

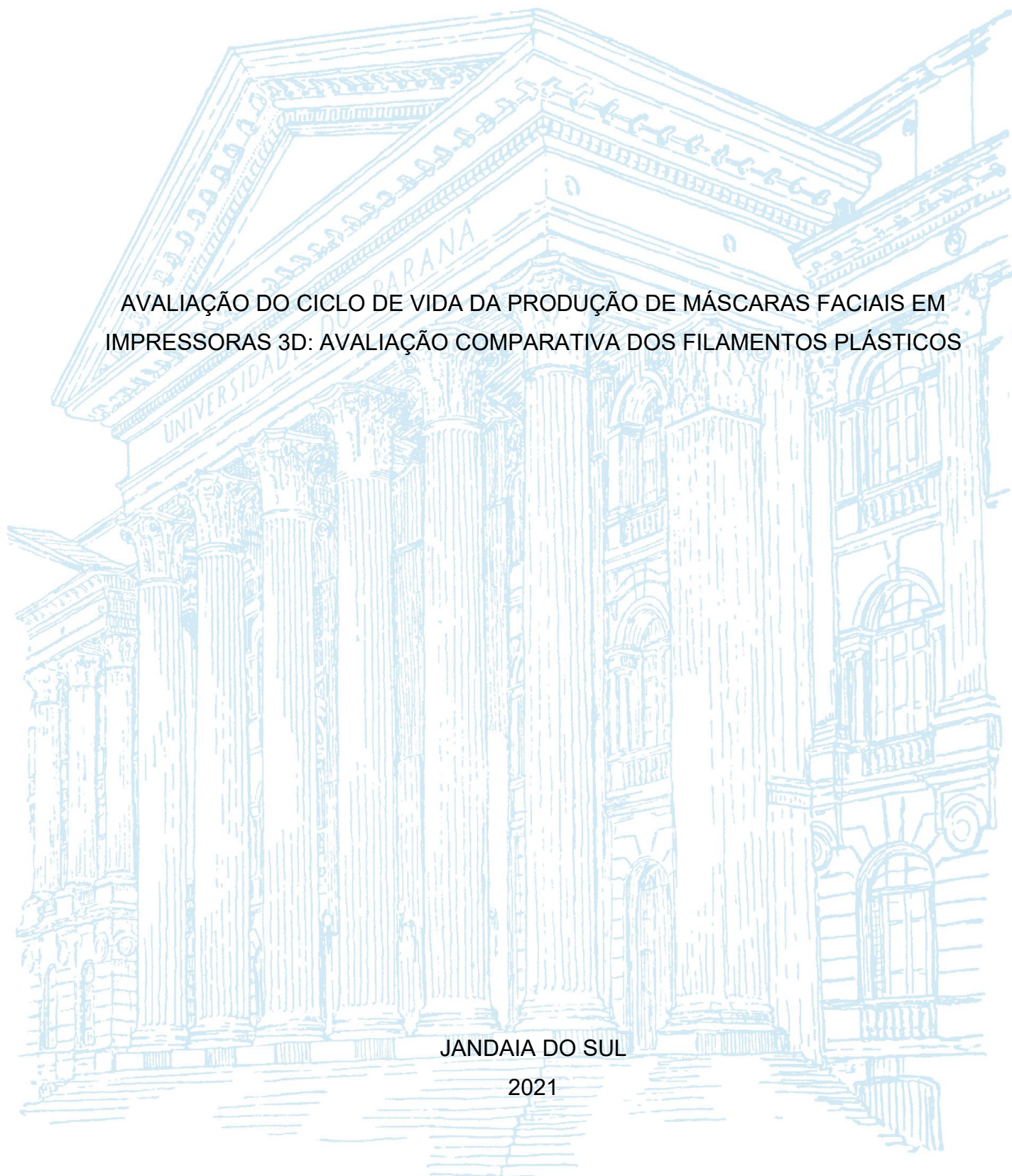
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ISADORA MARCELA DE CAMPOS

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE MÁSCARAS FACIAIS EM
IMPRESSORAS 3D: AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS FILAMENTOS PLÁSTICOS

JANDAIA DO SUL

2021



ISADORA MARCELA DE CAMPOS

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE MÁSCARAS FACIAIS EM
IMPRESSORAS 3D: AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS FILAMENTOS PLÁSTICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Produção, Campus de Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Giancarlo Alfonso Lovón-Canchumani

JANDAIA DO SUL

2021

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas/UFPR
Biblioteca do Campus Jandaia do Sul
Bibliotecária: Neide Olga S. Paula – CRB 9/1477

C198a Campos, Isadora Marcela de
Avaliação do ciclo de vida da produção de máscaras faciais em
impressoras 3D: avaliação comparativa dos filamentos plásticos /
Isadora Marcela de Campos. - Jandaia do Sul, 2021.
85f.

Orientador: Prof. Dr. Giancarlo Alfonso Lovón Canchumani
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Graduação
em Engenharia de Produção, Campus Avançado de Jandaia do Sul,
Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de Produção.

1. Avaliação de ciclo de vida. 2. Impactos ambientais. 3. Filamentos.
4. Máscaras faciais. I. Canchumani, Giancarlo Alfonso Lovón. II. Título.
III. Universidade Federal do Paraná.

CDD: 628.4



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PARECER Nº 044 ISADORA MARCELA DE CAMPOS/2021/UFPR/R/JA/CCEP
PROCESSO Nº 23075.079917/2019-87
INTERESSADO: ISADORA MARCELA DE CAMPOS

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE MÁSCARAS FACIAIS EM IMPRESSORAS 3D: AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS FILAMENTOS PLÁSTICOS

AUTORA: ISADORA MARCELA DE CAMPOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO DO GRAU NO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, APROVADO PELA SEGUINTE BANCA EXAMINADORA.

Dr. Giancarlo Alfonso Lovón Canchumani (orientador)

Dr. André Luiz Gazoli de Oliveira

Dr. Raimundo Alberto Tostes



Documento assinado eletronicamente por **GIANCARLO ALFONSO LOVON CANCHUMANI, VICE / SUPLENTE COORDENADOR(A) DE CURSO DE GRADUACAO (CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUCAO) - JA**, em 13/04/2021, às 11:02, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **ANDRE LUIZ GAZOLI DE OLIVEIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/04/2021, às 13:59, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **RAIMUNDO ALBERTO TOSTES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/04/2021, às 14:09, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **3436313** e o código CRC **69DFA604**.

Dedico esse trabalho aos meus pais e irmã, que sempre foram meus maiores apoiadores.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador deste trabalho, professor Dr. Giancarlo Lovón, por todo conhecimento compartilhado, confiança e apoio.

Aos professores André Gazoli e Raimundo Tostes por aceitarem o convite de compor a banca e assim, contribuir com o trabalho.

À UFPR, especialmente aos seus professores e servidores, que fizeram parte da minha trajetória e que de alguma forma contribuíram para a minha formação e desenvolvimento.

Ao Laboratório Makers e seus membros, por disponibilizarem recursos essenciais para o andamento do estudo. Em especial, o professor José Eduardo Padilha e o estudante João Victor Pereira.

Aos meus pais, Lourdes e Amauri Campos e minha irmã Letícia Campos, pelo incentivo constante e ensinamentos ao longo da vida.

Aos meus amigos, pela serenidade, compreensão e ajuda. Em especial Bruna Guedes, que esteve comigo desde o início da graduação. Aos demais, Camila Cassoli, Nathália Maioli, Isabela Castanho, Giovanna Ramos, Carolina Farinazzo, Isabela Moreira, Camila Freitas, Kimberlly Bento, entre outros, vocês foram essenciais no percurso.

A Deus, por me conceder saúde, luz e persistência.

“Quando uma criatura humana desperta para um grande sonho e sobre ele lança
toda a força de sua alma, todo o universo conspira a seu favor”.

(Goethe, J.)

RESUMO

A avaliação do ciclo de vida (ACV) permite avaliar e quantificar os impactos ambientais que estão relacionados a um determinado produto. Sendo conhecida ainda como “do berço ao túmulo”, por meio desta abordagem é possível analisar todas as fases do ciclo de vida desde a extração da matéria-prima, passando pela produção, distribuição, uso e disposição final, contemplando também a reciclagem e reuso. Nesse contexto, a pesquisa tem por objetivo avaliar os impactos ambientais gerados pelo filamento de plástico ABS usado na fabricação de máscaras de proteção facial utilizadas para o combate do COVID-19 feitas em impressoras 3D na UFPR Campus Jandaia do Sul. A produção de máscaras faciais se tornou imprescindível por conta da pandemia do Coronavírus e a necessidade de proteção. Para tanto, a metodologia utilizada é a ACV baseada nas normas ISO 14040 e 14044 que determinam a estrutura, os princípios, os requisitos e as diretrizes que devem constar no estudo para avaliar os impactos gerados por um produto ou processo produtivo. Para o tratamento dos dados foi utilizado o software SimaPro que auxilia nos cálculos e o método ReCiPe que avalia os impactos ambientais da fase de produção. Afim de realizar a comparação entre o filamento virgem e reciclado foram desenvolvidos três cenários, sendo o cenário 1 o real e a base para todo o estudo, utilizando o filamento virgem e os cenários 2 e 3 simulados, apresentando as características e informações necessárias para avaliar a utilização do filamento reciclado. Os resultados encontrados evidenciam que, a utilização de filamento reciclado durante a produção aditiva das máscaras ajuda a diminuir os impactos ambientais, principalmente nas categorias de recursos naturais e saúde humana. Além disso, é importante destacar que, ações destinadas a proteger o meio ambiente e a conscientizar sobre a importância de cuidá-lo tem efeitos positivos na sociedade.

Palavras-chave: Avaliação de Ciclo de Vida; Impactos ambientais; Filamentos; Máscaras faciais.

ABSTRACT

Life cycle assessment (LCA) allows you to assess and quantify the environmental impacts that are related to a given product. Also known as “from the cradle to the grave”, through this approach it is possible to analyze all stages of the life cycle from the extraction of raw material, through production, distribution, use and final disposal, also contemplating recycling and reuse . In this context, the research aims to evaluate the environmental impacts generated by the ABS plastic filament used in the manufacture of facial protection masks used to combat COVID-19 made in 3D printers at UFPR Campus Jandaia do Sul. The production of facial masks became essential due to the Coronavirus pandemic and the need for protection. For this purpose, the methodology used is the LCA based on the ISO 14040 and 14044 standards that determine the structure, principles, requirements and guidelines that must be included in the study to evaluate the impacts generated by a product or production process. For the treatment of the data, the SimaPro software was used, which helps in the calculations and the ReCiPe method, which assesses the environmental impacts of the production phase. In order to compare virgin and recycled filament, three scenarios were developed, with scenario 1 being the real one and the basis for the entire study, using the virgin filament and simulated scenarios 2 and 3, presenting the characteristics and information necessary to evaluate the use of recycled filament. The results found show that the use of recycled filament during the additive production of the masks helps to reduce environmental impacts, especially in the categories of natural resources and human health. In addition, it is important to highlight that, actions designed to protect the environment and to raise awareness about the importance of taking care of it have positive effects on society.

Keywords: Life Cycle Assessment; Environmental impacts; Filaments; Facial masks.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CICLO DE VIDA DO PRODUTO	26
FIGURA 2 - ESTRUTURA DE UMA ACV.....	35
FIGURA 3 - FASES DA ACV.....	36
FIGURA 4 - PROCESSO ELEMENTAR	37
FIGURA 5 - PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DE INVENTÁRIO	39
FIGURA 6 - METODOLOGIA AICV.....	42
FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO DE PROTETORES FACIAIS DO PERÍODO 03/2020 – 12/2020	48
FIGURA 8 - METODOLOGIA ACV.....	51
FIGURA 9 - IDENTIFICAÇÃO DO ESCOPO	52
FIGURA 10 - MODELAGEM DO CICLO DE VIDA DA MÁSCARA	53
FIGURA 11 - PEÇA IMPRESSA	54
FIGURA 12 - IMPRESSORA GTMAX3D CORE A1V2	54
FIGURA 13 - ACETADO FURADO E CORTADO	55
FIGURA 14 - ELÁSTICO	55
FIGURA 15 - MÁSCARA PRONTA	56
FIGURA 16 – MODELAGEM DA ÁRVORE DE FLUXOS 15%	59
FIGURA 17 – MODELAGEM DA ÁRVORE DE FLUXOS 2%	60
FIGURA 18 – CARATERIZAÇÃO DA AICV CENÁRIO 1	63
FIGURA 19 – ANÁLISE COMPARATIVA DOS CENÁRIOS 1, 2 E 3	66
FIGURA 20 – CATEGORIA DE DANOS CENÁRIOS 1, 2 E 3	67
FIGURA 21 – CATEGORIAS DE IMPACTO CENÁRIO 2, MIX DE PLÁSTICOS.....	69
FIGURA 22 – CATEGORIA DE IMPACTOS CENÁRIO 3, PET	71
FIGURA 23 – CATEGORIAS DE DANOS, CENÁRIO 1	73
FIGURA 24 – CATEGORIA DE DANOS, CENÁRIO 2.....	74
FIGURA 25 – CATEGORIA DE DANOS, CENÁRIO 3.....	75

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - <i>SOFTWARES</i> DE APOIO À ACV	45
QUADRO 2 - CENÁRIOS DE ESTUDO	49
QUADRO 3 – INVENTÁRIO	57
QUADRO 4 - PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS DO INVENTÁRIO	85

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CARATERIZAÇÃO DA AICV CENÁRIO 1.....	62
TABELA 2 – ANÁLISE COMPARATIVA DE AICV DOS CENÁRIOS 1, 2 E 3	65
TABELA 3 – CATEGORIA DE DANOS CENÁRIOS 1, 2 E 3	65
TABELA 4 – CATEGORIAS DE IMPACTO CENÁRIO 2, MIX DE PLÁSTICO	68
TABELA 5 – CATEGORIAS DE IMPACTO CENÁRIO 3, PET	70
TABELA 6 – COMPARAÇÃO CATEGORIA DE DANOS, CANÁRIOS 1 E 2	72
TABELA 7 – COMPARAÇÃO CATEGORIA DE DANOS, CENÁRIOS 1 E 3	72
TABELA 8 – COMPARAÇÃO CATEGORIA DE DANOS, CENÁRIOS 2 E 3	72

