Essa destinação do papel reduz um estágio no ciclo de vida do produto, uma vez que poderia ter sido reutilizado como papel para impressão e escrita (MORENO, 2007).

A Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA, 1998) ressalta que entre os papéis consumidos, o maior destaque é para as caixas de papelão ondulado, pois são embalagens de transporte para grande parte das mercadorias comercializadas em supermercados, lojas de departamento e estabelecimentos. Além de que, também são gerados resíduos de caixas de papelão ondulado nas residências, especialmente as que servem para condicionar eletrodomésticos.

Conforme Lin et al. (2020), os resíduos de papel são gerados a 400 milhões de toneladas por ano na forma de caixas de papel e papelão ondulado em que a maioria dos resíduos de papel está sendo reciclada ou finalmente descartada nos aterros sanitários.

Em 2011, o relatório estatístico mostrou que 66,7% dos papéis recuperados no Brasil eram desse tipo, sendo que dos países selecionados, o Brasil possuía uma taxa de recuperação de 46% (Tabela 2).

**Tabela 2 - Taxa de Recuperação de Papéis Recicláveis em Países Selecionados**

| Países Selecionados | Taxa de Recuperação* |
|---------------------|----------------------|
| Coréia do Sul       | 91,6%                |
| Alemanha            | 84,8%                |
| Japão               | 79,3%                |
| Reino Unido         | 78,7%                |
| Espanha             | 73,8%                |
| Estados Unidos      | 63,6%                |
| Itália              | 62,8%                |
| Indonésia           | 53,4%                |
| Finlândia           | 48,9%                |
| México              | 48,8%                |
| <b>Brasil</b>       | <b>46,0%</b>         |
| Argentina           | 45,8%                |
| China               | 40,0%                |
| Rússia              | 36,4%                |
| Índia               | 25,9%                |

\* Volume de aparas recuperadas no país dividido pelo consumo aparente de papel

**Fonte: Relatório Estatístico Bracelpa (2011) adaptado do autor**

Com relação aos benefícios da reciclagem do lixo, Calderoni (2003, p. 29) afirma estarem relacionados ao fato de ser mais econômico produzir a partir desse processo em comparação com o uso de matérias-primas virgens. Isso ocorre devido à redução do consumo de energia, matéria-prima e recursos hídricos. Além disso, também reduz os custos de controle ambiental e disposição final do lixo.

Do ponto de vista de Moreno (2007) essa economia já deveria ser considerada como um ganho para essas indústrias. No entanto, no Brasil, uma parcela significativa do papel reciclado produzido é composta por 75% de papel pré-consumo, ou seja, a matéria-prima que foi utilizada ainda é virgem, e 25% de papel pós-consumo, isto é, aqueles que poderiam ser enviados a destinos tradicionais. Isso significa que grande

parte da matéria-prima utilizada na fabricação do papel reciclado são sobras de produção provenientes destas indústrias.

É importante ressaltar que, em princípio, nenhum produto reciclado é automaticamente melhor do que o original em termos ambientais, apenas pelo fato de estar utilizando material recuperado. Sem analisar o ciclo completo dos produtos envolvidos, não é possível fazer afirmações consistentes do ponto de vista ambiental. (BRANCHINI; CAJAZEIRA; BARBIERI, 2009).

Onduflex (2012) pontua que o papel corrugado, também conhecido como "papelão", é considerado um dos materiais de embalagem mais sustentáveis disponíveis. Ao analisar seu ciclo de vida, desde a fabricação até o descarte, ele demonstra ser altamente eficaz e versátil. Além de causar um baixo impacto ambiental, o papel corrugado oferece uma excelente relação entre leveza e robustez, além de ser uma opção econômica para embalagens.

## 5 METODOLOGIA

Quanto à natureza de pesquisa, será semiquantitativa, devido à análise subjetiva dos dados, buscando compreender e interpretar de maneira intuitiva, porém os resultados da pesquisa podem ser quantificados, a partir da linguagem matemática, descrevendo a relação entre as variáveis.

“A pesquisa quantitativa, que tem suas raízes no pensamento positivista lógico, tende a enfatizar o raciocínio dedutivo, as regras da lógica e os atributos mensuráveis da experiência humana. Por outro lado, a pesquisa qualitativa tende a salientar os aspectos dinâmicos, holísticos e individuais da experiência humana, para apreender a totalidade no contexto daqueles que estão vivenciando o fenômeno” (POLIT; BECKER E HUNGLER, 2004, p. 201 *apud* PRODANOV E FREITAS, 2013, p. 35).

Quanto ao objetivo, trata-se de uma pesquisa explicativa, pois busca identificar os fatores e as relações causa e efeito em determinado contexto. Segundo Gerhardt e Silveira (2009), este se dá através de registros, análise, classificação e da interpretação dos fenômenos observados. Sobretudo, auxilia a identificação dos fatos que contribuem para a ocorrência de determinado fenômeno.

O método adotado foi o de pesquisa-ação, devido a participação planejada do pesquisador na situação a ser investigada. Segundo Thiollent (1988, *apud* Gerhardt e Silveira, 2009) é um tipo de investigação social empírica, que é realizada com a

resolução de um problema, no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

Quanto às etapas metodológicas, este trabalho será dividido em cinco etapas. Na primeira etapa será elaborado um referencial teórico, a partir de uma revisão da literatura científica e técnica sobre avaliação do ciclo de vida (ACV), métodos de decisão multicritério (AHP), metodologia de análise de impacto ambiental (matriz DFE) e a indústria do papel reciclado. Essa revisão fornecerá embasamento teórico para o desenvolvimento do estudo. Na segunda etapa, será definido o sistema do produto a ser analisado, considerando suas principais etapas e subprocessos ao longo do ciclo de vida. O escopo do estudo também será estabelecido, de acordo com as normas ISO 14040 e ISO 14044. Já a terceira etapa consiste na coleta dos dados. Para a matriz DFE, a obtenção dos dados se dá através de um questionário com 100 perguntas, elaborado pelos autores Yarwood e Eagan. Para a categoria de pré-manufatura, as respostas foram dadas por duas compradoras responsáveis pela compra de insumos e aparas, enquanto as categorias de manufatura, distribuição e embalagem, uso do produto e manutenção e fim de vida, foram respondidas pelo analista de processos e pela assistente de Utilidades da empresa, e demorou aproximadamente uma hora e meia para ser respondido. A escolha dos responsáveis deu-se pelo fato de que suas funções e contribuições para a organização facilitarão as respostas com a maior assertividade possível.

Com relação ao AHP, a ponderação de critérios foi dada de acordo com a pesquisadora, que possui o conhecimento necessário do processo produtivo estudado, devido à vivência e experiência na empresa. Os cálculos necessários foram realizados com o auxílio de uma planilha em Excel, no qual foram utilizadas as pontuações da matriz DFE, a fim de obter análises individuais e comparativas através da ponderação dos cinco critérios já estabelecidos. A razão deste método deve-se ao fato de que, em uma indústria, os diversos estágios do ciclo de vida podem não possuir a mesma relevância, sendo necessário ponderá-los, já que as 100 questões respondidas para obter a pontuação da matriz DFE são considerados de mesmo peso ao longo do processo.

A quarta etapa envolve a análise dos dados, que serão tratados e analisados utilizando metodologias específicas da ACV, como a abordagem de inventário de ciclo de vida (ICV) e a análise de impacto do ciclo de vida (AICV), com o auxílio das metodologias citadas anteriormente. A quinta e última etapa refere-se à avaliação e

interpretação dos resultados, no qual serão interpretados e discutidos com base nos objetivos propostos. Serão identificados os pontos críticos do ciclo de vida e os principais impactos ambientais.

Como instrumento para análise e interpretação dos dados coletados, um dos softwares mais utilizados para análise do ciclo de vida do produto é o SimaPro, uma ferramenta que possibilita computar os dados do processo em análise e averiguar com bibliotecas de dados confiáveis de outros processos semelhantes. Este, por sua vez, permite a obtenção de métricas necessárias para definir metas ambientais, monitorar indicadores de sustentabilidade e facilita na identificação de *hotspots* em cada etapa da cadeia de fornecimento. Porém, este software passou por um processo de mudança, onde atualmente só é possível a utilização através da compra de sua licença de 12 meses, onde o plano mais básico disponível custa em torno de € 3,750, equivalente a aproximadamente R\$19.000,00 (taxa de câmbio de R\$5,30). A partir disso, não foi possível adquiri-lo e optou-se pela metodologia do ACV combinada a ferramentas simplificadas como a Matriz DFE e a matriz AHP, a fim de interpretar e avaliar os impactos do processo.

## **6 A EMPRESA E O PROCESSO PRODUTIVO**

Fundada em 1899 nos EUA, a empresa é uma fornecedora global em soluções de embalagens inovadoras de consumo, produtos industriais e embalagens protetoras, concentradas principalmente nos setores de saúde e segurança. Está presente em 34 países que atendem uma grande variedade de indústrias e muitas marcas reconhecidas mundialmente.

No Brasil possui filiais sediadas nas regiões norte, nordeste, sul e sudeste. Dentre a gama de produtos, será abordado neste trabalho, o processo produtivo envolvendo a reciclagem do papel e papelão, matéria-prima responsável pela fabricação das bolachas de papel em uma de suas filiais brasileiras, localizada no Paraná, há 25 anos no mercado. O produto em questão é muito utilizado para a fabricação de outros produtos, como cones e tubetes.

O processo produtivo inicia-se com o PCP (Planejamento e Controle da Produção) realizando a previsão de demanda mensal/semanal, que é encaminhada ao setor de *Supply Chain*, para realizar a compra de insumos necessários. Além do

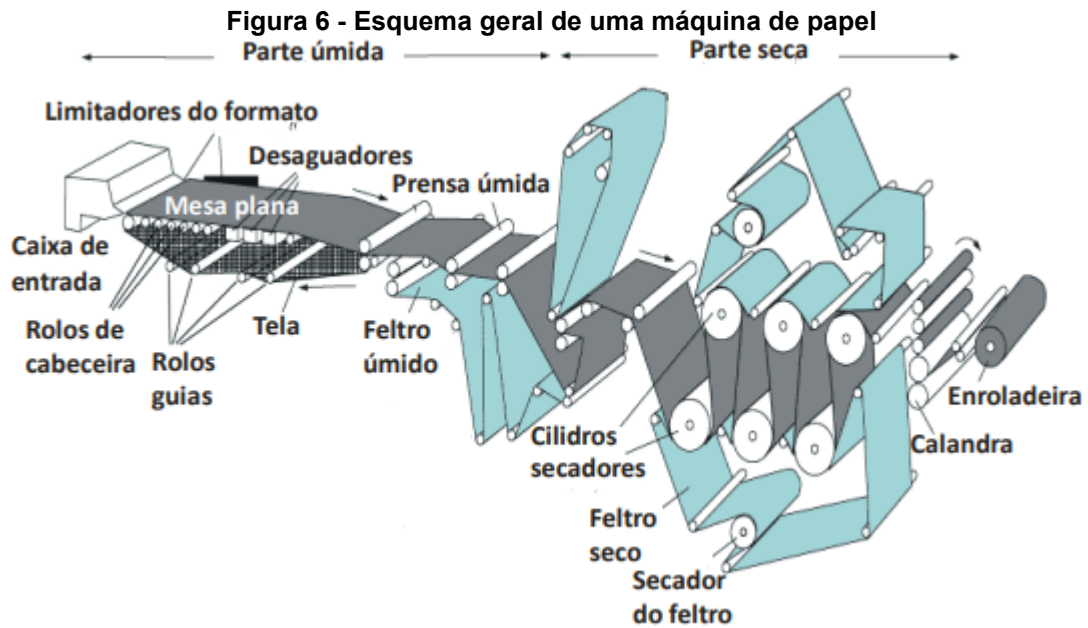


recebimento da matéria-prima por fornecedores, a empresa também possui uma frota de caminhões responsáveis pela coleta do papel nas cooperativas. Ao realizar o recebimento dos fardos, estes são avaliados em testes de qualidade, para assim serem incorporados à produção.