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
AB	– Acrilonitrilo, Butadieno, Estireno
ACV	– Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	– Avaliação de impacto do ciclo de vida
EPA	– <i>Environmental Protection Agency</i>
EPIs	– Equipamentos de Proteção Individual
GHANA	– Grupo de Apoio à Normalização
Ibict	– Instituto Brasileiro de Informação Científica e Técnica
ICV	– Inventário de Ciclo de Vida
ISO	– <i>International Organization for Standardization</i>
LCIA	– <i>Life Cycle Impact Assessment</i>
LCI	– <i>Life Cycle Initiative</i>
MRI	– <i>Midwest Research Institute</i>
ONGs	– Organizações não governamentais
PBACV	– Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida
PC	– Policarbonato
PET	– Polietileno Tereftalado
PETT	– Politereftalato de Trimetileno
PLA	– Poli ácido Lático
PNUMA	– Programa Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PR	– Paraná
Rede ACV	– Rede Empresarial Brasileira de Avaliação de Ciclo de Vida
REPA	– <i>Resource and Environmental Profile Analysis</i>
SETAC	– <i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SICV Brasil	– Banco Nacional de Inventário do Ciclo de Vida
TPC	– Copoliéster termoplástico
TPE	– Elastômeros termoplásticos
TPU	– Poliuretano termoplástico
UFPR	– Universidade Federal do Paraná
UnB	– Universidade de Brasília
USP	– Universidade de São Paulo
UTFPR	– Universidade Tecnológica do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

μm – micrômetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 JUSTIFICATIVA	18
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 Objetivo geral	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	20
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 SUSTENTABILIDADE	21
2.2 MANUFATURA ADITIVA.....	22
2.2.1 Principais filamentos usados em impressão 3D	23
2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV).....	25
2.3.1 Conceitos Gerais	25
2.3.2 Histórico do ACV	27
2.3.3 Usos e aplicações	30
2.3.4 Limitações	32
2.3.5 ACV e as Normas ISO.....	33
2.3.6 Fases da ACV	35
2.3.6.1 Definição do objetivo e escopo.....	36
2.3.6.2 Análise de inventário do ciclo de vida (ICV)	38
2.3.6.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)	40
2.3.6.4 Interpretação	43
2.3.7 <i>Softwares</i> para apoio à ACV	44
3 METODOLOGIA	47
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	47
3.2 OBJETO DE ESTUDO	47
3.2 COLETA DE DADOS	49
3.3 MÉTODO DE EXECUÇÃO.....	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1 OBJETIVO E ESCOPO	52
4.2 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA.....	56
4.2.1 AICV do cenário 1	58
4.2.2 Caracterização da AICV do cenário 1	61

4.2.3 Comparação dos cenários.....	64
4.3 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	76
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
REFERÊNCIAS.....	79
APÊNDICE 1	85

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais tem-se uma preocupação maior com o destino correto dos resíduos e também com as consequências que o destino incorreto pode trazer tanto ao meio ambiente, quanto a saúde humana. Assim, equilibrar o meio ambiente, a economia e o ambiente social garante qualidade de vida e faz com que os recursos naturais não sejam utilizados além da sua capacidade. Dessa forma, as empresas que visam a sustentabilidade têm um caráter mais competitivo e sabem aproveitar melhor as oportunidades que são expostas.

Porém, o não conhecimento prévio relacionado à exploração, processos produtivos poluentes e uso irracional de recursos naturais ainda são comuns. Isso corrobora para um aumento gradual da produção de resíduos que afetam o meio ambiente, ameaça à saúde humana e tem sérias consequências para as gerações futuras. Essas práticas são contrárias ao que é conhecido como desenvolvimento sustentável (SILVA, 2012).

O relatório “Nosso Futuro Comum”, também conhecido como Relatório Brundtland, publicado em 1987, definiu o conceito de desenvolvimento sustentável como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades” (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1991, p. 46).

Considerando a importância do comprometimento com as gerações futuras em relação ao desenvolvimento sustentável, Sonnemann (2007, apud SILVA, 2012) ressalta que é importante levar em conta todas as etapas do ciclo de vida dos produtos (bens e serviço), desde a extração dos recursos materiais e energéticos até a disposição final no meio ambiente, visão do berço ao túmulo.

A Avaliação do Ciclo de vida (ACV) de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2009a), permite listar os fluxos de entrada e saída de todos os materiais e energia do sistema do produto e também pode medir impactos ambientais potenciais desses fluxos no ambiente. Isso permite a tomada de decisões sobre oportunidades para melhorar o desempenho ambiental, a comparação de produtos ambientais e outras aplicações.

Diante disso, uma das oportunidades para melhorar esse desempenho ambiental é por meio da manufatura aditiva, a qual é uma proposta bastante ecológica,

já que, é um processo em que o material é adicionado em vez de removido, resultando em menos desperdício, menos contaminação e menores custos de produção. Isso mostra o quanto as empresas estão mudando sua maneira de pensar, investindo cada vez mais em processos e equipamentos com eficiência energética (CASAGRANDE, 2013).

O plástico é um material comumente utilizado na manufatura aditiva e nos últimos 50 anos tem sido um elemento chave no desenvolvimento de novos produtos e tecnologias. É uma indústria em constante evolução com possibilidade de inovação em diversas áreas da economia (OLIVEIRA, 2017). Como é um material muito versátil, econômico e durável, pode ser usado em vários setores industriais e para diversos fins, como cuidados de saúde, eletrônicos, carros e embalagens, promovendo o desenvolvimento de produtos e beneficiando a sociedade de várias maneiras (PLASTICS EUROPE, 2020).

A Universidade Federal do Paraná (UFPR) tem realizado atividades durante a pandemia e contribuído significativamente com a sociedade, fabricando grandes quantidades de máscaras faciais, modelo *Face-Shield*, que são doadas para os municípios com o objetivo de ajudar na proteção das pessoas. Entretanto, para que essa fabricação ocorra e que as máscaras cheguem no seu objetivo final há consumo de energia, materiais, além de resíduos que são gerados e que se não são descartados de forma correta, podem gerar grandes impactos ambientais a longo prazo. Desta forma, a ACV vem para analisar esses impactos e ajudar a encontrar uma maneira de produzir com o menor impacto ao meio ambiente.

Mediante todo o contexto abordado anteriormente, o presente trabalho busca abordar a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da produção aditiva de máscaras faciais na Universidade Federal do Paraná (UFPR) campus Jandaia do Sul – PR. Assim, definiu-se a seguinte problemática de pesquisa: **Qual o desempenho ambiental do filamento de plástico virgem e reciclado utilizado na produção de máscaras faciais ao longo do seu ciclo de vida?**

1.1 JUSTIFICATIVA

Fazer uso da destinação correta e separação do lixo permite o alcance de inúmeros benefícios, dentre eles: aumento da vida útil dos aterros, diminuição da poluição do ar e da água, preservação dos recursos naturais, economia de energia,

além de gerar emprego e renda para populações desprivilegiadas. Reciclar além de economizar energia, poupa recursos naturais e traz novamente ao ciclo produtivo aquilo que foi jogado fora.

A pandemia do Novo Coronavírus (COVID19) trouxe consigo um cenário totalmente atípico, com a necessidade de isolamento e distanciamento social e o uso indispensável de equipamentos de proteção individual, principalmente máscaras. Diante dessa falta de EPIs professores e alunos da UFPR Jandaia do Sul, com o apoio de pessoas de outros setores da UFPR se uniram para produzir e distribuir máscaras de proteção facial. Inicialmente o intuito do projeto era atender profissionais da saúde do Hospital das Clínicas da UFPR, mas o Projeto Jandaia Makers conseguiu entregar mais de 7000 máscaras em quatro estados brasileiros, sendo eles Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro e Rondônia.

A produção das máscaras de proteção facial ocorre por meio de manufatura aditiva e conceitos da cultura maker. Desta forma, um modelo foi desenvolvido e através do processo mecânico da impressora 3D várias camadas de filamento de plástico são sobrepostas uma à outra até formar o objeto projetado.

Considerando que um material em sua forma original como o filamento de plástico virgem gera um impacto ambiental, caso fosse utilizado o filamento de plástico reciclado para a produção, este também provocaria algum dano ao meio ambiente. A Comissão Europeia considera a ACV (Avaliação do Ciclo de Vida) como sendo a melhor tecnologia para avaliar o desempenho ambiental de um produto ou sistema (VIGNALI, 2017). Chehebe (2002) acredita que com ela é possível quantificar e comparar de forma integrada o desempenho ambiental dos produtos, ao passo que, para Coltro (2007) ela é importante porque aborda questões ambientais complexas de forma clara, gerando números que permite tomadas de decisão de forma objetiva.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar os impactos ambientais gerados pelo filamento de plástico utilizado na fabricação de máscaras de proteção facial para o combate do COVID-19 feitas em impressoras 3D e realizar a comparação

entre a utilização do filamento virgem e reciclado durante o processo produtivo e os impactos por eles gerados.

1.2.2 Objetivos específicos

Para conseguir atingir o objetivo principal deste trabalho, serão realizados os seguintes objetivos específicos:

- Apresentar o fluxo do processo da produção de máscaras faciais a partir de impressoras 3D;
- Quantificar a energia e materiais utilizados, além das descargas para o ambiente;
- Elaborar o inventário de ciclo de vida da produção de máscaras faciais a partir de filamentos reciclados;
- Comparar os impactos ambientais gerados por filamentos de plásticos virgem e reciclados.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para abordar o tema exposto e dos objetivos mencionados, o trabalho foi dividido em 5 capítulos.

O capítulo 1 apresenta uma contextualização do tema, traz o problema da pesquisa, a justificativa e os objetivos da pesquisa.

O capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica sobre questões como sustentabilidade, manufatura aditiva e avaliação de ciclo de vida.

O capítulo 3 mostra os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento da pesquisa.

O capítulo 4 conduz o estudo de ACV, que se encontra dividido em 4 partes.

Finalmente, no capítulo 5 contém as conclusões da pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Com a intenção de fundamentar teoricamente a pesquisa e de modo a atingir os objetivos propostos, serão apresentados os principais conceitos relacionados a pesquisa. Desta forma, foram estruturados os seguintes subcapítulos: sustentabilidade, manufatura aditiva e avaliação de ciclo de vida (ACV).

2.1 SUSTENTABILIDADE

Sustentabilidade, segundo Montibeller Filho et al. (2006, apud MITIDIERI, 2009) implica a noção de perpetuidade, algo que não termina, na concepção de que o que existe atualmente pode ser garantido no futuro. Possui uma forte conexão com questões ambientais, uma vez que o esgotamento de fontes e de recursos naturais, bem como a degradação do meio ambiente, têm consequências de longo prazo, comprometendo a continuidade dos processos socioeconômicos.

De acordo com Dias (2006, apud GUIMARÃES et al., 2011) o equilíbrio dinâmico da sustentabilidade ocorre em três dimensões:

- i) Sustentabilidade Econômica: garantir que a qualquer momento o fluxo de caixa seja suficiente para manter a liquidez da organização;
- ii) Sustentabilidade Social: agregar valor às comunidades em que as empresas operam, aumentando o capital humano de parceiros individuais. As empresas devem gerenciar o capital social de forma a permitir que as partes interessadas entendam a motivação da empresa e de forma geral concordem com o sistema de valores;
- iii) Sustentabilidade Ambiental: usar apenas recursos naturais que precisam ser consumidos a uma taxa abaixo da sua reprodução ou a uma taxa diferente inferior ao desenvolvimento dos seus substitutos, e que esses recursos não causem emissões que se acumulam no meio ambiente a uma taxa superior à capacidade de absorção e acumulação pelo sistema natural. Finalmente, a empresa não pode se envolver em atividades que degradam o ecossistema.

O conceito de sustentabilidade relacionado ao uso de recursos disponíveis possui um processo de construção histórico, que originou indicadores utilizados por diferentes nações (GUIMARÃES et al., 2011). No Brasil, os indicadores de

desenvolvimento sustentável fazem parte de um conjunto de esforços internacionais para implementar as ideias e princípios formulados na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, no que diz respeito à relação entre meio ambiente, sociedade, desenvolvimento e informações para tomadas de decisão (IBGE, 2015).

Nos últimos anos, questões ambientais têm sido objeto de discussão nas esferas políticas, acadêmicas e de consumo, aumentando assim a importância econômica das atividades relacionadas. Um dos maiores desafios do mundo neste milênio será fazer as empresas protegerem e melhorarem a qualidade do meio ambiente com padrões baseados na performance e no uso criterioso de instrumentos econômicos, dentro de um marco regulatório harmonioso, pois organizações que tomam decisões estratégicas integradas a questões ambientais ganharão vantagens competitivas significativas no mercado (TACHIZAWA, 2002, apud GUIMARÃES et al., 2011).

É cada vez mais importante que as empresas estejam cientes de que são parte integrante do mundo e não apenas consumidor dele. Reconhecer que os recursos naturais são limitados e que dependemos deles para a sobrevivência humana, a conservação da biodiversidade e o próprio crescimento econômico é fundamental para o desenvolvimento sustentável, implicando na utilização dos recursos naturais com qualidade e não em quantidade (WWF BRASIL, 2020).

2.2 MANUFATURA ADITIVA

De acordo com Huang et al. (2013, apud VEIT, 2018) Manufatura Aditiva é o processo de combinar materiais para criar objetos a partir de dados do modelo 3D, geralmente camada por camada. Também é conhecido como Manufatura Rápida ou Prototipagem Rápida e, ao contrário dos processos de manufatura convencionais (subtrativos), a manufatura aditiva cria a forma final adicionando materiais.

O processo começou a ganhar força e tornar-se objeto de novas pesquisas à medida que passou a ser utilizado na fabricação de peças em polímeros, embora fosse um processo demorado e tivesse algumas falhas, além de poder ser aplicado apenas em polímeros, já servia para demonstrar toda a capacidade que o processo poderia ter (OLIVEIRA, 2019).

Em síntese, a história da Manufatura Aditiva pode ser dividida em quatro correntes. A primeira delas é a prototipagem, ou seja, sua utilização de maneira tímida principalmente por universidades para criação de protótipos, porém com custos elevados tanto de equipamentos quanto de materiais. A segunda corrente trata das aplicações da Manufatura Aditiva. As pesquisas procuravam mostrar onde a Manufatura Aditiva poderia ser empregada no contexto das empresas, principalmente na área médica. Ao verificar que as aplicações eram pertinentes, a terceira corrente de pesquisas voltou-se para os materiais e equipamentos. Com a demanda por equipamentos em expansão, os preços começam a cair e a restrição fica por conta do alto custo e da variedade dos materiais que podem ser utilizados na Manufatura Aditiva. A corrente de estudos mais recente está voltada para a preocupação da substituição da Manufatura Aditiva aos processos de fabricação ditos “tradicionais”. (VEIT, 2018, p. 74).

Hoje, o processo de manufatura aditiva é bastante difundido e pode usar vários tipos de materiais como ABS, Nylon, cerâmicas e metal em pó. Também permite a produção desde peças simples com uma pequena quantidade de material e muito rapidamente, até peças com uma geometria e requisitos mais complexos (OLIVEIRA, 2019). “Além de possibilitar a criação de peças em um curto espaço de tempo, a impressão tridimensional possibilita a fabricação de peças precisas, tal precisão está relacionada a necessidade dos grãos do pó utilizado serem inferiores a 100,0 μ m” (GARCIA, 2010, p. 23).

Portanto, com a utilização de parâmetros e materiais adequados é possível produzir peças com resistência, acabamentos e tolerâncias dimensionais adequadas, incluindo peças com geometrias complexas que demandariam muito tempo em outros processos de produção, além da necessidade de utilizar diversos processos e ferramentas, tendo ainda como vantagem, a possibilidade de fazer peças únicas, sem a necessidade de conectar como por exemplo, por meio do processo de soldagem (OLIVEIRA, 2019).

2.2.1 Principais filamentos usados em impressão 3D

- **PLA:** segundo Brito et al. (2011, p. 132), “o poli (ácido láctico) – PLA é um poliéster alifático, termoplástico, semicristalino ou amorfo, bi compatível e biodegradável, sintetizado a partir do ácido láctico obtido de fontes renováveis”. Ainda segundo o autor, o ácido láctico utilizado na preparação do PLA vem de fontes naturais e renováveis como amido de milho, cana-de-açúcar, amido de batata, raízes de tapioca. De acordo com Allthat3d “este filamento de impressão 3D é mais amigo do ambiente em comparação com outros materiais plásticos”.

É considerado o material mais fácil de usar, por isso é muito adequado para iniciantes em impressão 3D (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

- **ABS:** de acordo com Francisco (2016, p. 16), “o polímero ABS é um copolímero obtido a partir de reações de três monômeros diferentes, sendo eles acrilonitrilo, butadieno e estireno”. O ABS é superior ao PLA em termos de propriedades mecânicas. É durável, forte e leve, suporta temperaturas mais elevadas e é ligeiramente flexível comparado ao PLA. Sua maior vantagem é ser o termoplástico mais barato do mercado para filamentos de impressão 3D (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).
- **PETG (PET, PETT):** O Polietileno Tereftalado (PET) é considerado o plástico mais utilizado no mundo, usado em garrafas de água e refrigerante o torna o mais conhecido das pessoas. O PET “bruto” não é amplamente usado na impressão 3D, no entanto possui um derivado conhecido como polietileno tereftalato modificado com glicol ou PETG, considerado por alguns como um bom meio termo entre PLA e ABS. É mais durável e flexível que PLA e mais fácil de imprimir que ABS (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017). Ainda segundo Besko et al. (2017), uma outra variante do PET é o Politereftalato de Trimetileno de polietileno (PETT), que é um pouco mais rígido que o PETG. É um filamento de impressora 3D popular por ser transparente.
- **Nylon:** Poliamida ou Nylon é uma classe de polímero interessante para aplicações em engenharia devido a uma combinação de propriedades como: estabilidade dimensional, boa resistência ao impacto sem entalhe e excelente resistência química (BASSANI, PESSAN, JÚNIOR, 2002). Segundo Besko, Bilyk e Sieben (2017), nylon ou “poliamida” é um polímero sintético muito popular e usado em muitas aplicações industriais. É um plástico barato, forte, leve e flexível em relação aos demais filamentos, além disso, é classificado como “primeiro lugar” de acordo com suas principais características.
- **TPE, TPU, TPC (flexível):** A principal característica desses filamentos de impressão 3D é que eles são flexíveis (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

Esses polímeros surgiram a partir da busca por menor densidade, menor custo de produção, maior produtividade, fácil adição de cor, reciclabilidade e melhor processabilidade em termos de elastômeros (Engenheiro de Materiais, 2016, não p.).

Ainda de acordo com Besko, Bilyk e Sieben (2017), TPE e TPU é indicado para objetos que exigem muito desgaste e precisam ser dobrados, esticados ou comprimidos. O TPC pode ser usado no mesmo ambiente, mas especialmente em ambientes mais hostis. A impressão com eles exige uma experiência maior do usuário.

- **PC (polycarbonato):** é um material termoplástico, também conhecido como PC dentre os filamentos convencionais, e é considerado o material mais resistente na impressão 3D. Tem a capacidade de suportar temperaturas de até 110° C, é muito durável e pode resistir a choques físicos e é transparente (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017). Ainda segundo o autor, seu uso é indicado para peças de dureza exigida, que conservem sua forma em ambientes de alta temperatura, bem como em objetos mecânicos ou automotivos, tem a possibilidade também de utilizar sua clareza óptica em projetos de iluminação ou telas.

2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

2.3.1 Conceitos Gerais

À medida em que cresce a consciência ambiental, indústrias e empresas passam a avaliar, cada vez mais, como suas atividades afetam o meio ambiente. Apresentar produtos e processos com desempenho ambiental tornou-se uma questão fundamental, por este motivo as empresas estão buscando formas de minimizar seus efeitos no meio ambiente. Diversas ferramentas foram desenvolvidas, tendo como objetivo melhorar o desempenho ambiental, sendo a ACV uma delas (EPA, 2006). A ACV fornece estrutura, abordagem e métodos para identificar e avaliar condições ambientais relacionados aos ciclos de vida de produtos e serviços (Curran, 2000).

Ainda segundo (EPA, 2006), o termo “ciclo de vida” se refere as principais etapas no percurso da vida do produto, que vai desde a aquisição da matéria-prima para fabricar o produto, passando pela produção, uso e manutenção, até o descarte, por meio de reutilização, reciclagem ou disposição final, conforme representado na figura 1.

FIGURA 1 - CICLO DE VIDA DO PRODUTO



FONTE: ADAPTADO DE UNEP (2007)

A visão de ciclo de vida veio como opção a visão convencional, onde os problemas ambientais eram vistos com foco apenas no processo produtivo, geralmente no estágio de manufatura dos produtos (SILVA, 2012). Isso leva a entender que, produtos são fabricados para cumprir uma função, podendo ser uma necessidade ou desejo da sociedade, e seu potencial de impacto ao meio ambiente não acaba ao final de sua cadeia produtiva. Desta forma, não há justificativas para que efeitos gerados durante o cumprimento da função, atividade e destino final deixem de ser considerados para a avaliação de desempenho do produto (SEO; KULAY, 2006).

Estabelecido a ideia de ciclo de vida, é possível definir ACV como um método eficiente de avaliar o desempenho ambiental de um produto no decorrer de todo seu ciclo de vida. Esta avaliação se dirige tanto a identificação de todas as interações entre meio ambiente e ciclo de vida de um produto, como avalia também os impactos ambientais possivelmente associados a essas interações (CURRAN, 1996 apud SEO; KULAY, 2006).

A ferramenta ACV é definida de acordo com a norma ISO 14040 como sendo uma “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” (ABNT, 2009a, p.

2). As entradas compreendem fluxo de produto, material ou energia, e as saídas envolve produtos e coprodutos, perdas de energia, descargas para água e solo, além de emissões para o ar (ABNT, 2009a).

A ACV é um método que permite entender melhor os efeitos ambientais totais e também identificar em quais etapas do ciclo de vida existe uma contribuição mais considerável para o impacto ambiental ou processo analisado. Utilizando a ACV é possível avaliar e implementar melhorias ou alternativas a produtos, processos e serviços, bem como, fazer declarações ambientais, além de, incluir aspectos ambientais no desenvolvimento de produtos (Ecodesign) (COLTRO, 2007).

2.3.2 Histórico do ACV

A ACV surgiu na década de 1960 durante a crise do petróleo, as pessoas estavam cada vez mais preocupadas com as limitações às matérias-primas e à energia consumida. Naquela época, diversos estudos foram conduzidos para prever o impacto do crescimento da população sobre as necessidades limitadas de material e energia. As previsões para o rápido esgotamento de combustíveis fósseis motivaram pesquisas mais detalhadas sobre o consumo de recursos energéticos não renováveis, enquanto outros avaliaram os custos e os efeitos ambientais de formas alternativas de energia (EPA, 2006).

Um dos exemplos mais marcantes nesta classe de iniciativas é o estudo realizado por Franklin & Associates em 1969 em nome da Coca-Cola Co., onde foram levantados o aumento do consumo de matérias-primas e energia dos processos de produção de embalagens do produto da empresa (FABI et al., 2004 apud Seo e Kulay, 2006). O estudo ambiental foi chamado de *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA), o trabalho foi dirigido pelo *Midwest Research Institute* (MRI), nos Estados Unidos, e os resultados da pesquisa serviram de base para a futura criação e desenvolvimento da ACV (Hunt e Franklin, 1996 apud Silva, 2012). Segundo Guinée (2011), em 1974 este modelo foi aperfeiçoado pelo MRI ao desempenhar um estudo encomendado pela *Environmental Protection Agency* (EPA), o que é tido como decisivo para o que hoje é conhecido como Análise do Ciclo de Vida.

Entre 1975 e 1980, no entanto, houve uma queda no interesse no que diz respeito ao consumo de energia, uma vez que, as preocupações tinham como foco o manejo de resíduos perigosos e domésticos. A situação mudou em 1985, quando a

Comunidade Econômica Europeia exigiu que as empresas monitorassem o consumo de energia e matérias-primas e a produção de resíduos sólidos durante o processo de produção, criando diretrizes para recipientes no setor de alimentos (CHEHEBE, 2002).

Quando os resíduos sólidos se tornaram um problema global em 1988, a ACV ressurgiu como uma ferramenta para analisar problemas ambientais. À medida que o interesse pelas questões que afetavam os recursos e o meio ambiente crescia, a metodologia foi utilizada novamente, refinada e ampliada, com a ajuda de consultores e pesquisadores de todo o mundo (EPA, 2006).

De acordo com Chehebe (2002), o Ministério do Meio Ambiente da Suíça solicitou testes de materiais de embalagens, que introduziu um sistema de ponderação (controle cúbico de volume) e geraram um banco de dados que serviram para outros estudos. Posteriormente, esses dados foram atualizados e o primeiro software para ACV em 1991, o *Ökobase I e II* foi criado.

Ainda segundo Chehebe (2002), o uso inadequado da ACV por várias empresas para apresentar amplas alegações de *marketing*, disseminar pesquisas baseadas em diferentes metodologias, observar diferentes resultados publicados, juntamente com a pressão de outras organizações ambientais, justificam a necessidade de uma padronização técnica.

A *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) é uma associação profissional de indivíduos e grupos que estudam questões ambientais. Sua fundação de educação ambiental foi amplamente responsável pelo desenvolvimento da técnica de ACV. Nos anos de 1991 e 1993 foi responsável pelas seguintes publicações “*Technical framework for life cycle assessment*” e “*Guidelines for life cycle assessment: a code of practice*” sobre a execução da técnica. Com base nas publicações e conceitos desenvolvidos pela SETAC, a partir de 1993 a ISO iniciou o processo de desenvolvimento de normas de ACV para padronizar o método, com a criação do Comitê Técnico TC-207 (RIBEIRO, 2009).

Desenvolver padrões internacionais para analisar o ciclo de vida foi um passo importante para estabelecer os procedimentos e métodos da ACV. Em 1997 foi publicada internacionalmente a primeira norma ISO sobre ACV, sendo a ISO 14040, as demais normas foram: ISO 14041 em 1998, ISO 14042 e ISO 14043 em 2000. Sua contribuição foi fundamental para a aceitação geral da ACV por todas as partes interessadas e pela comunidade internacional (FINKBEINER et al., 2006).

Em 2002, através de uma parceria entre o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e SETAC, firmou-se uma ação chamada *Life Cycle Initiative* (LCI). Dentre vários objetivos que justificam sua criação, a LCI propõe tratar a ACV através de três programas em todo o mundo. O primeiro desses programas foi chamado de Inventário de ciclo de vida e é dedicado ao desenvolvimento de uma metodologia para estruturar inventários ambientais (REBITZER, et al., 2004).

Ainda segundo Rebitzer (2004), o segundo programa criado pelo LCI, chamado de *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), é dedicado à consolidação da fase de avaliação de impacto, que abrange quase todos os estudos do ACV. A trilogia é complementada pelo programa *Life Cycle Management*, que visa estimular a inclusão de uma perspectiva de ciclo de vida em atividades inerentes à gestão de negócios, para aumentar o desempenho ambiental de produtos e serviços.