O preparo de massa começa com o abastecimento, de acordo com a receita, da esteira de fardos de aparas pela pá carregadeira, responsável por transportá-los até o Desagregador. Esse equipamento possui um rotor, que incorporando água, é feito a trituração desse papel, formando uma pasta. Porém, existem muitas impurezas presentes nas aparas, sendo necessário a retirada destes rejeitos através da depuração. Além disso, são incorporados os processos de engrossamento e refinamento da massa ao longo do preparo, cuja função é a dosagem de aditivos químicos e o aumento da capacidade de ligação e a flexibilidade das fibras.

Para a formação do papel, conforme esquematizado na Figura 6, a Caixa de Entrada é responsável pela distribuição da suspensão de fibras sobre a tela formadora, onde a Mesa Plana recebe essas fibras, formando a folha. Ainda na parte úmida, é necessário a utilização de técnicas de prensagem, onde os rolos prensas drenam grande parte da água. Além disso, a máquina de papel é composta por cilindros secadores, responsáveis pela secagem completa do papel.

Por fim, este é encaminhado ao processo de acabamento, que se inicia com a calandragem, onde são acertadas espessura e porosidade do papel. Em seguida passam pelo enrolamento da folha em formas de bobina pela Enroladeira e finalizado com a Rebobinadeira, que rebobina os rolos jumbos de papel, cortando-os de acordo com o formato da ordem de produção. Após finalizado, as bolachas são peletizadas e *stretchadas*, para posteriormente serem estocadas ou destinadas ao armazém.



Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2017)

## 6.1 Tratamento de Efluentes

Na estação de tratamento de efluentes (ETE) há um recuperador tipo Krofta, que possibilita a recuperação das fibras através do processo de flotação. Este ocorre através de um processo físico-químico, no qual a substância coagulante facilita a formação de flocos. Com isso, as partículas ficam mais concentradas e mais fáceis de serem removidas. Para ajudar no tratamento, a água é pressurizada, formando bolhas que atraem as partículas, fazendo com que elas flutuem na superfície. O lodo formado é removido e enviado para disposição final.

O recuperador recebe água recuperada do processo, em que passa por um gradeamento para retirada de sólidos grosseiros. Após este gradeamento, a água é bombeada sob pressão para um tanque aerador. Na saída deste, a mistura ar e água recebe polímero e depois segue para o Recuperador Krofta. A massa flotada é raspada e recalca a massa para o Desagregador do preparo de massa. A água clarificada do Krofta é enviada ao tanque de água clarificada, que é recalçada para o tanque de água recuperada para ser utilizado novamente no processo. A água que vem do tanque de água clarificada do recuperador de fibras tipo Krofta é misturada e alimentará a lagoa facultativa.

. Em lagoas facultativas, parte do oxigênio necessário para manter as camadas superiores aeróbias é fornecido pelo ambiente externo, e a maior parte vem da

fotossíntese das algas, que crescem naturalmente em águas com grandes quantidades de nutrientes e energia da luz solar. As bactérias que vivem nas lagoas utilizam o oxigênio produzido pelas algas para oxidar a matéria orgânica. Um dos produtos finais desse processo é o gás carbônico, que é utilizado pelas algas na sua fotossíntese.

Já o processo de decantação do lodo, consiste em colocar o efluente líquido em contato contínuo com uma massa de microrganismos. A matéria orgânica contida no efluente é fonte de carbono e energia para o crescimento celular e que converterá a matéria orgânica em tecido celular, produtos finais oxidados. Esta massa é direcionada para um decantador de lodo para a separação das células biológicas (decantadas) as quais serão retornadas para o tanque de aeração e parte serão descartadas. O sobrenadante do decantador secundário poderá ser disposto no rio ou passar por mais uma fase de tratamento.

## **7 ANÁLISE E DISCUSSÃO**

Nesta seção, será apresentada a descrição da análise do ciclo de vida do produto, seguindo a metodologia proposta pelas normas ISO 14040 e ISO 14044, adaptada para o estudo abordado, utilizando duas ferramentas de interpretação: matriz DFE e AHP.

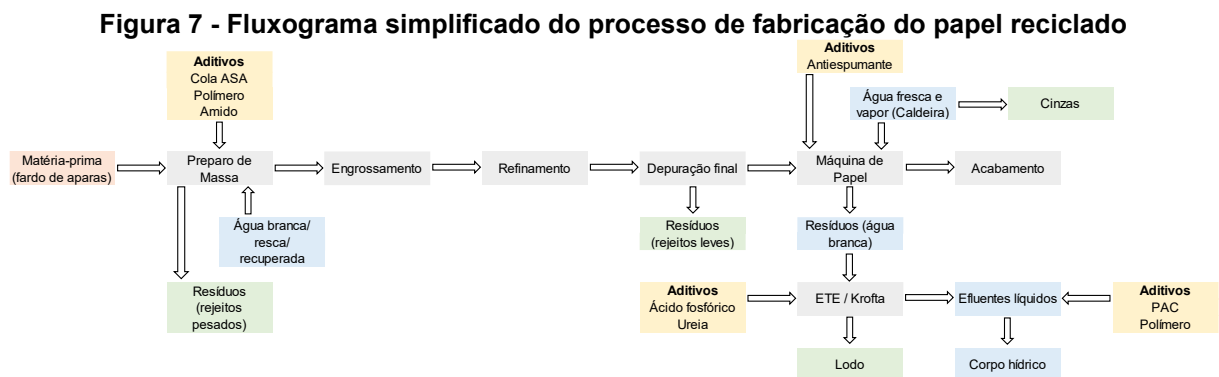
### **7.1 Objetivo**

O objetivo da ACV presente neste trabalho, é a identificação dos pontos críticos em uma indústria de embalagens do ramo de papel reciclado. A razão da realização do estudo é mensurar os possíveis impactos ambientais causados na fabricação do papel a partir do papel reciclado, a fim de obter uma possível redução deste impacto através de sugestões de melhoria. O público-alvo a quem se destina esta análise são empresas do mesmo ramo, além da empresa estudada.

## 7.2 Escopo

Para delimitação da fronteira do sistema, será delimitado desde a pré-manufatura até o fim de vida do produto. Não será necessário a definição de uma unidade funcional, já que o processo será analisado no contexto geral.

Com relação ao sistema de produto, as etapas a serem estudadas podem ser verificadas através do fluxograma da Figura 7, onde é possível verificar, além das etapas de processo do papel de maneira simplificada, as entradas de água e materiais e as saídas de resíduos. Todos os processos descritos consomem energia.



Fonte: elaborado pelo autor

## 7.3 Análise de Inventário para a Matriz DFE

Para a matriz DFE, foi respondido um questionário, conforme mencionado na seção 5, avaliando cinco estágios do ciclo de vida do produto em relação a cinco aspectos ambientais. A partir dos quadros, estão dispostas as pontuações da matriz DFE de acordo com as perguntas presentes no Apêndice A.

### 7.3.1 Pré-Manufatura

Para a pré-manufatura, as perguntas são focadas aos fornecedores, abordando assuntos relacionados ao Sistema de Gestão Ambiental (SGA), práticas formais de conservação de energia, certificações ISO 9000 ou ISO 14000, bem como programas de conservação da água e minimização das emissões gasosas.

Há grande variedade e diversificação de provedores da empresa, onde mais de 60 parceiros são impactados positivamente, entre eles cooperativas de reciclagem,

supermercados, aparistas e pequenos fornecedores de lenha da região. Devido a ampla gama de fornecimento, foi possível responder somente uma questão entre as cinco. Para a aquisição de produtos como as aparas e a lenha, onde concentram-se a maior parte dos fornecedores, é importante que estes tenham um Sistema de Gestão Ambiental em vigor. Ressaltando, além disso, que a empresa estudada é certificada PFCE – *Programme for the Endorsement of Forest Certification* e FSC – *Forest Stewardship Council*.

Paras as demais questões, optou-se pela pontuação zero devido ao desconhecimento dessas informações por parte dos participantes.

**Quadro 3 - Resultado da pontuação do estágio de pré-manufatura**

| ELEMENTO                                 | QUESTÃO   | PONTUAÇÃO |
|--|---|-----------|
| A.1: Pré-manufatura X Materiais          | Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) em andamento?  | 5         |
| A.2: Pré-manufatura X Consumo de Energia | Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui práticas de conservação de energia formais em andamento?                                      | 0         |
| A.3: Pré-manufatura X Resíduos Sólidos   | Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui ISO 9000 ou ISO 14000 em andamento ou regularmente publicam relatórios ambientais da empresa? | 0         |
| A.4: Pré-manufatura X Efluentes Líquidos | Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa para este produto ou componente possui um programa de conservação da água?   | 0         |
| A.5: Pré-manufatura X Emissões Gasosas   | Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa para este produto ou componente possui um programa formal em andamento para a minimização das emissões gasosas?                                  | 0         |

**Fonte: elaborado pelo autor**

### 7.3.2 Manufatura

Esta etapa refere-se ao processo de fabricação e sua utilização de materiais, consumo de energia, resíduos, efluentes e emissões gasosas.

Como o papel reciclado é um produto composto em sua maioria de papel e água, não houve dificuldade para responder o questionário. Em suma, apenas duas questões não pontuaram. A primeira delas está relacionada a reutilização da energia que seria desperdiçada, pois como atualmente não existem técnicas para este reaproveitamento, a pontuação foi nula. Outro ponto em que a questão não foi pontuada é referente a geração de gases que causam o aquecimento global e a destruição da camada de ozônio. Devido a utilização de uma caldeira à lenha, a queima desta pode emitir gases como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que contribui para o aquecimento global quando liberados na atmosfera.

O processo de manufatura da reciclagem de papel se utiliza de materiais recicláveis, inclusive da própria água do processo, em que 30% da água retorna para a produção e 70% para a lagoa facultativa, minimizando o uso intensivo de materiais de qualquer natureza na fabricação. A receita do papel considera, também, o uso do refugo, reduzindo as possíveis perdas. Por se tratar de um processo contínuo, não há transporte entre processos, somente o início com o abastecimento das aparas em esteira e o carregamento do material pelo setor de logística.

Para os resíduos sólidos, os fornecedores de matéria-prima conseguem minimizar os impactos da embalagem, já que as aparas são amarradas em uma fita de sustentação somente e os químicos como o amido são transportados em bags que são reutilizados na coleta do lodo úmido. As demais embalagens são devolvidas aos fornecedores, como os containers. Ademais, o papel produzido é livre de quaisquer pinturas e solventes.

**Quadro 4 - Resultado da pontuação do estágio de manufatura**

| ELEMENTO                             | QUESTÃO   | PONTUAÇÃO |
|--------------------------------------|---|-----------|
| B.1: Manufatura X Materiais          | 1. O uso de materiais recicláveis no seu produto é o maior possível?  | 1         |
|                                      | 2. Os materiais perigosos foram evitados ou minimizados?  | 2         |
|                                      | 3. A quantidade de material utilizado foi minimizada?   | 1         |
|                                      | 4. O número de diferentes tipos de materiais que são usados foi minimizado?   | 1         |
| B.2: Manufatura X Consumo de Energia | 1. O processo de manufatura minimiza o uso intensivo de energia dos processos?  | 2         |
|                                      | 2. Os processos de manufatura usam co-geração, troca de calor ou outras técnicas para utilizar a energia que seria desperdiçada?                        | 0         |
|                                      | 3. O transporte entre a manufatura e os pontos de montagem foi minimizado?  | 1         |
| B.3: Manufatura X Resíduos Sólidos   | 1. A perda de materiais foi minimizada e o reuso otimizado ao máximo durante a manufatura?  | 1         |
|                                      | 2. Os fornecedores de matéria-prima e componentes foram contatados para encorajá-los a minimizar as quantidades e tipos de embalagem dos seus produtos? | 1         |
|                                      | 3. Sua empresa maximizou as oportunidades de reusar e reduzir os resíduos de embalagens quando os componentes são transportados entre as instalações?   | 1         |
|                                      | 4. A introdução intencional de todo chumbo, cádmio, mercúrio e cromo hexavalente foi evitada?   | 2         |
| B.4: Manufatura X Efluentes Líquidos | 1. Foram investigadas alternativas para o uso de solventes e óleos tóxicos?   | 2         |
|                                      | 2. As oportunidades para captura e reuso dos subprodutos líquidos gerados durante o processo de manufatura foram investigadas?                          | 1         |
|                                      | 3. A geração de poluentes da água foram evitadas ou minimizadas?  | 2         |
| B.5: Manufatura X Emissões Gasosas   | 1. A geração de gases que causam o aquecimento global e a destruição da camada de ozônio foram evitados?  | 0         |
|                                      | 2. A geração de poluentes do ar perigosos foi evitada durante o processo de manufatura?   | 2         |
|                                      | 3. O uso de solventes, tintas e adesivos com altas taxas de evaporação de compostos orgânicos voláteis foi eliminado ou minimizado?                     | 1         |

Fonte: elaborado pelo autor

### 7.3.3 Distribuição e Embalagem

Para este elemento, a única pergunta não pontuada foi a C1.1. A pergunta consiste em se as opções de embalagens reusáveis foram exploradas para a distribuição entre as instalações da empresa. Para as embalagens de amido, são utilizados bags que são reutilizados na coleta de lodo úmido, conforme citado na etapa anterior. Entretanto, os paletes em que são colocadas as bolachas para transporte, não conseguem ser utilizados em outro processo, como na produção de tubetes, pois são estreitos e não atendem às necessidades. Portanto, optou-se por não pontuar nesta questão.

A embalagem das bolachas de papel é simplificada, contendo somente o palete de movimentação, dois discos produzidos de papel reciclado para sustentação, posicionados no inferior e superior da carga e envoltos em plástico *stretch*. Portanto, não há impactos relacionados às perguntas propostas.

**Quadro 5 - Resultado da pontuação do estágio de distribuição e embalagem**

| ELEMENTO   | QUESTÃO  | PONTUAÇÃO |
|--|--|-----------|
| C.1: Distribuição e Embalagem X Materiais          | 1. As opções de embalagens reusáveis foram exploradas para a distribuição entre as instalações da empresa?   | 0         |
|  | 2. As opções de embalagens reusáveis foram exploradas para a distribuição entre a empresa e seus fornecedores?   | 1         |
|  | 3. Materiais reciclados são usados nas embalagens utilizadas para transporte e entrega do produto?   | 1         |
|  | 4. Materiais recicláveis são usados nas embalagens para transporte e entrega do produto?   | 1         |
|  | 5. O número de diferentes tipos de materiais usados nas embalagens foi minimizado?   | 1         |
| C.2: Distribuição e Embalagem X Consumo de Energia | 1. O material usado para embalagem é reutilizável ou de menor massa possível, mantendo as funções de transporte e embalagem final?   | 5         |
| C.3: Distribuição e Embalagem X Resíduos Sólidos   | 1. A embalagem foi desenvolvida para fácil separação entre os materiais possibilitando o reuso e a reciclagem?   | 1         |
|  | 2. Os tipos de embalagem comumente usadas são recicladas?  | 2         |
|  | 3. Os materiais da embalagem são claramente marcados e facilmente identificados por tipo de material?  | 2         |
| C.4: Distribuição e Embalagem X Efluentes Líquidos | 1. A máxima prevenção quanto ao vazamento de líquidos perigosos durante o transporte foi tomada?   | 5         |
| C.5: Distribuição e Embalagem X Emissões Gasosas   | 1. As embalagens para transporte e consumo não contém polímeros clorados ou plásticos que possam produzir emissões gasosas perigosas caso incinerados a baixas temperaturas? | 3         |
|  | 2. As embalagens para transporte e consumo não contém inibidores de chamas bromados que possam produzir emissões se incinerados a baixas temperaturas?                       | 2         |

Fonte: elaborado pelo autor

#### 7.3.4 Uso do produto e manutenção

Por se tratar de bolachas de papel, seu uso é destinado à produção de tubetes e cones, que podem ser reciclados novamente. Por este motivo, foi o elemento mais pontuado entre os demais, já que não é um produto de consumo durável, como eletrônicos ou eletrodomésticos. O uso do papel não há desmontagem, não necessita de reparo e não utiliza consumo de energia para a utilização do produto final. Portanto, conclui-se que estas perguntas não se enquadrariam ao processo abordado. Por isso, foi pontuado com a nota máxima para não comprometer o resultado, já que o produto cumpre aos requisitos.

Cabe ressaltar que o produto final é destinado em grande parte ao mercado de embalagens, no caso dos tubetes, inclusive para o próprio papel que é produzido na empresa, e à indústria têxtil, no caso dos cones. Estes produtos, quando associados aos aspectos ambientais, são considerados minimizadores dos impactos ao meio ambiente, por se tratar de reciclagem.



**Quadro 6 - Resultado da pontuação do estágio de uso do produto e manutenção**

| ELEMENTO  | QUESTÃO  | PONTUAÇÃO |
|---|--|-----------|
| D.1: Uso do Produto e Manutenção X Materiais          | 1. O produto ou componente é facilmente desmontado para atualização, reparo ou reuso?  | 1         |
|   | 2. As partes deste produto ou componente estão prontamente disponíveis para reparo?  | 1         |
|   | 3. As barreiras potenciais para a reciclagem, como uso de aditivos, tratamentos metálicos em plásticos, aplicação de pinturas no plástico ou o uso de materiais de composição desconhecidas foram evitadas?                        | 2         |
|   | 4. A composição e informação sobre as propriedades do produto são conhecidas?  | 1         |
| D.2: Uso do Produto e Manutenção X Consumo de Energia | 1. O projeto do produto possibilita o mínimo consumo de energia durante o uso do produto?  | 2         |
|   | 2. Esse produto ou componente pode ter um ajuste de energia baseada na intensidade de atividade?   | 3         |
| D.3: Uso do Produto e Manutenção X Resíduos Sólidos   | 1. O projeto do produto evita o uso de componentes descartáveis como baterias e cartuchos?   | 1         |
|   | 2. Os elementos de ligação utilizados, como parafusos e prendedores por adesão, possuem o mesmo tipo de cabeça? O uso de adesivos e soldas foi evitado para partes unidas de forma a facilitar a desmontagem, reparo e reciclagem? | 2         |
|   | 3. O produto foi desenvolvido de forma a ser facilmente reparado e/ou atualizado preferencialmente à substituição total?   | 2         |
| D.4: Uso do Produto e Manutenção X Efluentes Líquidos | 1. O uso dos produtos evita a liberação de substâncias conhecidas por serem poluentes da água?   | 5         |
| D.5: Uso do Produto e Manutenção X Emissões Gasosas   | 1. A emissão de poluentes atmosféricos perigosos foi evitada durante o uso e manutenção do produto?  | 2         |
|   | 2. A emissão de gases que causam aquecimento global e a destruição da camada de ozônio foi evitada durante o uso e a manutenção do produto?  | 3         |

**Fonte: elaborado pelo autor**

### 7.3.5 Fim de Vida

O último elemento do questionário, trata-se do fim de vida do produto. Este é composto por perguntas relacionadas ao reuso, reciclagem e disposição final do papel e seus poluentes. Por se tratar de um material reciclável, que não exige desmontagem ou liberação de substâncias em sua composição, foi o segundo elemento mais bem pontuado. Com relação ao consumo de energia, não foi possível obter a pontuação para a segunda pergunta, pois as embalagens contaminadas com produtos químicos, como baldes de graxa e óleo, EPI's e esporadicamente os resíduos de cola, devem ser transportados como resíduos perigosos.

Com relação ao uso de materiais, eles podem voltar ao processo de reciclagem, pois além de ser um produto reciclado, é reciclável também. Além disso, para as

questões de consumo de energia, pode-se considerar que as partes plásticas, fibras ou lodo do processo, se secado corretamente, pode ser utilizado para geração de energia. Já para os resíduos sólidos, há infraestrutura interna e externa para a reciclagem, e não há ligação entre diferentes, pois trata-se de um produto homogêneo. Para os efluentes líquidos, a empresa conta com a Estação de Tratamento de Efluentes e recuperação de fibras no Krofta, conforme demonstrado no fluxograma da Figura 6. Com relação às emissões gasosas, não há liberação de poluentes atmosféricos, seja pela disposição final do papel, ou no tratamento dos resíduos gerados.

**Quadro 7 – Resultado da pontuação do estágio de fim de vida**

| ELEMENTO                              | QUESTÃO   | PONTUAÇÃO |
|---------------------------------------|---|-----------|
| E.1: Fim de Vida X Materiais          | 1. Os materiais são facilmente reusados ou comumente reciclados?  | 1         |
|                                       | 2. Os materiais são de fácil separação e identificação por tipo?  | 1         |
|                                       | 3. Nenhum dos materiais utilizados precisam ser disposto como resíduo perigoso ?  | 1         |
|                                       | 4. A introdução de chumbo, cádmio, mercúrio e cromo hexavalente nos materiais do produto foram evitadas ?   | 2         |
| E.2: Fim de Vida X Consumo de Energia | 1. As partes de plástico e fibra podem ser seguramente utilizado para geração de energia, como na incineração?  | 2         |
|                                       | 2. Não apresentam nenhum material que precisa ser transportado como resíduo perigoso para aterros industriais? (i.e. energia adicional é requerida para transportar materiais de manejo especial) | 0         |
| E.3: Fim de Vida X Resíduos Sólidos   | 1. Existe infra-estrutura interna ou externa à empresa para recuperar/reciclar os resíduos sólidos?   | 2         |
|                                       | 2. O projeto do produto evita a ligação entre diferentes materiais que possa dificultar a sua separação?  | 3         |
| E.4: Fim de Vida X Efluentes Líquidos | 1. O produto foi desenvolvido de forma a recuperar líquidos perigosos durante a sua desmontagem?  | 5         |
| E.5: Fim de Vida X Emissões Gasosas   | 1. A liberação de substâncias que causam a destruição da camada de ozônio e/ou aquecimento global foi evitada durante a disposição final do produto ou componente?                                | 2         |
|                                       | 2. Os gases contidos no produto podem ser recuperados durante a desmontagem para que não sejam perdidos?  | 1         |
|                                       | 3. A liberação de poluentes atmosféricos foi evitada durante a disposição final deste produto ou componente?  | 2         |

**Fonte: elaborado pelo autor**

### 7.3.6 Resultado Geral da Matriz DFE

Através da pontuação obtida pelo questionário, é possível verificar através da Tabela 3, que o estágio mais pontuado foi o de uso do produto e manutenção, com 25

pontos. Por se tratar de um produto de consumo voltado ao mercado das embalagens, seu uso não está atrelado ao consumo de energia, ou qualquer tipo de resíduo prejudicial ao meio ambiente, além de ser um papel reciclado, também pode ser reciclável, permitindo o seu uso constante.