No Brasil, a história do ACV se inicia em 1993. Sob a coordenação de Hubmaier Andrade, Cícero Dias e José Ribamar Chehebe foi criado um subcomitê sobre este tema juntamente com o Grupo de Apoio à Normalização (GHANA), eram três militantes ambientais que detinham laços tanto com academia quanto com os negócios. Cinco anos depois ocorreu a primeira publicação especializada no tema, intitulada *Análise de Ciclo de Vida de Produtos: Ferramenta Gerencial da ISO 14000*, de autoria de José Ribamar Chahebe, fruto desse esforço (SEO; KULAY, 2006).

Em 2001, o Instituto Brasileiro de Informação Científica e Técnica (Ibict) iniciou pesquisas sobre ACV no Brasil e se tornou uma das principais instituições responsáveis por promover o desenvolvimento dessa técnica no país. Em 2006, o Ibict, em cooperação com a Universidade de Brasília (UnB), Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) criou o projeto “Lista do Ciclo de Vida da Competitividade Ambiental da Indústria Brasileira”, iniciando a criação do Banco Nacional de Inventário do Ciclo de Vida (SICV Brasil). O SICV Brasil é um banco de dados que centraliza e hospeda o inventário do ciclo de vida da produção industrial brasileira, permitindo que diferentes usuários de diferentes setores armazenem os inventários dentro do mesmo local (AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA, 2020).

Em 2010, foi instituído o Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV), uma iniciativa que envolveu várias instituições brasileira com o objetivo de promover a técnica de ACV no Brasil. A Rede Empresarial Brasileira de Avaliação de Ciclo de Vida (Rede ACV) foi fundada em 2013 e tem a participação de organizações

de todos os setores, visam incluir a ACV como uma técnica para determinar a sustentabilidade de processos e produtos. Já o ACV de A à Z é um programa de conscientização e treinamento direcionado aos tomadores de decisão que visa fornecer treinamento na abordagem do ciclo de vida para o desenvolvimento sustentável no país (AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA, 2020).

2.3.3 Usos e aplicações

Apesar da existência de várias ferramentas com objetivos semelhantes aos da ACV, nenhuma incorpora conceitos de ciclo de vida, como ACV (SILVA, 2012). De acordo com Chehebe (2002), com ela, acredita-se que é possível quantificar e comparar o desempenho ambiental de produtos de forma integrada, à medida que, para Coltro (2007), ela é importante porque aborda claramente problemas ambientais complexos, gerando números que permitem a tomada de decisão objetiva.

De acordo com UNEP (1996, apud RIBEIRO, 2009), os usuários primários da ACV são: indústrias e empresas comerciais, governos nacionais e locais, órgãos reguladores nacionais e intergovernamentais, organizações não-governamentais (ONGs) como grupos ambientais, organizações e associações comerciais e os próprios consumidores.

Segundo UNEP (1996, apud RIBEIRO, 2009), os principais usos da ACV na indústria são: apontar os pontos fortes e fracos do produto buscando melhorá-lo, fornecer informações para auxiliar no projeto de novos produtos, formulação da política da empresa, uso em negociações com fornecedores e governos, e formulação de estratégias de marketing.

Ainda de acordo com o mesmo autor, o governo pode usar a ACV para definir critérios de rotulagem ambiental, ajudar a decidir como introduzir subsídios e impostos para incentivar uma produção mais limpa e desenvolver políticas gerais, como a determinação de meios de transporte e combustíveis para a geração de eletricidade.

As ONGs podem usar os estudos da ACV para obter informações para os consumidores, fornecer uma base técnica para apoiar discussões e debates públicos e influenciar empresas e governos a melhorar suas políticas ambientais (UNEP, 1996, apud RIBEIRO, 2009).

O uso da ACV também pode ser classificado como interno ou externo, o que é uma distinção importante porque o nível de precisão necessário exigido depende do

objetivo de aplicação. Quando a técnica é usada para fins externos, é necessário mais cuidado nas escolhas de dados e metodologia do que para uso interno (HERSHAUER; BASILE; MCNALL, 2011, apud KUCZYNSKI, 2018).

Os usos internos incluem: planejamento estratégico ou desenvolvimento de estratégias ambientais, projeto de produtos e processos, identificação de oportunidades de melhorias, apoiar o estabelecimento de procedimentos ou especificações de compras, auditorias ambientais e minimização de resíduos. Como usos externos, temos: marketing ou suporte para declarações ambientais específicas, certificação, definição de políticas, comunicação e educação pública, e apoiar o estabelecimento de procedimentos ou especificações de compra (CONSOLI et al., 1993, apud RIBEIRO, 2009).

Para Chehebe (2002), a ACV pode ser amplamente utilizada. Do ponto de vista do autor, as principais aplicações são: promover uma melhor compreensão dos aspectos ambientais e ajudar a identificar pontos de melhoria, considerando todas as etapas da produção; apoiar estratégias de marketing, promovendo a organização e seus produtos e evitando declarações simplistas; auxiliar na tomada de decisão na indústria (design de produto ou processo, planejamento estratégico); avaliar o desempenho ambiental utilizando indicadores relacionados ao produto; além de ajudar na seleção de componentes feitos de diferentes materiais para compor um produto específico.

Para EPA (2006), conduzindo um estudo de ACV, você pode:

- Desenvolver uma avaliação sistemática do impacto ambiental associado ao produto;
- Analisar os compromissos ecológicos relacionados a produtos ou processos, a fim de obter aceitação das partes interessadas (estado, comunidade, etc.) para uma ação planejada;
- Medir as emissões ambientais para o ar, a água e o solo em cada etapa do ciclo de vida ou em um processo importante;
- Comparar os efeitos ambientais e à saúde entre produtos e processos concorrentes;
- Avaliar os efeitos humanos e ecológicos do consumo de recursos e liberações ambientais em nível local, regional e global;
- Identificar impactos em áreas específicas de proteção ambiental.

Em vista do exposto, sobre usos e aplicações da ACV, fica claro que, na busca pelo desenvolvimento sustentável, a ACV está se tornando uma parte importante desse processo. É fundamental que os usuários da ACV, além de desenvolver conhecimentos relacionados a esse tema, estejam preocupados em aplicá-los em seu campo de abrangência (SILVA, 2012).

2.3.4 Limitações

Apesar da padronização e da utilidade potencial da ACV, seu valor total raramente é visto no uso prático e apresenta limitações. Algumas das limitações do estudo da ACV incluem a precisão dos dados disponíveis e disponíveis para coleta, subjetividade na definição dos limites do sistema e a possível variabilidade espacial e temporal dos impactos avaliados. Além disso, a disponibilidade de dados e a variabilidade das definições de limites podem limitar a comparabilidade entre estudos de ACV (OLINZOCK et al., 2015).

A norma ISO 14040 considera que os principais problemas estão relacionados às decisões subjetivas, ou seja, à natureza da escolha feita no estudo de ACV. De acordo com a norma, as escolhas das restrições do sistema, a escolha da origem e idade dos dados e a escolha das categorias de impacto podem ser subjetivas, levando a uma perda da natureza objetiva da técnica (ISO, 2006a).

Além disso, não existe um método único de ACV, além da ISO, a SETAC e outras instituições conceituadas em seus países têm proposto estruturas conceituais para a realização de pesquisas. Os registros mostram que, para um mesmo caso, o uso de métodos diferentes pode levar a resultados diferentes, embora as diferenças entre os métodos não sejam muito grandes (SEO; KULAY, 2006).

Outro ponto importante é que a ACV não define qual produto ou processo possui melhores propriedades em termos de custo, funcionalidade e ética. Portanto, a aplicação desta técnica deve ser combinada com outros instrumentos analíticos, proporcionando informações mais completas para a gestão ambiental e tomada de decisões (EPA, 2006).

Outro obstáculo é a falta de bases de dados nacionais, o que faz com que muitos estudos de ACV no Brasil utilizem bases de dados internacionais. Dependendo da região, o uso dessas bases de dados pode distorcer os resultados da pesquisa de ACV ou deixar de considerar alguns aspectos importantes, levando à incerteza e,

portanto, à difícil tomada de decisão (ZOCHE, 2014). No entanto, esse quadro está mudando com a criação do Banco Nacional de Inventário de Ciclo de Vida (SICV Brasil), que foi criado para organizar, hospedar, e divulgar informações sobre o Inventário de Ciclo de Vida (ICVs) de produtos nacionais (AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA, 2020).

Pesquisas que examinam a ACV na perspectiva de profissionais da área revelam limitações para o uso e desenvolvimento de sua prática. As principais barreiras listadas são o tempo e os recursos envolvidos na coleta dos dados, a complexidade geral do modelo, a falta de demanda do cliente e a incerteza sobre o retorno do investimento (OLINZOCK et al., 2015).

2.3.5 ACV e as Normas ISO

Segundo Chehebe (2002, p. 8), as normas da série ISO 14040,

[...] definem requisitos gerais para a condução de ACV's e estabelecem critérios éticos para a divulgação dos resultados ao público. O propósito dessas normas é fornecer às empresas ferramentas para a tomada de decisão bem como a avaliação de alternativas sobre métodos de manufatura. Elas podem, também, ser usadas para dar apoio às declarações de rótulos ambientais ou para selecionar indicadores ambientais.

Inicialmente, as normas sobre Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) publicadas pela International Organization for Standardization (ISO) foram:

- ISO 14040 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework (1997);
- ISO 14041 – Environmental management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis (1998);
- ISO 14042 – Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment (2000);
- ISO 14043 – Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle interpretation (2000).

Em 2003, um grupo de trabalho composto por vários especialistas internacionais foi criado para revisar essas normas com o objetivo de melhorar a legibilidade, sem alterar os requisitos e o conteúdo técnico, apenas corrigir erros e inconsistências. Portanto, a ISO 14040 foi mantida como um documento modelo, e todos os requisitos técnicos foram transferidos para a nova ISO 14044 (FINKBEINER et al., 2006).

Assim, as duas normas revisadas foram publicadas em 2006:

- ISO 14040 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework (2006).

Apresenta os princípios e estrutura das fases da ACV e suas relações, relatórios e revisão crítica, limitações e condições para o uso de escolhas de valor e itens opcionais. Não detalha a técnica nem apresenta metodologias específicas para as fases do estudo (ABNT, 2009a).

- ISO 14044 – Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines (2006).

Explica os requisitos e fornece orientação sobre a pesquisa de ACV, incluindo as quatro fases da metodologia e suas dependências, relatórios e revisão crítica, limitações e condições para o uso de escolhas de valor e itens opcionais (ABNT, 2009b).

A série ISO 14040 ainda conta com três relatórios técnicos que exemplificam a aplicação das normas relativas à ACV, sendo eles:

- ISO/TR 14047 – Environmental management – Life cycle assessment – Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to impact assessment situations (2012)

Relatório Técnico que demonstra a prática atual da avaliação de impacto do ciclo de vida de acordo com a ISO 14044.

- ISO/TS 14048 – Environmental management – Life cycle assessment – Data documentation format (2002).

Uma especificação técnica que contém os requisitos e estrutura do formato de documentação de dados, permitindo documentação consistente, relatórios de coleta de dados, computação e qualidade de dados para definir e estruturar informações relevantes.

- ISO/TR 14049 – Environmental management – Life cycle assessment – Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to goal and scope definition and inventory analysis (2012).

Este é um relatório técnico que fornece exemplos de práticas para conduzir análises de ICV (Inventário de Ciclo de Vida), atendendo os requisitos da ISO 14044.

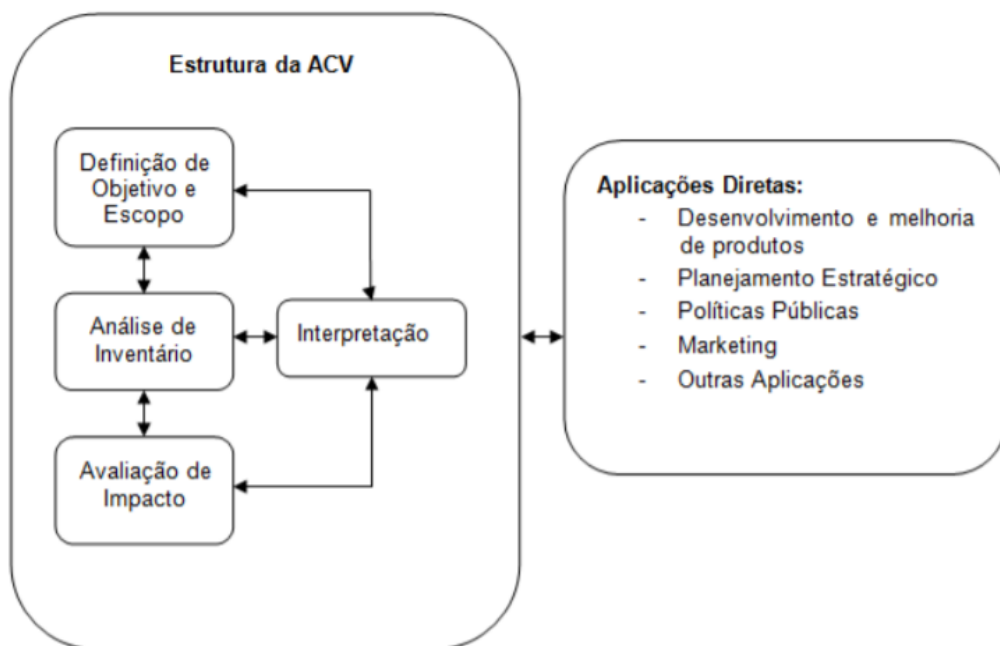
2.3.6 Fases da ACV

De acordo com a norma ISO 14040 (ABNT, 2009) a ACV é dividida em quatro fases para o estudo, sendo elas:

- a) Definição de objetivo e escopo;
- b) Análise de inventário;
- c) Avaliação de impacto; e
- d) Interpretação.