Em contrapartida, o estágio de menor pontuação foi o de pré-manufatura, devido à falta de informações, comprometendo 80% das questões. Embora somente sejam conhecidos os parâmetros relacionados a SGA, não é descartada a possibilidade de que os fornecedores cumpram com os requisitos de consumo de energia, resíduos sólidos, líquidos e gasosos.

Quando avaliados os aspectos ambientais, a pontuação de 24 pontos foi a maior obtida, relacionada aos materiais. Grande parte desta pontuação deve-se ao fato de que o produto é constituído de água e papel, no qual o material que foi descartado, será reutilizado em nova fabricação, se tornando um produto utilizável novamente. Ou seja, não há grandes preocupações com o uso de materiais nocivos ao meio ambiente. Porém, o de menor pontuação constitui do uso de energia com 15 pontos, em grande parte devido à não utilizações de técnicas de reaproveitamento de energia e o transporte de produtos classificados como manejo especial.

Portanto, é possível concluir que foi obtida uma pontuação de 194 pontos de um total de 250 pontos possíveis, atingindo o percentual de aproximadamente 77%.

**Tabela 3 - Pontuação em Matriz DFE**

| Estágio do ciclo de vida   | Aspecto Ambiental |                |                  |                   |                  | Total      |
|----------------------------|-------------------|----------------|------------------|-------------------|------------------|------------|
|                            | Materiais         | Uso de energia | Resíduos sólidos | Resíduos líquidos | Resíduos gasosos |            |
| Pré-manufatura             | 5                 | 0              | 0                | 0                 | 0                | 5          |
| Manufatura                 | 5                 | 3              | 5                | 5                 | 3                | 21         |
| Distribuição, embalagem    | 4                 | 5              | 5                | 5                 | 5                | 24         |
| Uso do produto, manutenção | 5                 | 5              | 5                | 5                 | 5                | 25         |
| Fim de vida                | 5                 | 2              | 5                | 5                 | 5                | 22         |
| <b>Total</b>               | <b>24</b>         | <b>15</b>      | <b>20</b>        | <b>20</b>         | <b>18</b>        | <b>194</b> |

Fonte: elaborado pelo autor

## 7.4 Análise de Inventário para a Matriz AHP

### 7.4.1 Ponderação de critérios para os aspectos ambientais

A partir da pontuação obtida com a matriz DFE, demonstrada na Tabela 3, desejou-se ponderar, de acordo com o Quadro 1, qual dos aspectos ambientais possuem maior relevância para os pesquisadores. É possível observar através da Tabela 4, que o uso de materiais é seis vezes mais importante do que os resíduos sólidos, bem como, estes resíduos são inferiores em seis vezes ao uso dos materiais, ou seja,  $\frac{1}{6}$ . Assim, foram feitos para todas as combinações, de acordo com o entendimento e subjetividade dos pesquisadores.

**Tabela 4 - Pontuação da matriz AHP para aspectos ambientais**

|                   | Materiais | Uso de energia | Resíduos sólidos | Resíduos líquidos | Resíduos gasosos |
|-------------------|-----------|----------------|------------------|-------------------|------------------|
| Materiais         | 1         | 9              | 6                | 8                 | 4                |
| Uso de energia    | 0,11      | 1              | 0,25             | 0,5               | 0,14             |
| Resíduos sólidos  | 0,17      | 4              | 1                | 3                 | 0,33             |
| Resíduos líquidos | 0,13      | 2              | 0,33             | 1                 | 0,2              |
| Resíduos gasosos  | 0,25      | 7              | 3                | 5                 | 1                |

Fonte: elaborado pelo autor

Em seguida foram calculados os vetores normalizados e obtido o maior valor Eigen. Com isso, obteve-se uma razão de coerência de aproximadamente 6,4%, o que viabiliza a utilização deste modelo, pois está dentro do aceitável de 10% (Tabela 5). A escolha de R está tabelada de acordo com o número de variáveis, conforme demonstrado no Quadro 2.

**Tabela 5 - Vetores normalizados e cálculo da razão de coerência para aspectos ambientais**

|                   | Materiais | Uso de energia | Resíduos sólidos | Resíduos líquidos | Resíduos gasosos | AV   | AVNorm |
|-------------------|-----------|----------------|------------------|-------------------|------------------|------|--------|
| Materiais         | 1,00      | 9,00           | 6,00             | 8,00              | 4,00             | 4,44 | 0,55   |
| Uso de energia    | 0,11      | 1,00           | 0,25             | 0,50              | 0,14             | 0,29 | 0,04   |
| Resíduos sólidos  | 0,17      | 4,00           | 1,00             | 3,00              | 0,33             | 0,92 | 0,12   |
| Resíduos líquidos | 0,13      | 2,00           | 0,33             | 1,00              | 0,20             | 0,44 | 0,06   |
| Resíduos gasosos  | 0,25      | 7,00           | 3,00             | 5,00              | 1,00             | 1,92 | 0,24   |
| Soma              | 1,65      | 23,00          | 10,58            | 17,50             | 5,68             | 8,01 | 1,00   |

|       |             |
|-------|-------------|
| λ max | 5,284400895 |
|-------|-------------|

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| Índice de Coerência | 0,071100224 |
|---------------------|-------------|

|                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| Razão de Coerência | 0,064054256 (IR=1.11) |
|--------------------|-----------------------|

Fonte: elaborado pelo autor

Para obter os escores normalizados e o vetor decisão, para cada estágio foi feito a soma entre os produtos dos resultados dos aspectos ambientais da matriz DFE

(Tabela 3) e seus vetores normalizados. A partir destas pontuações, foi possível ordená-los de maneira crescente. O estágio de pré-manufatura foi o menos pontuado, indicando o maior impacto do processo, seguido da manufatura, distribuição e embalagem, fim de vida e uso do produto e manutenção (Tabela 6).

**Tabela 6 - Escores normalizados e vetor decisão para aspectos ambientais**

| Escore normalizados e Vetor decisão |                       |                   |                                |                                   |                    |               |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------|---------------|
| <b>Vetor decisão</b>                | <b>0,115</b>          | <b>0,205</b>      | <b>0,213</b>                   | <b>0,237</b>                      | <b>0,229</b>       | <b>1,00</b>   |
| <b>Materiais</b>                    | 0,21                  | 0,21              | 0,17                           | 0,21                              | 0,21               | 0,55          |
| <b>Uso de energia</b>               | 0,00                  | 0,20              | 0,33                           | 0,33                              | 0,13               | 0,04          |
| <b>Resíduos sólidos</b>             | 0,00                  | 0,25              | 0,25                           | 0,25                              | 0,25               | 0,12          |
| <b>Resíduos líquidos</b>            | 0,00                  | 0,25              | 0,25                           | 0,25                              | 0,25               | 0,06          |
| <b>Resíduos gasosos</b>             | 0,00                  | 0,17              | 0,28                           | 0,28                              | 0,28               | 0,24          |
|                                     | <b>Pré-manufatura</b> | <b>Manufatura</b> | <b>Distribuição, embalagem</b> | <b>Uso do produto, manutenção</b> | <b>Fim de vida</b> | <b>A.V.N.</b> |

|                   | A.V.N.       | Estágio                           |
|-------------------|--------------|-----------------------------------|
| <b>1º impacto</b> | <b>0,115</b> | <b>Pré-manufatura</b>             |
| <b>2º impacto</b> | <b>0,205</b> | <b>Manufatura</b>                 |
| <b>3º impacto</b> | <b>0,213</b> | <b>Distribuição, embalagem</b>    |
| <b>4º impacto</b> | <b>0,229</b> | <b>Fim de vida</b>                |
| <b>5º impacto</b> | <b>0,237</b> | <b>Uso do produto, manutenção</b> |

Fonte: elaborado pelo autor

#### 7.4.2 Ponderação de critérios para os estágios do ciclo de vida

De forma análoga a matriz AHP para os aspectos ambientais, os estágios do ciclo de vida também foram ponderados, de acordo com a Tabela 7. Aqui, nota-se que os pesos variam de 2 a 7, caracterizando maior aproximação entre a importância dos processos quando comparados à ponderação dos aspectos ambientais.

**Tabela 7 - Pontuação da matriz AHP para estágios do ciclo de vida**

|                                   | Pré-manufatura | Manufatura | Distribuição, embalagem | Uso do produto, manutenção | Fim de vida |
|-----------------------------------|----------------|------------|-------------------------|----------------------------|-------------|
| <b>Pré-manufatura</b>             | 1              | 0,25       | 5                       | 3                          | 0,33        |
| <b>Manufatura</b>                 | 4              | 1          | 7                       | 5                          | 2           |
| <b>Distribuição, embalagem</b>    | 0,20           | 0,14       | 1                       | 0,5                        | 0,17        |
| <b>Uso do produto, manutenção</b> | 0,33           | 0,20       | 2                       | 1                          | 0,25        |
| <b>Fim de vida</b>                | 3              | 0,50       | 6                       | 4                          | 1           |

Fonte: elaborado pelo autor

Em seguida foram calculados os vetores de normalização e obtidos o maior valor Eigen. Com isso, obteve-se uma razão de coerência de aproximadamente 4,0%, o que viabiliza a utilização deste modelo, pois está dentro do aceitável de 10% (Tabela 8). A escolha de R manteve-se em 1,11 por se tratar da mesma quantidade de variáveis.