A figura 2 ilustra a relação entre as fases, baseadas na norma ISO.

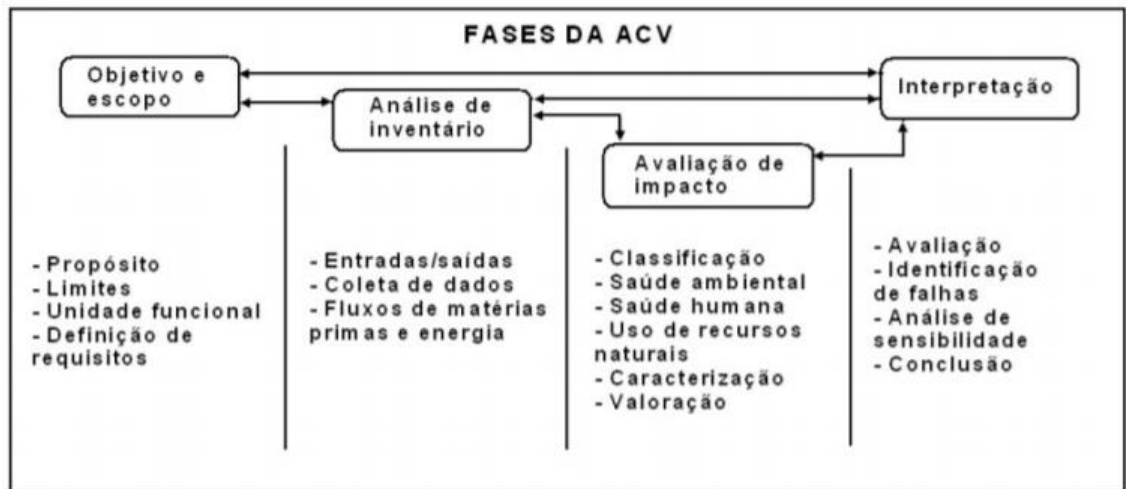
FIGURA 2 - ESTRUTURA DE UMA ACV



FONTE: ABNT (2009)

A figura 3 apresenta as fases da ACV com suas características e relações.

FIGURA 3 - FASES DA ACV



FONTE: CHEHEBE (2002)

2.3.6.1 Definição do objetivo e escopo

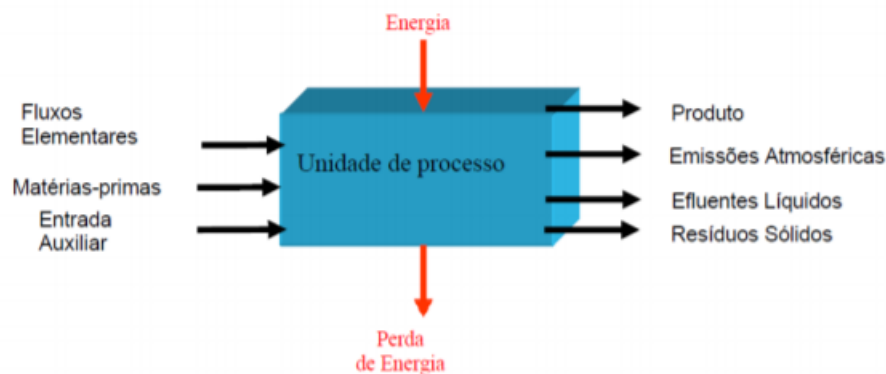
Conforme a ISO 14040 (ABNT, 2009a), o objetivo informa a aplicação pretendida, os motivos para a execução do estudo, público-alvo (a quem se pretende informar os resultados) e se existe a intenção de tornar público os resultados obtidos em afirmações comparativas.

O escopo, de acordo com a norma ISO 14044 (ABNT, 2009b), deve considerar e descrever claramente os seguintes itens:

- Sistema do produto a ser estudado: representa um conjunto de processos elementares com fluxos de material e energia que executam uma ou mais funções específicas e moldam o ciclo de vida do produto.
- Funções do sistema de produto ou no caso de estudos comparativos, dos sistemas: finalidade de uso do produto, ou seja, características de desempenho.
- Unidade funcional: unidade de referência para a qual as entradas e saídas do sistema são normalizadas. Caso o estudo envolva mais de um produto, a comparação só poderá ser feita se eles cumprirem a mesma função, quantificada com as mesmas unidades funcionais.
- A fronteira do sistema: determina quais processos elementares devem ser incluídos no sistema de produto a ser modelado e seu nível de detalhamento. De acordo com Ribeiro (2009), para facilitar a definição da fronteira do sistema e identificação da entradas e saídas, vale

descrever o sistema por meio de um fluxograma de processo, apresentando os processos básicos e suas inter-relações. Conforme apresentado na figura 4 e segundo a norma ISO 14040, um processo elementar é “o menor elemento considerado na análise de inventário do ciclo de vida para o qual dados de entrada e saída são quantificados” (ABNT, 2009a).

FIGURA 4 - PROCESSO ELEMENTAR



FONTE: OMETTO (2005)

Para Chehebe (2002), é importante identificar onde cada processo elementar começa incluindo o recebimento da matéria-prima ou produtos intermediários transformações e operações que fazem parte do processo elementar e onde termina com a destinação dos produtos intermediários e finais.

- Procedimento de alocação: usado quando o estudo abrange vários sistemas de produtos, reutilização ou reciclagem, portanto, as entradas e saídas devem ser divididas entre o sistema em estudo e outros, seguindo um procedimento predeterminado. O fator de alocação pode ser baseado em critérios físicos (massa ou energia) ou critérios econômicos (valor comercial dos produtos).
- Metodologia de AICV e tipos de impacto: definir categorias de impacto, indicadores das categorias e modelos de caracterização que devem ser incluídos na ACV.
- Interpretação a ser utilizada, de acordo com o que é definido no objetivo e escopo do estudo.
- Requisitos de dados: características dos dados do estudo.
- Pressupostos: considerações e suposições assumidos.

- Escolha de valores e elementos opcionais: normalização, agrupamento e ponderação.
- Limitações
- Requisitos de qualidade dos dados: deve abranger o âmbito temporal, geográfico e tecnológico, precisão, completeza, representatividade, consistência, reprodutibilidade, fontes de dados e incertezas de informações.
- Tipo de revisão crítica, se necessário: determinar como e quem será responsável por esta revisão para garantir que os métodos usados para conduzir a ACV atendam aos princípios e requisitos desta norma.
- Tipo de formato de relatório: apresentar os resultados e conclusões da ACV ao público-alvo de uma maneira abrangente, precisa e neutra.

Em termos simples, a norma ISO 14040 estabelece que o conteúdo mínimo do escopo de um estudo de ACV deve estar relacionado às suas três dimensões: extensões (onde começar e terminar o teste); largura (subsistemas incluídos); e a profundidade (nível de detalhe do estudo), devem ser definidas de forma consistente e aceitável para atender os objetivos (CHEHEBE, 2002).

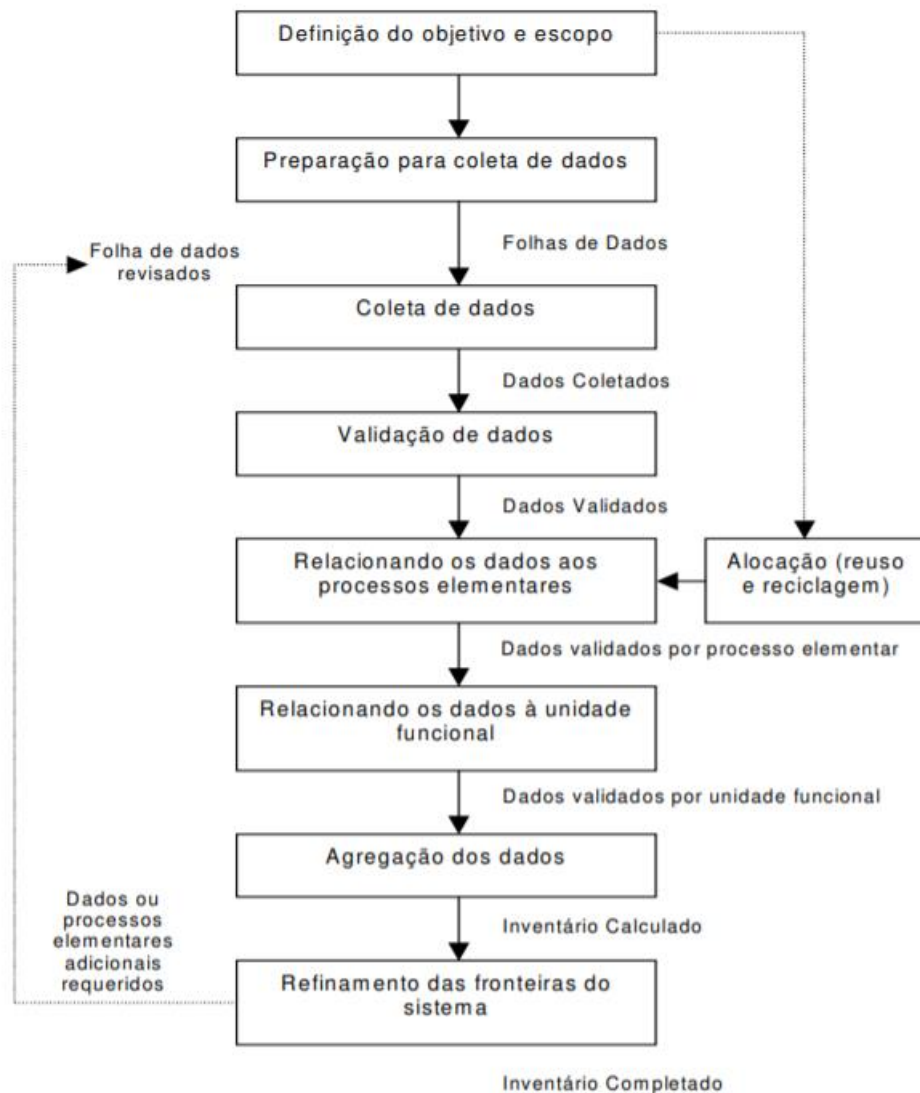
2.3.6.2 Análise de inventário do ciclo de vida (ICV)

A etapa anterior de definição de objetivo e escopo fornece um plano inicial para a realização do estudo. Já a etapa da Análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV) envolve procedimentos de coleta e cálculo de dados que visam quantificar as entradas e saídas do sistema, que podem ser classificadas em: entradas de energia, matérias-primas, auxiliares e outras entradas físicas; produtos, coprodutos e resíduos; emissões atmosféricas, efluentes líquidos e lançamentos no solo; e outros aspectos ambientais. A construção do ICV é iterativa e tendo em vista que o conhecimento do sistema aumenta à medida que os dados são obtidos, as definições de objetivo e escopo devem ser atualizadas sempre que necessário (RIBEIRO, 2009).

Ainda segundo Ribeiro, das quatro fases que compõem a metodologia de um estudo de ACV, a elaboração do ICV é a mais onerosa em termos de tempo e recursos financeiros.

A norma ISO 14044 (2006b) indica métodos de forma mais detalhada para execução da etapa de análise de inventário, como apresentado na figura 5.

FIGURA 5 - PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DE INVENTÁRIO



FONTE: ABNT (2009B)

A coleta de dados requer alguns cuidados para garantir que as informações que serão solicitadas às empresas sejam claramente compreendidas. Essas medidas devem incluir o desenvolvimento de fluxogramas de todos os processos básicos e suas inter-relações, uma descrição de cada processo e listagem de dados relacionados, uma lista indicando as unidades de medida utilizadas, definição de coleta e métodos de cálculo para cada categoria de dados e dando instruções sobre como documentar casos específicos e irregularidades (CHEHEBE, 2002).

Ainda segundo o autor, a coleta de dados pode ser feita através de medições locais, aplicação de questionários específicos, literatura e normas técnicas, estatísticas e licenças ambientais, fornecedores reais ou potenciais, informações internas da empresa, cálculos teóricos e banco de dados de ACV.

Ressalta-se que na coleta de dados devem ser respeitados alguns parâmetros, como faixa de tempo (idade dos dados e período mínimo de coleta), cobertura geográfica (região indicada para coleta de dados) e cobertura tecnológica (combinação de tecnologias e identificação de diferenças tecnológicas para os processos analisados) (OMETTO, 2005).

Após a coleta dos dados, é necessário realizar cálculos para adequar os dados obtidos aos processos unitários e às unidades funcionais e avaliar sua qualidade (RIBEIRO, 2009).

Os resultados do ICV listam os aspectos ambientais de forma quantitativa, os quais poderão ser avaliados na próxima etapa para obter os impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida do produto em estudo (Luz, 2011, apud KUCZYNSKI, 2018).

2.3.6.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)

É um processo tanto qualitativo como quantitativo de compreensão e avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais, que se baseia nos resultados obtidos na análise do inventário, tendo em consideração os efeitos que podem ser causados ao ambiente e à saúde humana. O nível de detalhe, a escolha dos efeitos a serem avaliados e a metodologia utilizada dependem do objetivo e escopo da pesquisa (SEO; KULAY, 2006).

Por meio da utilização dos dados técnico-científicos, os dados do inventário são associados às categorias e indicadores de impacto ambiental por meio de três etapas obrigatórias: seleção, classificação e caracterização. Além destes três elementos obrigatórios, outros elementos opcionais de uma AICV incluem: normalização, agrupamento e ponderação (SILVA, 2012).

Ainda de acordo com Silva, a seguir cada elemento será descrito.

- Seleção: envolve a seleção de cada categoria de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização. Geralmente, as categorias de impacto são selecionadas primeiro e as outras duas são selecionadas

automaticamente ao selecionar o método de AICV para avaliar impactos. As categorias de impacto representam classes de problemas ambientais significativos que podem ser causados ou agravados por aspectos ambientais do produto em estudo.