**Tabela 8 - Vetores normalizados e cálculo da razão de coerência para estágios do ciclo de vida**

|                   | Materiais | Uso de energia | Resíduos sólidos | Resíduos líquidos | Resíduos gasosos | AV   | AVNorm |
|-------------------|-----------|----------------|------------------|-------------------|------------------|------|--------|
| Materiais         | 1,00      | 0,25           | 5,00             | 3,00              | 0,33             | 1,05 | 0,15   |
| Uso de energia    | 4,00      | 1,00           | 7,00             | 5,00              | 2,00             | 3,09 | 0,44   |
| Resíduos sólidos  | 0,20      | 0,14           | 1,00             | 0,50              | 0,17             | 0,30 | 0,04   |
| Resíduos líquidos | 0,33      | 0,20           | 2,00             | 1,00              | 0,25             | 0,51 | 0,07   |
| Resíduos gasosos  | 3,00      | 0,50           | 6,00             | 4,00              | 1,00             | 2,05 | 0,29   |
| Soma              | 8,53      | 2,09           | 21,00            | 13,50             | 3,75             | 6,98 | 1,00   |

|               |             |
|---------------|-------------|
| $\lambda$ max | 5,178744317 |
|---------------|-------------|

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| Índice de Coerência | 0,044686079 |
|---------------------|-------------|

|                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| Razão de Coerência | 0,040257729 (IR=1.11) |
|--------------------|-----------------------|

Fonte: elaborado pelo autor

Para obter os escores normalizados e o vetor decisão, para cada aspecto ambiental foi feito a soma entre os produtos dos resultados dos estágios do ciclo de vida da matriz DFE (Tabela 3) e seus vetores normalizados. A partir destas pontuações, foi possível ordenar de maneira crescente. O uso de energia foi o menos pontuado, indicando o maior impacto do processo, seguido de resíduos gasosos, resíduos sólidos e líquidos com a mesma pontuação, e por fim, os materiais (Tabela 9).

**Tabela 9 - Escores normalizados e vetor decisão para estágios do ciclo de vida**

| Vetor decisão              | Escores normalizados e Vetor decisão |                |                  |                   |                  |       |
|----------------------------|--------------------------------------|----------------|------------------|-------------------|------------------|-------|
|                            | 0,343                                | 0,113          | 0,195            | 0,195             | 0,153            | 1,00  |
| Pré-manufatura             | 1,00                                 | 0,00           | 0,00             | 0,00              | 0,00             | 0,15  |
| Manufatura                 | 0,24                                 | 0,14           | 0,24             | 0,24              | 0,14             | 0,44  |
| Distribuição, embalagem    | 0,17                                 | 0,21           | 0,21             | 0,21              | 0,21             | 0,04  |
| Uso do produto, manutenção | 0,20                                 | 0,20           | 0,20             | 0,20              | 0,20             | 0,07  |
| Fim de vida                | 0,23                                 | 0,09           | 0,23             | 0,23              | 0,23             | 0,29  |
|                            | Materiais                            | Uso de energia | Resíduos sólidos | Resíduos líquidos | Resíduos gasosos | AV.N. |

|            | A.V.N. | Aspecto Ambiental |
|------------|--------|-------------------|
| 1º impacto | 0,113  | Uso de energia    |
| 2º impacto | 0,153  | Resíduos gasosos  |
| 3º impacto | 0,195  | Resíduos sólidos  |
| 4º impacto | 0,195  | Resíduos líquidos |
| 5º impacto | 0,343  | Materiais         |

Fonte: elaborado pelo autor

## 7.5 Avaliação de Impacto

De acordo com a matriz DFE, de forma crescente de pontuação, o estágio de maior preocupação foi o de pré-manufatura. Contudo, não é possível, de fato, concluir que os fornecedores da empresa não atendam aos requisitos das perguntas propostas, tanto pela diversificação como pelo conhecimento por parte dos respondentes. Visando mitigar esses impactos, poderiam ser aplicados questionários de avaliação para os fornecedores, com o intuito de conhecê-los de acordo com as

políticas ambientais adotadas por eles. A partir disso, a empresa faria a melhor escolha de acordo com as respostas.

O segundo maior impacto foi o estágio de manufatura. Embora o processo seja orientado à reciclagem, há dois pontos de importância. O primeiro deles é a possibilidade do uso de técnicas para utilizar da energia que seria desperdiçada ou cogeração. É necessário analisar, por exemplo, a viabilidade em utilizar o lodo gerado do tratamento de efluentes, para produzir biogás e aproveitar o calor gerado na geração de energia. O segundo ponto refere-se à geração de gases que causam o efeito estufa. Neste aspecto, pode-se estudar a aquisição de uma caldeira a gás natural ou biomassa de outras fontes mais sustentáveis, como bagaço de cana, casca de arroz, serragem e entre outros.

O terceiro maior impacto está relacionado ao fim de vida do produto, atrelado a geração do lodo, que é considerado um resíduo perigoso. Para reduzir este impacto, faz-se necessário estudo e análise do lodo para verificar a possibilidade de destinar esse material ao uso agrícola, ao invés de aterros sanitários, mas depende-se de encontrar uma forma ecologicamente segura de reaproveitamento deste resíduo.

Por fim, distribuição e embalagem foi o quarto impacto de maior preocupação, resultado da interação entre este estágio com os materiais. As opções de embalagens utilizadas no processo de manufatura poderiam ser distribuídas entre as instalações da empresa de forma a substituir o palete utilizado atualmente. Devido a presença de outras unidades fabris na planta, os paletes utilizados na produção de papel não podem ser reutilizados para o transporte de tubetes e cones, devido a sua largura menor. Porém, a estrutura da esteira de acabamento não permite larguras maiores, o que dificulta a aquisição de outras medidas. Portanto, se houver a possibilidade de maiores investimentos financeiros, uma solução viável é a troca da esteira, para que possam ser adquiridos formatos mais largos. Além disso, uma vez que o *stretch* foi utilizado, não é possível reaproveitá-lo.

De forma análoga, tem-se as pontuações dos aspectos ambientais, no qual o uso de energia foi o menos pontuado, seguido dos resíduos gasosos, sólidos e líquidos com a mesma pontuação, e materiais.

As principais questões não pontuadas relacionadas ao uso de energia, estão destacados no Quadro 8. A maior perda de pontuação foi no estágio de pré-manufatura, pois havia somente uma única pergunta de cinco pontos, que não foi

pontuada. Além disso, as questões relacionadas a cogeração de energia e transporte de resíduos perigosos foram impactadas.

**Quadro 8 – Questões não pontuadas em relação ao uso de energia**

| ELEMENTO       | QUESTÃO   | PONTUAÇÃO |
|----------------|---|-----------|
| Uso de Energia | Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui práticas de conservação de energia formais em andamento?                                      | 0         |
|                | 2. Os processos de manufatura usam co-geração, troca de calor ou outras técnicas para utilizar a energia que seria desperdiçada?  | 0         |
|                | 2. Não apresentam nenhum material que precisa ser transportado como resíduo perigoso para aterros industriais? (i.e. energia adicional é requerida para transportar materiais de manejo especial) | 0         |

**Fonte: elaborado pelo autor**

Seguindo com a segunda menor pontuação, tem-se os resíduos gasosos, no Quadro 9, cujos impactos estão na pré-manufatura e na geração de gases do aquecimento global.

**Quadro 9 – Questões não pontuadas em relação aos resíduos gasosos**

| ELEMENTO         | QUESTÃO  | PONTUAÇÃO |
|------------------|--|-----------|
| Resíduos Gasosos | Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa para este produto ou componente possui um programa formal em andamento para a minimização das emissões gasosas? | 0         |
|                  | 1. A geração de gases que causam o aquecimento global e a destruição da camada de ozônio foram evitados?   | 0         |

**Fonte: elaborado pelo autor**

Para os resíduos sólidos e líquidos, houve um empate na pontuação, onde ambos não foram pontuados no estágio de pré-manufatura, conforme demonstrado no Quadro 10.

**Quadro 10 – Questões não pontuadas em relação aos resíduos sólidos e líquidos**

| ELEMENTO          | QUESTÃO   | PONTUAÇÃO |
|-------------------|---|-----------|
| Resíduos Sólidos  | Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui ISO 9000 ou ISO 14000 em andamento ou regularmente publicam relatórios ambientais da empresa? | 0         |
| Resíduos Líquidos | Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa para este produto ou componente possui um programa de conservação da água?   | 0         |

**Fonte: elaborado pelo autor**



O elemento mais pontuado da matriz DFE, representado no Quadro 11, não pontuou no aspecto de distribuição e embalagem, devido às dificuldades encontradas em reutilizar as embalagens nas instalações da empresa.

**Quadro 11 – Questões não pontuadas em relação aos materiais**

| ELEMENTO  | QUESTÃO  | PONTUAÇÃO |
|-----------|--|-----------|
| Materiais | 1. As opções de embalagens reusáveis foram exploradas para a distribuição entre as instalações da empresa? | 0         |

**Fonte: elaborado pelo autor**

Visando a complementação ao questionário aplicado à matriz DFE, a matriz AHP foi utilizada na busca em fornecer uma estrutura para avaliar e priorizar os critérios de sustentabilidade considerados anteriormente. Através da atribuição de pesos aos diferentes critérios com base em sua importância relativa para os pesquisadores, foi possível verificar que não houve grandes discrepâncias em relação à ordem dos impactos.

Analisando o Quadro 12, onde os estágios do ciclo de vida foram ordenados do maior ao menor impacto, a matriz AHP considera que distribuição e embalagem foi menos pontuado em relação ao fim de vida, em detrimento da matriz DFE, onde estes estão invertidos em suas posições. É possível afirmar que através da atribuição de maior peso ao estágio de distribuição e embalagem, fez com que, mesmo com 24 pontos obtidos com o questionário, passou a representar menor pontuação para o AHP, enquanto o estágio fim de vida, estava com 22 pontos, passou a representar maior pontuação.

**Quadro 12 - Comparação dos estágios do ciclo de vida de acordo com a ponderação dos impactos**

| Matriz DFE                 | Pontuação | Matriz AHP                 | Pontuação |
|----------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Pré-manufatura             | 5         | Pré-manufatura             | 0,115     |
| Manufatura                 | 21        | Manufatura                 | 0,205     |
| Fim de vida                | 22        | Distribuição, embalagem    | 0,213     |
| Distribuição, embalagem    | 24        | Fim de vida                | 0,229     |
| Uso do produto, manutenção | 25        | Uso do produto, manutenção | 0,237     |

**Fonte: elaborado pelo autor**

De forma a comparar os aspectos ambientais, a ponderação pelo método AHP não influenciou em sua pontuação, mantendo os impactos da matriz DFE (Quadro 13).

**Quadro 13 - Comparação dos aspectos ambientais do ciclo de vida de acordo com a ponderação dos impactos**

| <b>Matriz DFE</b> | <b>Pontuação</b> | <b>Matriz AHP</b> | <b>Pontuação</b> |
|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| Uso de energia    | 15               | Uso de energia    | 0,113            |
| Resíduos gasosos  | 18               | Resíduos gasosos  | 0,153            |
| Resíduos sólidos  | 20               | Resíduos sólidos  | 0,195            |
| Resíduos líquidos | 20               | Resíduos líquidos | 0,195            |
| Materiais         | 24               | Materiais         | 0,343            |

Fonte: elaborado pelo autor

## 8 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho é avaliar o ciclo de vida do papel reciclado, devido a sua grande importância no mercado de forma geral. Sabe-se que a indústria de papel e celulose pode exercer papel fundamental no processo de reciclagem, evitando a disposição destas embalagens e fragmentos de papel no meio ambiente, podendo retornar novamente ao ciclo de vida do produto. Embora existam impactos positivos relacionados a este processo de fabricação, faz-se necessário uma avaliação abrangendo os cinco estágios, visando identificar os possíveis impactos negativos em relação aos quesitos ambientais.

Através das matrizes DFE e AHP, metodologias escolhidas para análise e interpretação do ACV, foi possível a obtenção de resultados a serem melhor analisados e avaliados. O resultado global da matriz revela uma pontuação de 194 pontos de 250 pontos possíveis. A partir da pontuação de cada elemento, foi feita uma ponderação, para verificar se, através da atribuição de diferentes importâncias aos processos, os resultados seriam os mesmos.