- Classificação: refere-se à associação da carga do inventário ambiental com as diferentes categorias de impacto selecionadas na etapa anterior. Os resultados do ICV podem ser relacionados a uma ou mais categorias de impacto. Ao usar *softwares* de ACV, esta etapa é executada automaticamente, selecionando o método AICV.
- Caracterização: é feita usando fatores de caracterização que foram desenvolvidos de acordo com as propriedades das substâncias e as escalas de abrangência espacial (local, regional ou global) dos impactos.

Existem ainda os elementos opcionais que são definidos na sequência.

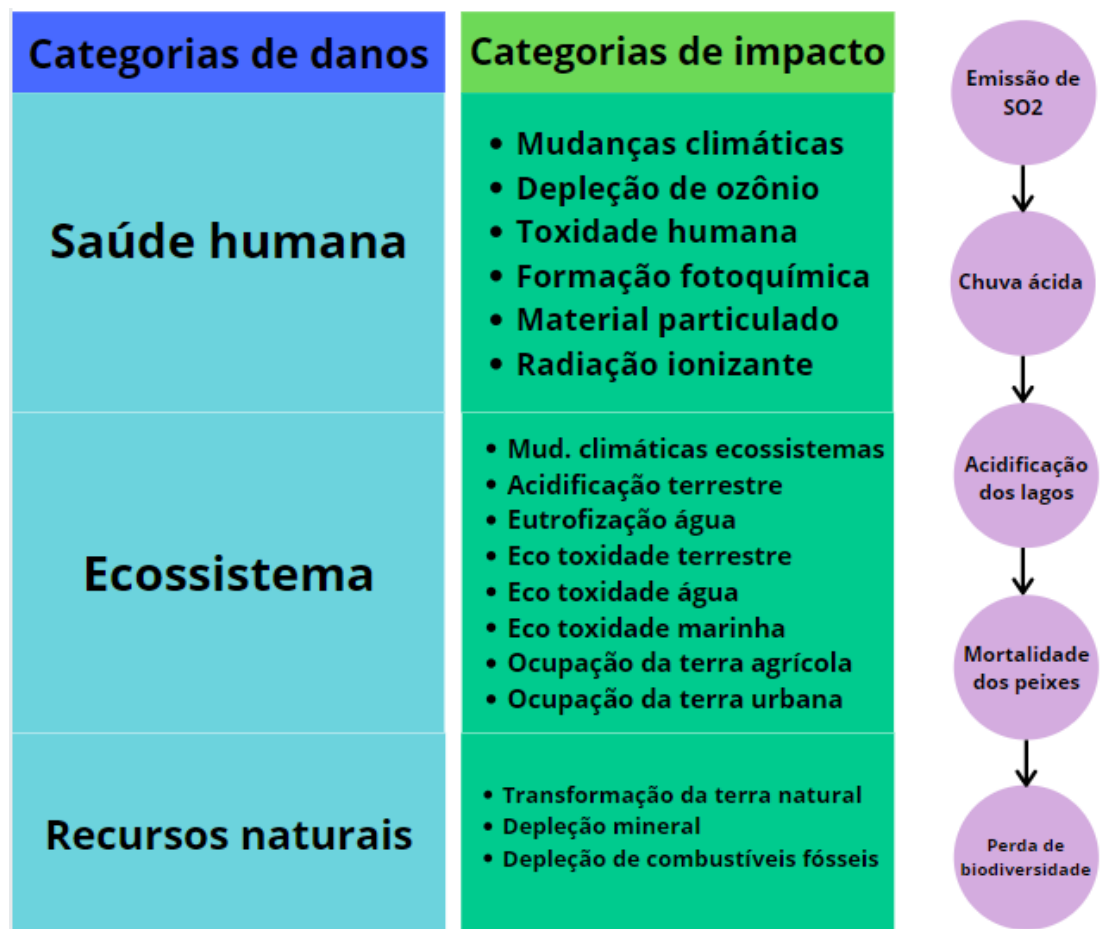
- Normalização: o objetivo de normalizar os resultados é permitir que todos os indicadores de impacto sejam recalculados em uma única base de referência para que os resultados possam ser comparados por categoria de impacto. No entanto, deve-se notar que os resultados normalizados nada têm a ver com a importância relativa dos efeitos ambientais avaliados.
- Agrupamento: de acordo com a norma ISO 14044 (ABNT, 2009b), pode ser feito de duas maneiras: em termos nominais (por características de entrada e saída ou escala local e regional); ou hierarquizar categorias, como por exemplo, ordem de prioridade.
- Ponderação: um peso (fator de ponderação) pode ser atribuído a cada categoria de impacto para destacar sua importância em relação as demais.

Para relacionar os resultados obtidos no inventário com os diferentes impactos ambientais se faz necessário a utilização de uma metodologia. A fim de realizar a Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) um exemplo de metodologia que pode auxiliar nesta avaliação é a ReCiPe, de origem Holandesa, foi desenvolvida em 2008

por meio de uma cooperação entre RIVM, Radboud University Nijmegen, Leiden University e PRé Sustainability.

Esta metodologia tem como objetivo principal converter uma longa lista de resultados do inventário do ciclo de vida em um número limitado de pontuações de indicadores. Essas pontuações do indicador apontam a gravidade relativa na categoria de impacto ambiental (GOLSTEIJN, 2012).

FIGURA 6 - METODOLOGIA AICV



FONTE: ADAPTADO DE LOVÓN-CANCHUMANI ET AL. (2015)

Vários métodos usados no AICV convertem as emissões de substâncias perigosas e extração de recursos naturais em indicadores de categorias de impacto de nível médio (*midpoint*), como acidificação, mudança climática e eco toxicidade, enquanto outros usam indicadores de categoria de impactos em nível ponto final (*endpoint*), como danos à saúde humana e qualidade do ecossistema. A existência de métodos intermediários e outros métodos finais pode ser justificada lavando-se em

consideração que a escolha do método está intimamente ligada ao produto/atividade avaliada (GOEDKOOOP et al., 2009).

As categorias de impacto que esta metodologia abrange são: mudança climática, depleção de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização aquática de água doce, eutrofização aquática marinha, toxicidade humana, formação de oxidantes fotoquímicos, formação de matéria particulada, eco toxicidade terrestre, eco toxicidade aquática de água doce, eco toxicidade aquática marinha, radiação ionizante, uso do solo agrícola, uso do solo urbano, transformação de terra natural, esgotamento de recursos fósseis, esgotamento de recursos minerais e esgotamento de recursos de água doce. (JOINT RESEARCH CENTRE, 2010; GOEDKOOOP et al., 2009 apud MENDES; BUENO; OMETTOA, 2013). A figura 16 mostra de maneira simplificada estas categorias de impacto.

2.3.6.4 Interpretação

De acordo com Seo e Kulay (2006), inclui a identificação e análise dos resultados obtidos na fase de inventário ou avaliação de impacto do estudo de ACV.

De acordo com a norma ISO 14044 (ABNT, 2009b), esta fase contém os seguintes elementos:

- a) Identificação de questões significativas: inclui a estruturação dos resultados do ICV e AICV para ajudar a identificar problemas ambientais significativos. Isso acontece iterativamente com a etapa de avaliação para levar em conta as consequências dos métodos usados, dos pressupostos adotados, etc. nas fases anteriores.
- b) Avaliações: para identificar e aumentar a confiabilidade dos resultados, este segundo elemento sintetiza o estudo com base nas fases anteriores de ACV e nos dados estruturados na identificação.

Para tal, três técnicas devem ser utilizadas:

- Verificação de completeza: visa garantir que os dados necessários e informações importantes para o estudo estejam completos e disponíveis. Informações incompletas ou ausentes podem resultar em no acréscimo de considerações ao relatório ou até mesmo uma revisão das fases anteriores.

- Verificação de sensibilidade: para avaliar o grau de confiança nos resultados e conclusões, são feitas alterações nos parâmetros-chave do ciclo de vida em estudo, para descobrir como e em que medidas pequenas mudanças nos dados afetam o resultado final. Métodos práticos, como criação e variação de cenários, podem ser usados para realizar essa análise.
 - Verificação de consistência: verifica a consistência das suposições, métodos e dados usados para o propósito geral do estudo.
- c) Conclusões, limitações e recomendações: a conclusão deve ser determinada iterativamente com base em outros elementos na fase inicial de definição e interpretação. Então, quando apropriado, recomendações devem ser feitas aos tomadores de decisão com base nas conclusões finais da pesquisa.

Após a conclusão do estudo, os resultados devem ser apresentados ao público-alvo na forma de um relatório, cujo tipo e formato são determinados na fase de definição de objetivo e escopo. Resultados, dados, metodologias, suposições e limites devem ser apresentados de forma clara e detalhada o suficiente para permitir que o leitor compreenda as complexidades inerentes ao estudo de ACV (ABNT, 2009b).

2.3.7 *Softwares* para apoio à ACV

A ACV é uma técnica muito complexa que requer muitos dados e consome muito tempo e recursos. Para facilitar os estudos de ACV, vários programas foram desenvolvidos para auxiliar no cálculo e retornar resultados mais confiáveis (RIBEIRO, 2009).

Para Mariotoni; Cunha; Baptistela (2007 apud RIBEIRO, 2009), os *softwares* são ferramentas que simplificam o gerenciamento de dados nesses estudos das seguintes formas:

- Fornecem um banco de dados, reduzindo o tempo necessário para a coleta de dados;
- Realizam avaliação de impacto e interpretação;

- São atualizados constantemente para acompanhar o desenvolvimento da técnica de ACV;
- Ajudam a expressar os resultados por meio de gráficos e tabelas.

Devido a essas muitas vantagens, é muito conveniente utilizar *softwares* para ACV.

De acordo com Zocche (2014), também deve ser considerado que cada *software* tem suas vantagens e desvantagens em termos de função e preço. Esses programas são projetados para ajudar os usuários a concluir etapas de ICV e AICV e para isso, devem ter facilidade de uso e capacidade de processar dados, além de serem capazes de produzir resultados com precisão e rapidez.

Os principais *softwares* de apoio de acordo com EPA (2006) e RIBEIRO (2009) são listados no quadro 1.

QUADRO 1 - SOFTWARES DE APOIO À ACV

Ferramenta	Vendedor	País
ATHENA™	The Athena Sustainable Materials Institute	América do Norte
BEES	National Institute for Standards and Technology (NIST)	EUA
The Boustead Model	Boustead Consulting Limited	Reino Unido
CMLCA	Centre of Environmental Science (CML) – Leiden University	Holanda
ECO-it	PRé Consultants B. V.	Holanda
EcaScan	TNO Industrial Technology	Holanda
EIO-LCA	Green Design Institute	EUA
GaBi	PE International GmbH	Alemanha
GEMIS	Oeko-Institut	Alemanha
GREET Model	The U.S. Department of Energy's Office of Transportation Technologies	EUA
IDEMAT	Delft University of Technology	Holanda
KCL-ECO	Ou Keskuslaboratorio-Centrallaboratorium Ab, KCL	Finlândia
LCAIT	CIT Ekologik	Suécia
LCAPIX	KM Limited	EUA
REGIS	Simum GmbH	Suíça
SimaPro	PRé Consultants B. V.	Holanda
SPOLD	Society for Promotion of Life-cycle Assessment Development	Dinamarca
TEAM™	Pricewaterhouse Coopers Ecobilan Group	França
Umberto	ifu Hamburg GmbH	Alemanha
WISARD™	Pricewaterhouse Coopers Ecobilan Group	França

FONTE: kuczynski (2018)

Como pode ser observado no quadro 1, dos 20 principais *softwares* listados, 15 foram desenvolvidos por países europeus. Esse grande número de *softwares* desenvolvidos na Europa confirma o nível avançado da tecnologia no continente, mostrando que seus países estão muito interessados em contribuir com pesquisas de ACV e fornecer dados relevantes e de qualidade (RIBEIRO, 2009).

O *software* SimaPro, por exemplo, foi desenvolvido pela Pré Consultants na Holanda. Este *software* possui dois bancos de dados principais sendo um para inventário e outro para avaliação. Inclui 2048 processos de manufatura distribuídos em vários bancos de dados, 500 produtos, 3800 sistemas de produtos, 508 inventários de materiais e 750 materiais (ZOCCHÉ, 2014).

3 METODOLOGIA

O presente capítulo apresentará como a pesquisa é classificada, a descrição do caso e, por fim, a metodologia utilizada.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Quanto à sua natureza, esta pesquisa é aplicada e tem objetivo exploratório, buscando gerar novos conhecimentos derivados do processo de pesquisa. De acordo com Mattar (1999 apud LIMA; SOGABE; CALARGE, 2008), a pesquisa exploratória visa fornecer ao pesquisador mais conhecimento sobre um tema ou problema de pesquisa, gerando maior familiaridade, conhecimento e compreensão de um assunto que antes era insuficiente ou inexistente.

Quanto à abordagem, classifica-se tanto como quantitativa por conta dos dados coletados e pelos dados do impacto gerado, como qualitativa referente as medidas mitigadoras. Também, conta com a utilização de *softwares* para simulações que ajudarão nas tomadas de decisão.

Além disso, quanto ao procedimento, a pesquisa assume a forma de um estudo de campo. Segundo Gonsalves (2001, apud PIANA, 2009, p. 169),

A pesquisa de campo é o tipo de pesquisa que pretende buscar a informação diretamente com a população pesquisada. Ela exige do pesquisador um encontro mais direto. Nesse caso, o pesquisador precisa ir ao espaço onde o fenômeno ocorre, ou ocorreu e reunir um conjunto de informações a serem documentadas [...].

3.2 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo são as máscaras faciais produzidas na Universidade Federal do Paraná – UFPR, Campus Jandaia do Sul – PR, laboratório Makers. O Campus Avançado Jandaia do Sul está em funcionamento desde o ano de 2014 e fica localizado à 384 km da capital Curitiba - PR, a cidade possui uma população de pouco mais de 20 mil habitantes.

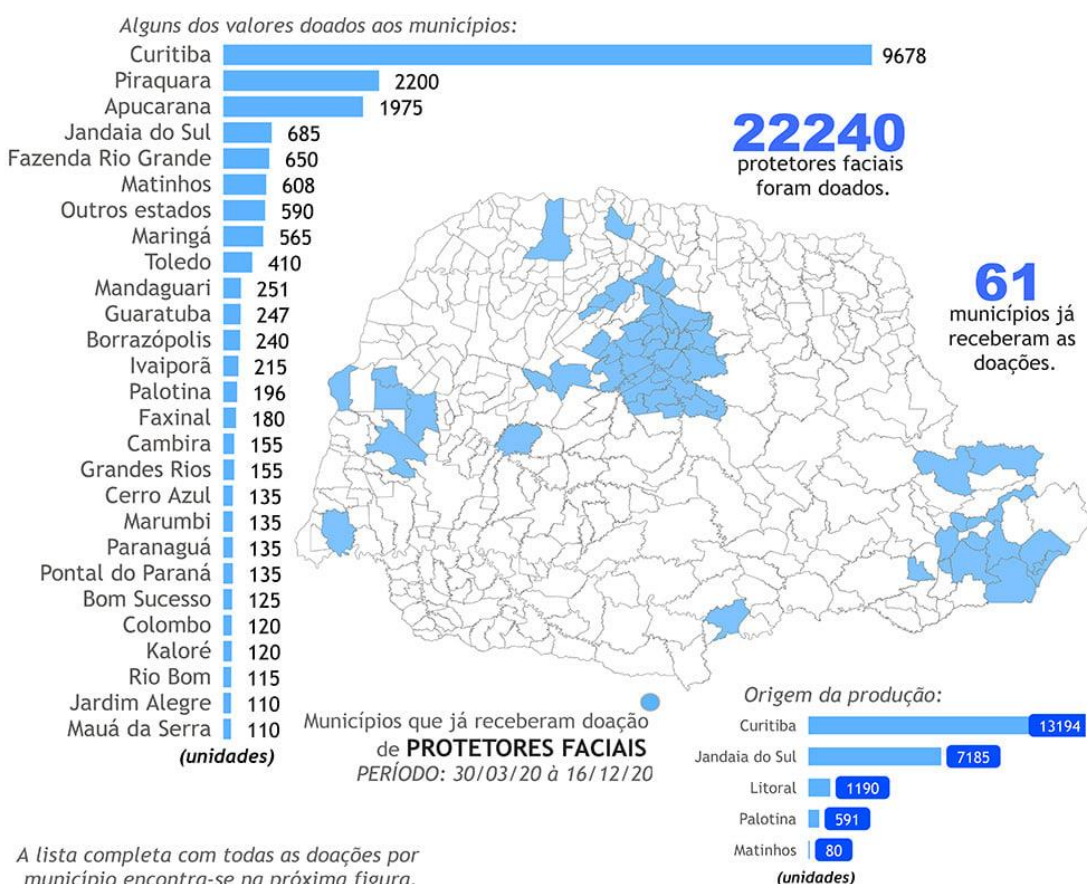
Dentre os diversos projetos desenvolvidos pela universidade, o Projeto de Extensão Jandaia Makers surgiu da necessidade de produção de máscaras faciais para profissionais da área da saúde que trabalham na linha de frente para o combate

do Novo Coronavírus (REDE COMBATE COVID-19 UFPR, 2020). O novo cenário atípico vivido pela população mundial exigiu adaptações, dentre elas o isolamento e distanciamento social e a utilização de equipamentos de proteção, principalmente a utilização de máscaras.

O projeto que no início, em março de 2020, tinha como objetivo atender os profissionais de saúde do Hospital das Clínicas da UFPR, atingiu maiores proporções e conseguiu entregar equipamento para quatro estados brasileiros, sendo Paraná, Rio de Janeiro, São Paulo e Rondônia. Na figura 6 podemos observar os municípios paranaenses contemplados pela ação.

FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO DE PROTETORES FACIAIS DO PERÍODO 03/2020 – 12/2020

Distribuição de Protetores Faciais Rede UFPR de Combate à Covid-19



Diante do exposto, o presente trabalho busca analisar a produção das máscaras faciais, tendo como foco explorar as emissões e resíduos gerados durante a fabricação e a comparação entre o uso do filamento virgem e do reciclado para a produção dessas.

Para o estudo foram considerados 3 cenários, conforme é apresentado no quadro 2. O cenário 1 corresponde ao cenário real e base do estudo, onde foi utilizado filamento de plástico virgem durante a produção. O cenário 2 corresponde ao processo da fabricação das máscaras a partir do uso do filamento feito de um mix de plásticos reciclados. Por fim, o cenário 3 refere-se à produção das máscaras a partir do uso do filamento feito de plástico de PET reciclado. Os cenários 2 e 3 são simulados.

QUADRO 2 - CENÁRIOS DE ESTUDO

Cenário	Tratamento
1	Filamento plástico virgem
2	Filamento mix plástico reciclado
3	Filamento PET reciclado

FONTE: A autora

3.2 COLETA DE DADOS

A coleta dos dados se deu por meio de visitas ao Laboratório Makers na Universidade e observação do processo de produção das máscaras na impressora 3D. Além disso, foram realizadas entrevistas com o responsável pelo projeto que descreveu todas as etapas do processo produtivo e forneceu todos os dados e informações para a realização da pesquisa.

Através das observações e entrevistas foi possível realizar a modelagem do sistema, delimitar o escopo do projeto e obter os dados para a elaboração do inventário.

Os dados primários foram coletados a partir do questionário de pesquisa, conforme observado no Apêndice 1, e de dados documentais do laboratório *Makers* do Campus Jandaia do Sul.

Os dados secundários, principalmente os do inventário de processos não elementares dos ciclos de vida foram obtidos do Banco de dados *Ecoinvent* do *Software* SimaPro 9.

A ACV envolve um estudo e levantamento minucioso de dados, o que demanda muito tempo e recursos. Podem ser citadas como limitações a falta de dados primários das fases anteriores aos processos elementares e a utilização de dados secundários, provenientes de bancos de dados, que não refletem por completo a realidade, mas foram adaptados para o presente estudo. Por conta do covid-19 não foi possível realizar visitas em empresas e muitos contatos realizados não tiveram retorno, desta forma, a única alternativa para comparar os filamentos foi utilizar dados teóricos.

3.3 MÉTODO DE EXECUÇÃO

Para o cumprimento dos objetivos e afim de facilitar o entendimento da estrutura e desenvolvimento da pesquisa o trabalho foi dividido em três etapas, sendo elas: Etapa 1: fase teórica (revisão bibliográfica); Etapa 2: fase metodológica; Etapa 3: fase empírica. Logo após a execução de todas as etapas foram elaboradas as conclusões e recomendações finais da pesquisa.

1. Fase teórica

A pesquisa teve início com uma ampla revisão bibliográfica sobre sustentabilidade, manufatura aditiva e avaliação do ciclo de vida. Esta tarefa serviu como base para evidenciar os pontos principais do trabalho.

2. Fase metodológica

Após a fase teórica, iniciou-se a pesquisa de campo na UFPR e o levantamento de dados.

Foram realizadas cerca de 3 visitas na universidade, em momentos distintos, afim de observar o processo de produção, entender as etapas do processo e coletar as informações pertinentes para a elaboração da pesquisa e inventário.

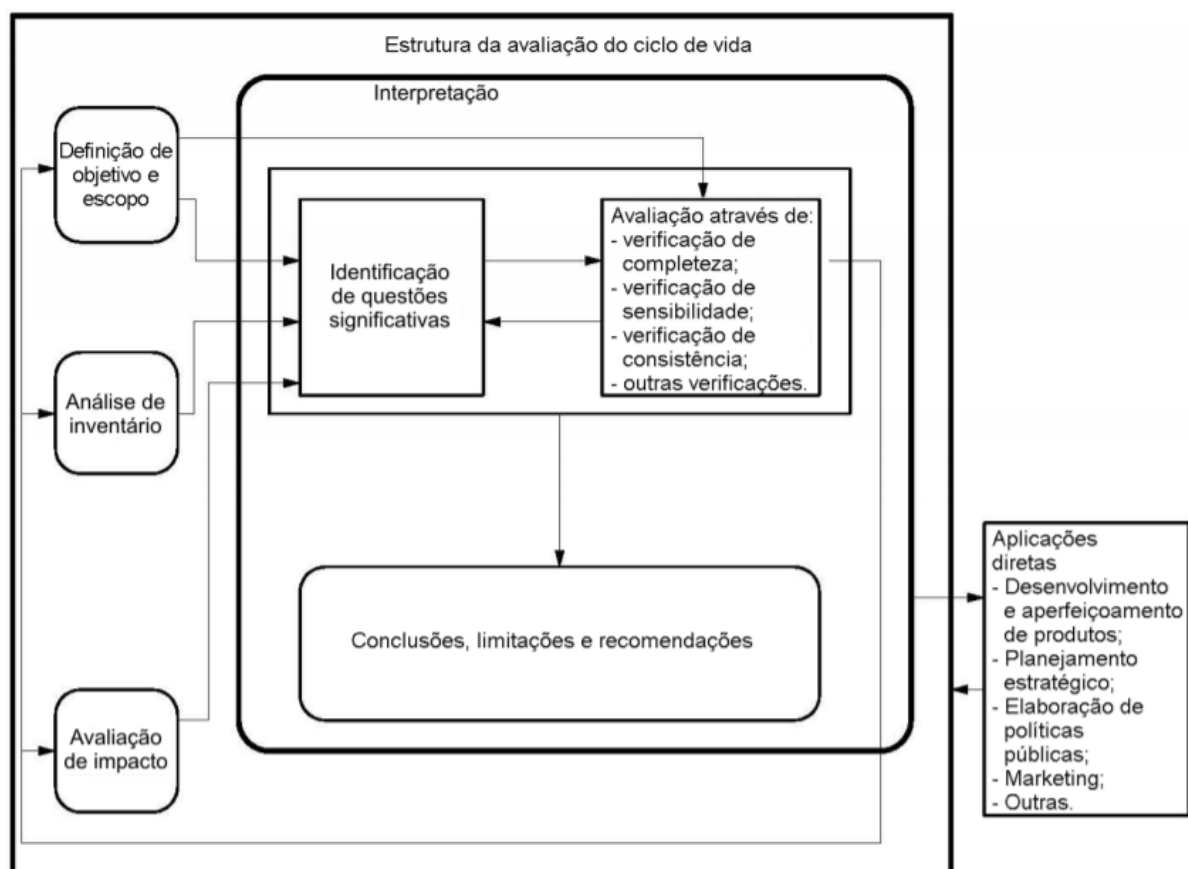
3. Fase de análise e conclusões

Após a pesquisa de campo e a coleta das informações foram desenvolvidos três cenários para a análise, sendo o primeiro o cenário real com a produção das máscaras a partir do filamento de plástico virgem e os dois seguintes simulados, sendo um deles com a produção das máscaras a partir do filamento feito de um mix de

plásticos reciclados e o último com o filamento feito a partir da reciclagem de garrafas PET. Isso tudo afim de comparar as informações e analisar os resultados da avaliação de impactos ambientais, para ponderar conclusões, resultados e recomendações da pesquisa.

O trabalho utiliza como base os princípios gerais das normas NBR ISO 14040 e 14044 que oferecem diretrizes para aplicação da ACV. A figura 7 mostra as etapas para execução da norma.

FIGURA 8 - METODOLOGIA ACV



FONTE: ABNT (2009)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Objetivo e escopo

Como apresentado anteriormente, o objetivo da pesquisa é avaliar os impactos ambientais gerados pela fabricação de máscaras faciais feitas no Laboratório Makers da Universidade Federal do Paraná – UFPR, Campus Jandaia do Sul e realizar uma comparação entre o filamento virgem e reciclado. O escopo do projeto está delimitado a produção das máscaras, como mostra a figura 9 e não há análises das fases anteriores ou posteriores.