Primeiramente, discutindo sobre a matriz DFE, devido ao desconhecimento em questões ambientais dos fornecedores da empresa estudada, a pré-manufatura foi o estágio mais prejudicado em relação a pontuação, o que justifica a maior perda de pontos. Com base neste quesito, é válido a aplicação do questionário aos fornecedores de maior interação com a empresa, a fim de melhor conhecê-los e traçar estratégias de parcerias.

Em relação à manufatura, dois âmbitos importantes podem ser destacados. O primeiro está relacionado ao uso de cogeração ou técnicas de reaproveitamento de energia, e o segundo a geração de gases que causam o aquecimento global. Conforme mencionado na interpretação do ACV, faz-se necessário analisar, por exemplo, a viabilidade em utilizar o lodo gerado do tratamento de efluentes, para produzir biogás e aproveitar o calor gerado na geração de energia. Para o segundo aspecto, pode-se estudar a aquisição de uma caldeira a gás natural ou biomassa de fontes mais sustentáveis.

O terceiro estágio menos pontuado foi o de fim de vida, onde o lodo gerado e outros produtos químicos são transportados como resíduos perigosos. Para reduzir este impacto, faz-se necessário uma análise do lodo úmido, para verificar a possibilidade de destinar esse material ao uso agrícola, ao invés de aterros sanitários, mas depreende-se de encontrar uma forma ecologicamente segura de reaproveitamento deste resíduo.

Já o segundo estágio mais bem pontuado foi o de distribuição e embalagem, devido a não reutilização de todas as embalagens entre as distribuições da empresa, perdendo um ponto. Por fim, o uso do produto foi o quesito pontuado em todos os aspectos, já que se trata de produtos para embalagens, e corresponde de maneira positiva a todas as questões.

Em seguida, foi pensado em uma possível atribuição de pesos às variáveis do processo, de acordo com a subjetividade dos pesquisadores. Para tal, foi verificado que a partir dos cálculos pela matriz AHP, o estágio de fim de vida pode ser mais crítico quando comparado a distribuição e embalagem. Sendo assim, seria um ponto de maior atenção, quando comparado ao ranking de impactos da matriz DFE. Portanto, cabe uma ponderação alinhada ao perfil da empresa, juntamente às estratégias da direção da corporação, para avaliar quais os estágios mais impactantes. Como complementação ao estudo, a mesma ponderação foi realizada para os recursos, o que não demonstrou nenhuma divergência de ranking entre os métodos, mas não exclui um aprofundamento para uma nova ponderação.

No tocante ao tema de ACV, as limitações encontradas baseiam-se no fato de que houve a necessidade da utilização de uma matriz simples e genérica, por conta da não utilização de um software específico para a análise do ciclo de vida. Vale ressaltar que, ao passo que o questionário seja amplo e sirva para a maioria dos produtos, muitas questões não se aplicariam ao produto aqui estudado, pois nota-se

que há uma tendência em captar produtos de consumo duráveis, como equipamentos e eletrônicos, que não se enquadraria ao uso do papel.

Para futuros trabalhos, recomenda-se o aprofundamento das questões a esse tema, por vezes substituindo algumas perguntas específicas a outros processos, tornando-as mais aplicáveis, bem como a utilização de um software para tratamento de dados coletados de uma unidade funcional, de forma a quantificar de maneira precisa, os possíveis impactos da manufatura de reciclagem.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO 14040:2009, **Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura.** Disponível: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5759669/mod\\_folder/content/0/NBR%20ISO%2014040%20-%20GA-ACV%20-%20Princ%3%ADpios%20de%20estrutura.pdf?forcedownload=1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5759669/mod_folder/content/0/NBR%20ISO%2014040%20-%20GA-ACV%20-%20Princ%3%ADpios%20de%20estrutura.pdf?forcedownload=1). Acesso em: 29 abr. 2023.

ABNT NBR ISO 14044:2004, **Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações.** Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5759669/mod\\_folder/content/0/NBRISO14044%20-%20GA-ACV%20-%20Requisitos%20e%20orienta%3%A7%3%B5es.pdf?forcedownload=1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5759669/mod_folder/content/0/NBRISO14044%20-%20GA-ACV%20-%20Requisitos%20e%20orienta%3%A7%3%B5es.pdf?forcedownload=1). Acesso em: 29 abril 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - BRACELPA. **Considerações gerais sobre a atividade de reciclagem de papel no Brasil.** São Paulo: BRACELPA, 1998. Palestra, III Seminário de Avaliação de Experiências Brasileiras de Coleta Seletiva de Lixo, 14 p.

AZAPAGIC, A. **Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation.** *Chemical Engineering Journal*, v. 73, n. 1, p. 1-21, 1999. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138589479900042X>. Acesso em: 02 jun. 2023.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos.** 4 ed., 312 p. São Paulo: Saraiva, 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=GEJnDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=gest%C3%A3o+ambiental+empresarial&ots=8DeYsgew8F&sig=EC6CcZoSuw67hhFcDJ9A8pp4PbU#v=onepage&q=gest%C3%A3o%20ambiental%20empresarial&f=false>. Acesso em: 22 jul 2023.

BAUMANN, H.; BOONS, F.; BRAGD, A. **Mapping the green product development field: engineering, policy and business perspectives.** *Journal of Cleaner Production*, v. 10, p. 409-425, 2002. Disponível em: [https://www.academia.edu/21835239/Mapping\\_the\\_green\\_product\\_development\\_field\\_engineering\\_policy\\_and\\_business\\_perspectives](https://www.academia.edu/21835239/Mapping_the_green_product_development_field_engineering_policy_and_business_perspectives). Acesso em: 6 out 2023.

BHUSHAN, N.; RAI, K. **Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process.** London: Springer, 2004. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/362349130\\_Strategic\\_Decision\\_Making\\_Applying\\_the\\_Analytic\\_Hierarchy\\_Process\\_Decision\\_Engineering](https://www.researchgate.net/publication/362349130_Strategic_Decision_Making_Applying_the_Analytic_Hierarchy_Process_Decision_Engineering). Acesso em: 13 out 2023.

CAJAZEIRA, J. E. R.; BRANCHINI, O.; BARBIERI, J. C.; et al. O papel. Vol. 70, nº 09, p. 52-72, set. 2009. **Cadeia de suprimento e avaliação do ciclo de vida do produto: revisão teórica e exemplo de aplicação.** Disponível em:

[https://gvpesquisa.fgv.br/sites/gvpesquisa.fgv.br/files/arquivos/barbieri\\_-\\_cadeiadesuprimento\\_e\\_avaliacao\\_do\\_ciclo\\_de\\_vida.pdf](https://gvpesquisa.fgv.br/sites/gvpesquisa.fgv.br/files/arquivos/barbieri_-_cadeiadesuprimento_e_avaliacao_do_ciclo_de_vida.pdf). Acesso em: 20 maio 2023.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. 4.ed. São Paulo: Humanitas, 2003.

CLAUDINO, E. S. TALAMINI, E. - **Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio - Uma revisão de literatura**. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.17, n.1, p.77–85, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/s43vSgWwdvCVxSsTf8Mw5C/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 29 abr. 2023.

COLTRO, L. - **Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão**. Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA / ITAL 2007. Disponível em: <https://ital.agricultura.sp.gov.br/cetea/acv-instrumento-de-gestao>. Acesso em: 05 maio 2023.

CURRAN, M.A. **Environmental life cycle assessment**. New York: McGraw-Hill, 1996. 431 p. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02978949>. Acesso em: 15 maio 2023.

EPE; IEA. **A indústria de papel e celulose no Brasil e no mundo – panorama geral**. 2022. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-650/Pulp%20and%20paper\\_EPE+IEA\\_Portugu%C3%AAs\\_2022\\_01\\_25\\_IBA.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-650/Pulp%20and%20paper_EPE+IEA_Portugu%C3%AAs_2022_01_25_IBA.pdf). Acesso em: 31 out. 2023.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Online data FAOSTAT. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>. Acesso em: 31 out. 2023.

FARIA, H. M. **Uma discussão a respeito dos benefícios econômicos da gestão ambiental**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Escola Federal de Engenharia de Itajubá – MG, 2000. Disponível em: [https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3062/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o\\_20008201117.pdf](https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3062/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_20008201117.pdf). Acesso em: 27 abr. 2023.

FERRÃO, P.C. **Introdução à gestão ambiental: a avaliação do ciclo de vida de produtos**. IST Press, 1998.

FERREIRA, A. C. S.; BUFONI, A. L.; MUNIZ, N. P. **Utilização do modelo ISAR/UNCTAD: uma análise comparativa**. Pensar Contábil, 9 (35):27-34, 2007. Disponível em: <http://www.atena.org.br/revista/ojs-2.2.3-08/index.php/pensarcontabil/article/view/10>. Acesso em: 01 jun. 2023.

FERREIRA, M. A. JABBOUR, C, J. C. JABBOUR A. B. L. S. **Maturity levels of material cycles and waste management in a context of green supply chain management: an innovative framework and its application to Brazilian cases**. J Mater Cycles Waste Manag. 2017. 19:516–525 p. Disponível em:

<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/171932/2-s2.0-84937110127.pdf?sequence=1>. Acesso em: 30 maio 2023.

GRAEDEL, T. E; ALLENBY, B. R; CONRIE, P. R. **Matrix Approaches to Abridged Life Cycle Assessment. Environmental Science & Technology**, v. 29, n. 3, 6 p.1995.

GRAEDEL, T., SAXTON, E., 2002. **Improving the Overall Environmental Performance of Existing Telecommunications Facilities**. International Journal of Life Cycle Assessment 7 (4), pp. 219-224.

GERHARDT, T. E., SILVEIRA D. T. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/52806/000728684.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 mar. 2023.

GOMES, Luiz Flavio Autran M. **Princípios e Métodos para Tomada de Decisão Enfoque Multicritério**. Disponível em: Minha Biblioteca, (6th edição). Grupo GEN, 2019.

GRIPPI, S. **Lixo, reciclagem e sua história: Guia para as prefeituras brasileiras**. 1 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

JAIME, S.B.M. - **ACV de Embalagem de Vidro para Sistemas Retornável e Descartável**. 2007 Disponível em: [https://scholar.google.com.br/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=pt-BR&user=fKeoxNcAAAAJ&citation\\_for\\_view=fKeoxNcAAAAJ:2osOgNQ5qMEC](https://scholar.google.com.br/citations?view_op=view_citation&hl=pt-BR&user=fKeoxNcAAAAJ&citation_for_view=fKeoxNcAAAAJ:2osOgNQ5qMEC). Acesso em: 20 maio 2023.

JESWANI *et al* - **Options for broadening and deepening the LCA approaches**, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652609003229>. Acesso em: 15 abr. 2023.

KEOLEIAN, G. A. **The application of life cycle assessment to design**. Journal of Cleaner Production, v. 1, pp. 143-149, 1994. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/095965269390004U>. Acesso em: 13 maio 2023.

KULAY, L. A. **Uso da análise de ciclo de vida para a comparação do desempenho ambiental das rotas úmida e térmica de produção de fertilizantes fosfatados**. 2004. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-26102017-112209/pt-br.php>. Acesso em: 27 maio 2023.

LIN *et al* - **Resource utilization and ionization modification of waste starch from the recycling process of old corrugated cardboard paper**, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479720309592>. Acesso em: 27 maio 2023.

LNBR - CNPEM. **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)** – Campinas, 2021. Disponível em: [https://lnbr.cnpem.br/wp-content/uploads/2021/07/Avaliacao-do-Ciclo-de-Vida-ACV\\_FIM.pdf](https://lnbr.cnpem.br/wp-content/uploads/2021/07/Avaliacao-do-Ciclo-de-Vida-ACV_FIM.pdf). Acesso em: 20 out. 2023.

MANZINI, E., VEZZOLI, C., 2002. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. EDUSP, São Paulo.

MENDES, N.C. – **Métodos e modelos de caracterização para a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: análise e subsídios para a aplicação no Brasil**. São Carlos, 2013. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18156/tde-15102013-085143/publico/NataliaCrespoMendesDEFINITIVO.pdf>. Acesso em: 13 maio 2023.

MESTRINER, F. **A embalagem e as necessidades da sociedade humana**. Mauá, 2013. Disponível em: <https://maua.br/files/artigos/a-embalagem-e-as-necessidades-da-sociedade-humana.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

MORENO, Paulo Sérgio Rosalin. **A aceitação pelo consumidor por um produto de papel reciclado**. Araraquara, 2007. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente – Centro Universitário de Araraquara – UNIARA. Disponível em: <https://m.uniara.com.br/arquivos/file/ppg/desenvolvimento-territorial-meio-ambiente/producao-intelectual/dissertacoes/2007/paulo-sergio-rosalin-moreno.pdf>. Acesso em: 6 maio 2023.

NASCIMENTO, Carlos Eduardo Guedes do et al. **RELATÓRIO 1 – ÁGUA NA INDÚSTRIA**. 2017. Disponível em: <<https://www.edisciplinas.usp.br>>. Acesso em: 14 out. 2023.

OLIVEIRA B. M., SAADE M. R. M. **Contribuição à aplicação da análise do ciclo de vida na indústria siderúrgica: critérios para alocação de impactos**. 2010. Projeto (Graduação) - Departamento de Engenharia Ambiental. Vitória, Universidade Federal do Espírito Santo. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar?cluster=11552951508693020091&hl=en&oi=scholar>. Acesso em: 13 maio 2023.

ONDUFLEX. **Ecologia em embalagens**, 2012. Disponível em: <http://onduflex.com.br/papelao.html>. Acesso em: 27 maio 2023.

PASSUELLO, A.C.B. **Aplicação da Avaliação de Ciclo de Vida em Embalagens Descartáveis para Frutas: Estudo de Caso**. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do sul. 147p, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/12690>. Acesso em: 6 maio 2023.

PONCE, R. O. - **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORGÂNICO E CONVENCIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR: UM ESTUDO COMPARATIVO**. Jaboticabal, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/183461>. Acesso em: 13 maio 2023.



PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Disponível em: <https://www.feevale.br/Comum/midias/0163c988-1f5d-496f-b118-a6e009a7a2f9/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2023.

QUEIROZ, G. C.; GARCIA, E. E. C. **Reciclagem de sacolas plásticas de polietileno em termos de inventário de ciclo de vida**. *Polímeros*, vol. 20, n. especial, p. 401-406, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/DNXcY9YPsX3XtBYycxnHWNb/?lang=pt>. Acesso em: 23 abr. 2023.

ROY *et al* - **A review of life cycle assessment (LCA) on some food products**, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877408002793>. Acesso em: 23 abr. 2023.

SAATY, R. W. **THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS-WHAT IT IS AND HOW IT IS USED**. *Mat/d Modelling*, Vol. 9, No. 3-5, pp. 161-176, 1987 Printpd in Great Britain. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0270025587904738>. Acesso em: 1 out. 2023.

SAATY T. L.; VARGAS, L. G. **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process**. Second edition. 2012. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=6J9XI8I1qjwC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Models,+Methods,+Concepts+%26+Applications+of+the+Analytic+Hierarchy+Process&ots=ZPSZf7zX0v&sig=JbHLgYLrTwmB2LW-t7j\\_KawMvdU&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Models%2C%20Methods%2C%20Concepts%20%26%20Applications%20of%20the%20Analytic%20Hierarchy%20Process&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=6J9XI8I1qjwC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Models,+Methods,+Concepts+%26+Applications+of+the+Analytic+Hierarchy+Process&ots=ZPSZf7zX0v&sig=JbHLgYLrTwmB2LW-t7j_KawMvdU&redir_esc=y#v=onepage&q=Models%2C%20Methods%2C%20Concepts%20%26%20Applications%20of%20the%20Analytic%20Hierarchy%20Process&f=false). Acesso em: 13 out 2023.

SAATY, T. L. **Extending the Measurement of Tangibles to Intangibles**. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, Vol. 8, N. 1, p. 7-27, 2009. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=65N6FiNBMjEC&oi=fnd&pg=PT9&dq=Theory+and+Applications+of+the+Analytic+Network+Process:+Decision+Making+with+Benefits,+Opportunities,+Costs,+and+Risks.Theory+and+Applications+of+the+Analytic+Network+Process:+Decision+Making+with+Benefits,+Opportunities,+Costs,+and+Risks.&ots=x2\\_PzXnTLk&sig=ol4npepJ7vGHuLRoNcN2k\\_40eg&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=65N6FiNBMjEC&oi=fnd&pg=PT9&dq=Theory+and+Applications+of+the+Analytic+Network+Process:+Decision+Making+with+Benefits,+Opportunities,+Costs,+and+Risks.Theory+and+Applications+of+the+Analytic+Network+Process:+Decision+Making+with+Benefits,+Opportunities,+Costs,+and+Risks.&ots=x2_PzXnTLk&sig=ol4npepJ7vGHuLRoNcN2k_40eg&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 13 out 2023.

SILVA, G. A.; KULAY, L. A. **Avaliação do ciclo de vida**. In: VILELA JÚNIOR, A.; DEMAJOROVIC, J. (Org.). **Modelos e Ferramentas de Gestão Ambiental - Desafios e Perspectivas para as Organizações**. 1 ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2006. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5509247/mod\\_resource/content/3/PORT\\_Silva\\_Kulay\\_Avalia%C3%A7%C3%A3o%20do%20ciclo%20de%20vida%282006%29.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5509247/mod_resource/content/3/PORT_Silva_Kulay_Avalia%C3%A7%C3%A3o%20do%20ciclo%20de%20vida%282006%29.pdf). Acesso em: 15 abr. 2023.

SILVEIRA, M. A. (Organização). **Gestão da Sustentabilidade Organizacional: Inovação, Aprendizagem e Capital Humano**; Organização de Marco Antonio Silveira – Campinas, SP: CTI (Centro de Tecnologia da Informação “Renato Archer”), 2012. 242 pp. Disponível em: [https://www1.cti.gov.br/sites/default/files/images/pdf/publicacoes/livro\\_2.pdf#page=105](https://www1.cti.gov.br/sites/default/files/images/pdf/publicacoes/livro_2.pdf#page=105). Acesso em: 1 out 2023.

SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY. **Evolution and development of the conceptual framework and methodology of life-cycle impact assessment**. 1998. 14 p. Disponível em: [www.setac.org](http://www.setac.org). Acesso em: 23 abr. 2023.

SOUSA, D. C. G.; MATOS, L. L.; ARAUJO, M. K. S.; LIMA, E. V. **A importância da reciclagem do papel na melhoria da qualidade do meio ambiente**. 2023. Disponível em: [https://abepro.org.br/biblioteca/tn\\_sto\\_234\\_366\\_30516.pdf](https://abepro.org.br/biblioteca/tn_sto_234_366_30516.pdf). Acesso em: 30 abr. 2023.

SUBTIL, J. O. F. **Análise de Métodos de Avaliação Eco Eficiência**. São Paulo, 2015. 104 p. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-12072016-075105/publico/JoanadeOliveiraFerrazSubtilOrig15.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2023.

TSOULFAS, G. T.; PAPPIS, C. P. **A model for supply chains environmental performance analysis and decision making**. Journal of Cleaner Production, 16, 1647–1657, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965260800108X?via%3Dihub>. Acesso em: 2 out 2023.

VALLE, C.E. **Como se Preparar Para as Normas ISO 14000 – Qualidade Ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente**. São Paulo: Pioneira Administração e Negócios & ABIMAQ/SINDIMAQ, 1996.

VIDAL, A. C. F. **O mercado de papelão ondulado e os desafios da competitividade da indústria brasileira**. BNDES, 2012. Disponível em: [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1522/2/A%20set.35\\_O%20mercado%20de%20papel%C3%A3o%20ondulado\\_P.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1522/2/A%20set.35_O%20mercado%20de%20papel%C3%A3o%20ondulado_P.pdf). Acesso em: 31 out. 2023.

VIGON, B.W. (coord.). **Life-cycle assessment: inventory guidelines and principles**. Cincinnati, RREL / USEPA, 108 p. 1993 (EPA 1600 / R-92 / 245). Disponível em: [https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_Report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryID=124777](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_Report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryID=124777). Acesso em: 13 abr. 2023.

WILLIAMS, A. S. **Life Cycle Analysis: A Step by Step Approach**. 2009. Disponível em: <https://studylib.net/doc/8652839/life-cycle-analysis--a-step-by-step-approach>. Acesso em: 27 abr. 2023.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT - WBCSD. **An independent study on the sustainability of the pulp & paper industry**. Genebra, Suíça: WBCSD, 1996. 30 p. Disponível em: <https://www.wbcSD.org/contentwbc/download/2505/30771>. Acesso em: 9 abr. 2023.

YARWOOD, Jeremy M.; EAGAN, Patrick D. **Design for the Environment Toolkit: A competitive edge for the future**. Minnesota Office Of Environmental Assistance, 1998. 71 p. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=5a7025a427c770eae36b2b3c6285206ce7a39396>. Acesso em: 1 out 2023.

YOSHIMURA, K. S. O.; YOSHIMURA, H. N.; WIEBECK, H. **Avaliação do ciclo de vida de telha ecológica à base de papel reciclado**. Santo André, São Paulo. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.7.2, 2012 82–94 p. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/viewFile/308/248>. Acesso em: 30 maio 2023.

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO ADAPTADO PARA A MATRIZ DFE

O questionário abaixo foi utilizado para as pontuações da Matriz DFE, presente na seção 7.

### A – Pré-manufatura

Responda as questões de A1 a A5 escolhendo uma das 5 alternativas (a, b, c, d ou e).

#### A.1: Pré-manufatura X Materiais

Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) em andamento?

- a) 1 a 5% = 2 pontos
- b) 6 a 25% = 3 pontos
- c) 26 a 50% = 4 pontos
- d) >50% = 5 pontos
- e) 0% ou desconhecido = 0 pontos

Pontos totais para o elemento A1 da matriz:

#### A.2: Pré-manufatura X Consumo de Energia

Qual porcentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui práticas de conservação de energia formais em andamento?

- a) 1 a 5% = 2 pontos
- b) 6 a 25% = 3 pontos
- c) 26 a 50% = 4 pontos
- d) >50% = 5 pontos
- e) 0% ou desconhecido = 0 pontos

Pontos totais para o elemento A2 da matriz:

### A.3: Pré-manufatura X Resíduos Sólidos

Qual percentagem dos fornecedores da sua empresa responsáveis por este produto ou componente possui ISO 9000 ou ISO 14000 em andamento ou regularmente publicam relatórios ambientais da empresa?