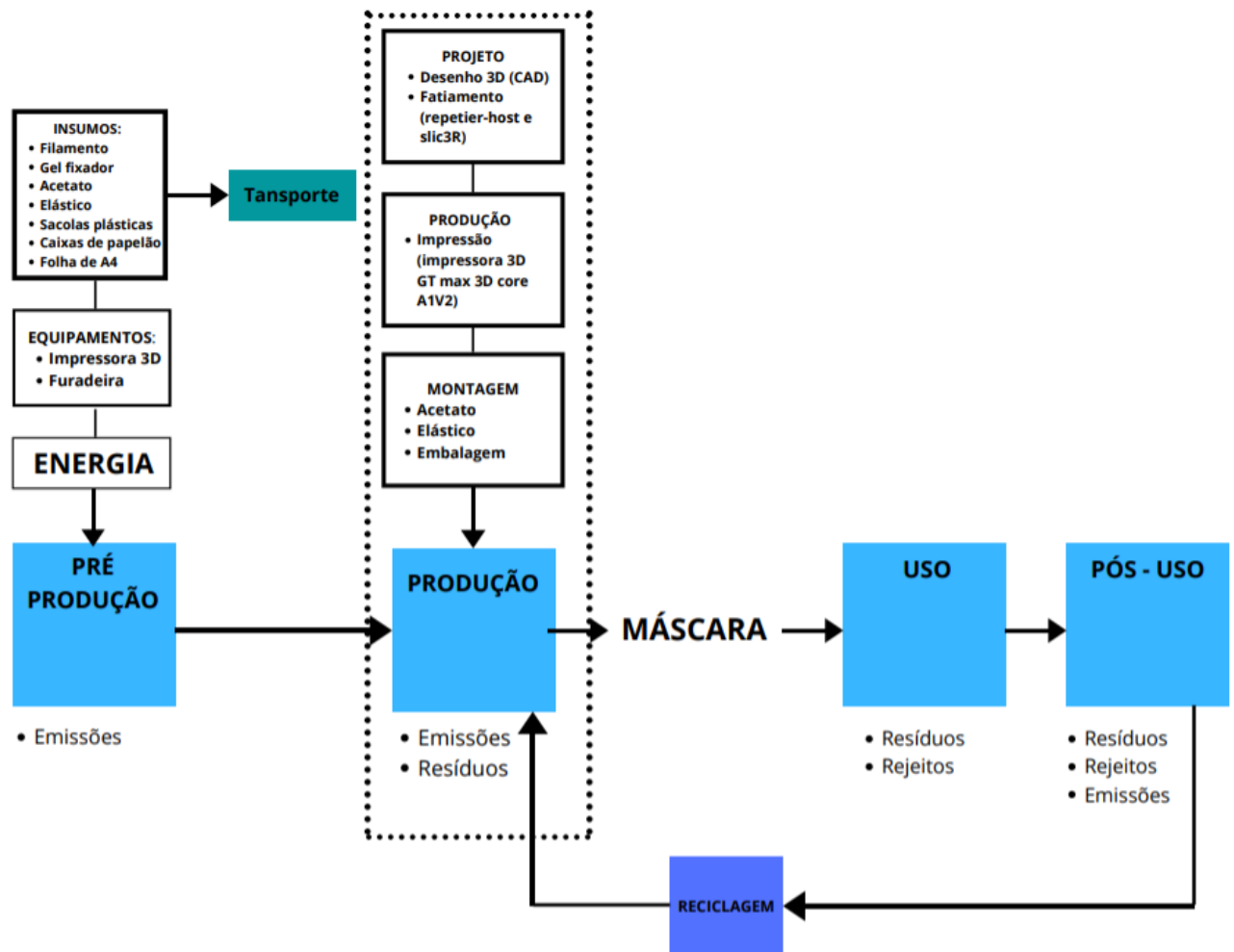
FIGURA 9 - IDENTIFICAÇÃO DO ESCOPO



FONTE: A AUTORA (2020)

Para uma melhor análise do processo foi realizada a modelagem do sistema, como mostra a figura 10. Nela é possível observar como se dá o ciclo de vida desde a pré-produção, produção, uso e pós-uso das máscaras.

FIGURA 10 - MODELAGEM DO CICLO DE VIDA DA MÁSCARA



FONTE: A AUTORA (2020)

As entradas de matéria e energia são consideradas como fluxos auxiliares, já que estão presentes de forma indireta no produto final.

Projeto – o projeto das máscaras ocorre no *software* CAD onde é feito o desenho 3D. Além disso, também são utilizados outros dois *softwares* sendo um deles responsável pelo fatiamento e posição da peça na impressora e o outro responsável pelas configurações de impressão como definição da altura das camadas, número de paredes verticais e camadas sólidas, densidade e tipo do preenchimento e definição da velocidade de impressão, além das configurações do filamento como diâmetro, taxa de extrusão, temperatura do extrusor e temperatura da mesa.

Produção – a produção da peça (figura 11) ocorre na impressora gtnmax3d core a1v2 (figura 12), nela é inserido um cartão SD contendo as informações antes configuradas nos *softwares*. Também, é feita uma higienização da mesa de impressão

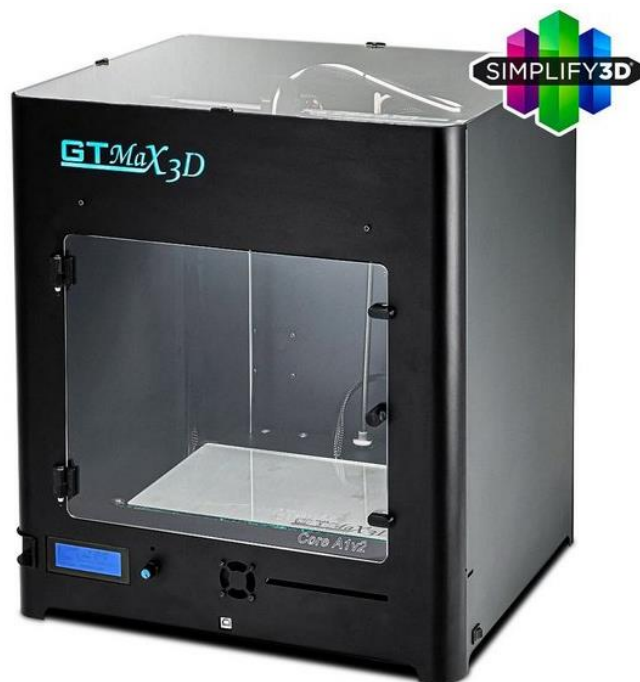
e utilizado um gel fixador para dar mais estabilidade e a peça não descolar durante o processo de impressão, em seguida é iniciado o processo de impressão. Os acetados utilizados são furados e é realizado um corte abaulado nas laterais, como mostra a figura 13, além disso, os elásticos são cortados no tamanho de 25 cm como apresentado na figura 14.

FIGURA 11 - PEÇA IMPRESSA



FONTE: A AUTORA (2020)

FIGURA 12 - IMPRESSORA GTMAX3D CORE A1V2



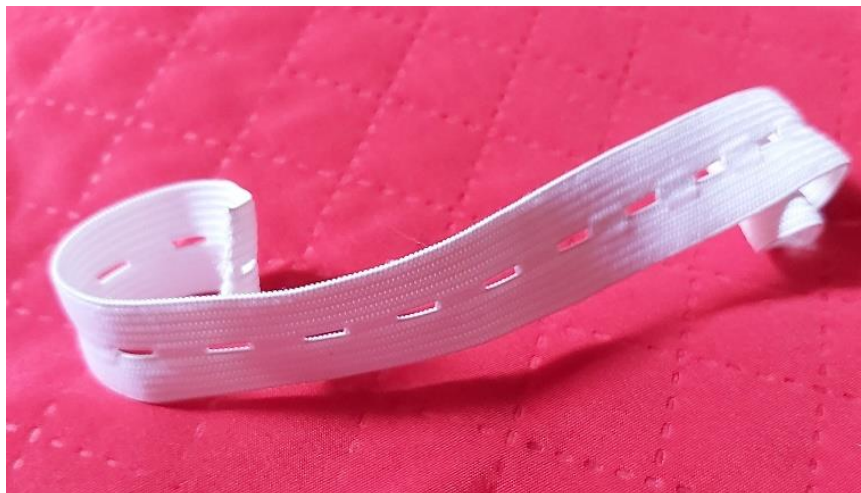
FONTE: GTMAX3D (2020)

FIGURA 13 - ACETADO FURADO E CORTADO



FONTE: A AUTORA (2020)

FIGURA 14 - ELÁSTICO



FONTE: A AUTORA (2020)

Montagem – durante a montagem é realizada a junção do acetado e do elástico na peça produzida pela impressora, como pode ser observado na figura 15. Na sequência a máscara é embalada.

FIGURA 15 - MÁSCARA PRONTA



FONTE: A AUTORA (2020)

A fronteira geográfica compreende os dados de produção obtidos no Laboratório Makers em Jandaia do Sul - PR e a fronteira temporal compreende a coleta de dados realizada de agosto a setembro de 2020.

Para o estudo foi utilizado a quantidade de 7185 máscara que foi a quantidade produzida pelo Laboratório Makers do campus de Jandaia do Sul no período de março a dezembro de 2020. A escolha dessa quantidade foi feita em função de seu uso ser representativo para todas as etapas do ciclo de vida da mesma. A quantidade de filamento utilizado para a análise foi de 90 kg gerando um total de 7185 peças impressas.

4.2 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

No inventário são representados os dados de entrada para a produção das máscaras faciais. O presente trabalho analisou somente a etapa da produção, não considerando as etapas de pré e pós.

A fase do inventário consiste na compilação de dados de entrada e saída relacionados ao sistema do produto, para isso foi utilizado o *software* SimaPro. Esta etapa consiste na coleta e cálculo dos dados visando quantificar todas as variáveis como matéria-prima, energia, transporte, emissões, resíduos, entre outros.

QUADRO 3 – INVENTÁRIO

Material	Valor	Unidade	Origem	Fase
Entradas				
Transporte Curitiba x Jandaia do Sul	34,578	tkm	Ecoinvent 3 com adaptações	Transporte
Transporte Londrina x Jandaia do Sul	6,758	tkm	Ecoinvent 3 com adaptações	Transporte
Transporte Aterro x Universidade	1,0152	tkm	Ecoinvent 3 com adaptações	Transporte
Elástico	13	kg	Ecoinvent 3 com adaptações	Produção
Filamento de plástico ABS	90	kg	Criação	Produção
Acetato	90	kg	Criação	Produção
Sacola plástica	22,5	kg	Ecoinvent 3 com adaptações	Embalagem
Papel sulfite	13,5	kg	Ecoinvent 3 com adaptações	Embalagem
Caixa de papelão	24,48	kg	Ecoinvent 3 com adaptações	Embalagem
Eletricidade	15866,88	kWh	Ecoinvent 3 com adaptações	Energia Elétrica

FONTE: A autora (2021)

Para avaliar os impactos do transporte, foram consideradas as distâncias da cidade de origem do insumo até o laboratório onde é utilizado para a produção das máscaras. Para isso, foram consideradas as distâncias Curitiba à Jandaia do Sul, Londrina à Jandaia do Sul e para a análise dos cenários 2 e 3 que envolve o plástico reciclado, também foi considerado a distância do aterro ao laboratório.

As máscaras faciais foram fabricadas pelo processo de manufatura aditiva. Os dados referentes a quantidade de filamento, acetato e elástico utilizados para a produção foram fornecidos pelo laboratório fabricante do produto.

Após o processo de fabricação, as máscaras são embaladas manualmente em sacolas plásticas e colocadas em caixas de papelão com capacidade de 50 máscaras cada uma. Além disso, são colocadas meia folha sulfite a cada cinco máscaras. Os dados referentes a etapa de embalagem também foram fornecidos pelo laboratório.

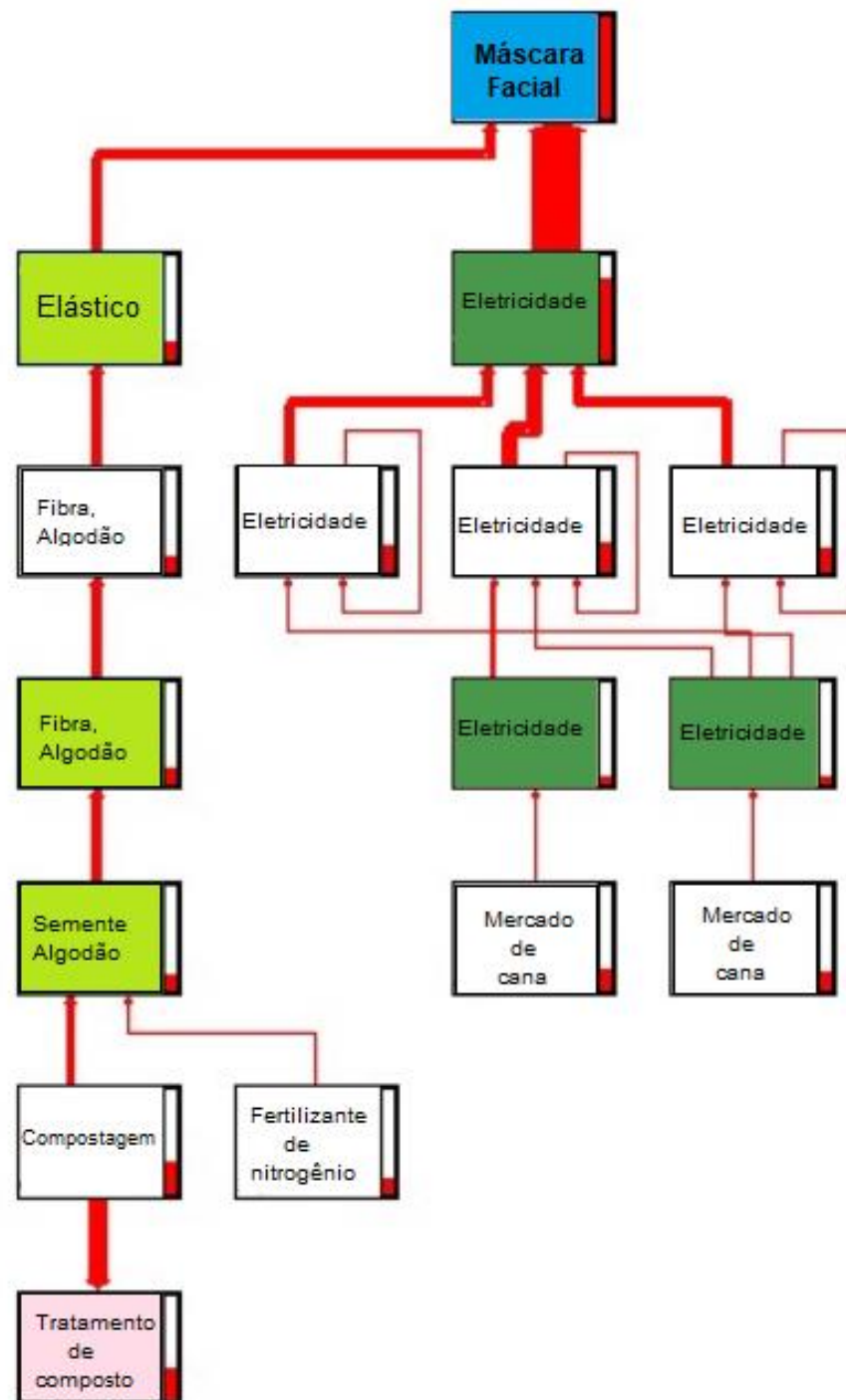
Para avaliar os impactos causados com energia elétrica, foram estimados o consumo aproximado para a produção total das máscaras com relação dos dias trabalhados.

4.2.1 AICV do cenário 1