- a) 1 a 5% = 2 pontos
- b) 6 a 25% = 3 pontos
- c) 26 a 50% = 4 pontos
- d) >50% = 5 pontos
- e) 0% ou desconhecido = 0 pontos

Pontos totais para o elemento A3 da matriz:

### A.4: Pré-manufatura X Efluentes Líquidos

Qual percentagem dos fornecedores da sua empresa para este produto ou componente possui um programa de conservação da água?

- a) 1 a 5% = 2 pontos
- b) 6 a 25% = 3 pontos
- c) 26 a 50% = 4 pontos
- d) >50% = 5 pontos
- e) 0% ou desconhecido = 0 pontos

Pontos totais para o elemento A4 da matriz:

### A.5: Pré-manufatura X Emissões Gasosas

Qual percentagem dos fornecedores da sua empresa para este produto ou componente possui um programa formal em andamento para a minimização das emissões gasosas?

- a) 1 a 5% = 2 pontos
- b) 6 a 25% = 3 pontos
- c) 26 a 50% = 4 pontos
- d) >50% = 5 pontos
- e) 0% ou desconhecido = 0 pontos

Pontos totais para o elemento A5 da matriz:

## B – Manufatura

### B.1: Manufatura X Materiais

Para esse produto ou componente:

|   | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. O uso de materiais recicláveis no seu produto é o maior possível?        | 1   | 0   |
| 2. Os materiais perigosos foram evitados ou minimizados?                    | 2   | 0   |
| 3. A quantidade de material utilizado foi minimizada?                       | 1   | 0   |
| 4. O número de diferentes tipos de materiais que são usados foi minimizado? | 1   | 0   |

Pontos totais para o elemento B1 da matriz:

### B.2: Manufatura X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. O processo de manufatura minimiza o uso intensivo de energia dos processos?   | 2   | 0   |
| 2. Os processos de manufatura usam co-geração, troca de calor ou outras técnicas para utilizar a energia que seria desperdiçada? | 2   | 0   |
| 3. O transporte entre a manufatura e os pontos de montagem foi minimizado?   | 1   | 0   |

Pontos totais para o elemento B.2 da matriz:

### B.3: Manufatura X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

|   | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. A perda de materiais foi minimizada e o reuso otimizado ao máximo durante a manufatura?  | 1   | 0   |
| 2. Os fornecedores de matéria-prima e componentes foram contatados para encorajá-los a minimizar as quantidades e tipos de embalagem dos seus produtos? | 1   | 0   |

|   |   |   |
|---|---|---|
| 3. Sua empresa maximizou as oportunidades de reusar e reduzir os resíduos de embalagens quando os componentes são transportados entre as instalações? | 1 | 0 |
|---|---|---|

|   |   |   |
|---|---|---|
| 4. A introdução intencional de todo chumbo, cádmio, mercúrio e cromo hexavalente foi evitada? | 2 | 0 |
|---|---|---|

Pontos totais para o elemento B.3 da matriz:

#### B.4: Manufatura X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. Foram investigadas alternativas para o uso de solventes e óleos tóxicos?  | 2   | 0   |
| 2. As oportunidades para captura e reuso dos subprodutos líquidos gerados durante o processo de manufatura foram investigadas? | 1   | 0   |
| 3. A geração de poluentes da água foram evitadas ou minimizadas?   | 2   | 0   |

Pontos totais para o elemento B.4 da matriz:

#### B.5: Manufatura X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

|   | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. A geração de gases que causam o aquecimento global e a destruição da camada de ozônio foram evitados?                            | 2   | 0   |
| 2. A geração de poluentes do ar perigosos foi evitada durante o processo de manufatura?   | 2   | 0   |
| 3. O uso de solventes, tintas e adesivos com altas taxas de evaporação de compostos orgânicos voláteis foi eliminado ou minimizado? | 1   | 0   |

Pontos totais para o elemento B.5 da matriz:

### C – Distribuição e Embalagem

#### C.1: Distribuição e Embalagem X Materiais

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. As opções de embalagens reusáveis foram exploradas para a distribuição entre as instalações da empresa?     | 1   | 0   |
| 2. As opções de embalagens reusáveis foram exploradas para a distribuição entre a empresa e seus fornecedores? | 1   | 0   |
| 3. Materiais reciclados são usados nas embalagens utilizadas para transporte e entrega do produto?             | 1   | 0   |
| 4. Materiais recicláveis são usados nas embalagens para transporte e entrega do produto?                       | 1   | 0   |
| 5. O número de diferentes tipos de materiais usados nas embalagens foi minimizado?                             | 1   | 0   |

Pontos totais para o elemento C.1 da matriz:

#### C.2: Distribuição e Embalagem X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. O material usado para embalagem é reutilizável ou de menor massa possível, mantendo as funções de transporte e embalagem final? | 5   | 0   |

Pontos totais para o elemento C.2 da matriz:

#### C.3: Distribuição e Embalagem X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. A embalagem foi desenvolvida para fácil separação entre os materiais possibilitando o reuso e a reciclagem? | 1   | 0   |
| 2. Os tipos de embalagem comumente usadas são recicladas?  | 2   | 0   |
| 3. Os materiais da embalagem são claramente marcados e facilmente identificados por tipo de material?          | 2   | 0   |



Pontos totais para o elemento C.3 da matriz:

#### C.4: Distribuição e Embalagem X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. A máxima prevenção quanto ao vazamento de líquidos perigosos durante o transporte foi tomada? | 5   | 0   |

Pontos totais para o elemento C.4 da matriz:

#### C.5: Distribuição e Embalagem X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. As embalagens para transporte e consumo não contém polímeros clorados ou plásticos que possam produzir emissões gasosas perigosas caso incinerados a baixas temperaturas? | 3   | 0   |
| 2. As embalagens para transporte e consumo não contém inibidores de chamas bromados que possam produzir emissões se incinerados a baixas temperaturas?                       | 2   | 0   |

Pontos totais para o elemento C.5 da matriz:

### D – Uso do Produto e Manutenção

#### D.1: Uso do Produto e Manutenção X Materiais

Para esse produto ou componente:

|   | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. O produto ou componente é facilmente desmontado para atualização, reparo ou reuso?   | 1   | 0   |
| 2. As partes deste produto ou componente estão prontamente disponíveis para reparo?   | 1   | 0   |
| 3. As barreiras potenciais para a reciclagem, como uso de aditivos, tratamentos metálicos em plásticos, aplicação de pinturas no plástico ou o uso de materiais de composição |     |     |

desconhecidas foram evitadas?

2 0

## D – Uso do Produto e Manutenção

### D.1: Uso do Produto e Manutenção X Materiais

Para esse produto ou componente:

Sim Não

3. O produto ou componente é facilmente desmontado para atualização, reparo ou reuso?

1 0

4. As partes deste produto ou componente estão prontamente disponíveis para reparo?

1 0

3. As barreiras potenciais para a reciclagem, como uso de aditivos, tratamentos metálicos em plásticos, aplicação de pinturas no plástico ou o uso de materiais de composição desconhecidas foram evitadas?

2 0

4. A composição e informação sobre as propriedades do produto são conhecidas?

1 0

Pontos totais para o elemento D.1 da matriz:

### D.2: Uso do Produto e Manutenção X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

Sim Não

1. O projeto do produto possibilita o mínimo consumo de energia durante o uso do produto?

2 0

2. Esse produto ou componente pode ter um ajuste de energia baseada na intensidade de atividade?

3 0

Pontos totais para o elemento D.2 da matriz:

### D.3: Uso do Produto e Manutenção X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. O projeto do produto evita o uso de componentes descartáveis como baterias e cartuchos?   | 1   | 0   |
| 2. Os elementos de ligação utilizados, como parafusos e prendedores por adesão, possuem o mesmo tipo de cabeça? O uso de adesivos e soldas foi evitado para partes unidas de forma a facilitar a desmontagem, reparo e reciclagem? | 2   | 0   |
| 3. O produto foi desenvolvido de forma a ser facilmente reparado e/ou atualizado preferencialmente à substituição total?   | 2   | 0   |

Pontos totais para o elemento D.3 da matriz:

#### D.4: Uso do Produto e Manutenção X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. O uso dos produtos evita a liberação de substâncias conhecidas por serem poluentes da água? | 5   | 0   |

Pontos totais para o elemento D.4 da matriz:

#### D.5: Uso do Produto e Manutenção X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

|   | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. A emissão de poluentes atmosféricos perigosos foi evitada durante o uso e manutenção do produto?   | 2   | 0   |
| 2. A emissão de gases que causam aquecimento global e a destruição da camada de ozônio foi evitada durante o uso e a manutenção do produto? | 3   | 0   |

Pontos totais para o elemento D.5 da matriz:

#### E – Fim de Vida

##### E.1: Fim de Vida X Materiais

Para esse produto ou componente:

Sim Não

|   |   |   |
|---|---|---|
| 1. Os materiais são facilmente reusados ou comumente reciclados?  | 1 | 0 |
| 2. Os materiais são de fácil separação e identificação por tipo?  | 1 | 0 |
| 3. Nenhum dos materiais utilizados precisam ser disposto como resíduo perigoso ?                          | 1 | 0 |
| 4. A introdução de chumbo, cádmio, mercúrio e cromo hexavalente nos materiais do produto foram evitadas ? | 2 | 0 |

Pontos totais para o elemento E.1 da matriz:

#### E.2: Fim de Vida X Consumo de Energia

Para esse produto ou componente:

|   | Sim | Não |
|---|-----|-----|
| 1. As partes de plástico e fibra podem ser seguramente utilizado parageração de energia, como na incineração?   | 2   | 0   |
| 2. Não apresentam nenhum material que precisa ser transportado como resíduo perigoso para aterros industriais? (i.e. energia adicional é requerida para transportar materiais de manejo especial) | 3   | 0   |

Pontos totais para o elemento E.2 da matriz:

#### E.3: Fim de Vida X Resíduos Sólidos

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. Existe infra-estrutura interna ou externa à empresa para recuperar/reciclar os resíduos sólidos?      | 2   | 0   |
| 2. O projeto do produto evita a ligação entre diferentes materiais que possa dificultar a sua separação? | 3   | 0   |

Pontos totais para o elemento E.3 da matriz:

#### E.4: Fim de Vida X Efluentes Líquidos

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. O produto foi desenvolvido de forma a recuperar líquidos perigosos durante a sua desmontagem? | 5   | 0   |

Ponto totais para o elemento E.4 da matriz:

#### E.5: Fim de Vida X Emissões Gasosas

Para esse produto ou componente:

|  | Sim | Não |
|--|-----|-----|
| 1. A liberação de substâncias que causam a destruição da camada de ozônio e/ou aquecimento global foi evitada durante a disposição final do produto ou componente? | 2   | 0   |
| 2. Os gases contidos no produto podem ser recuperados durante a desmontagem para que não sejam perdidos?   | 1   | 0   |
| 3. A liberação de poluentes atmosféricos foi evitada durante a disposição final deste produto ou componente?   | 2   | 0   |

Ponto totais para o elemento E.5 da matriz: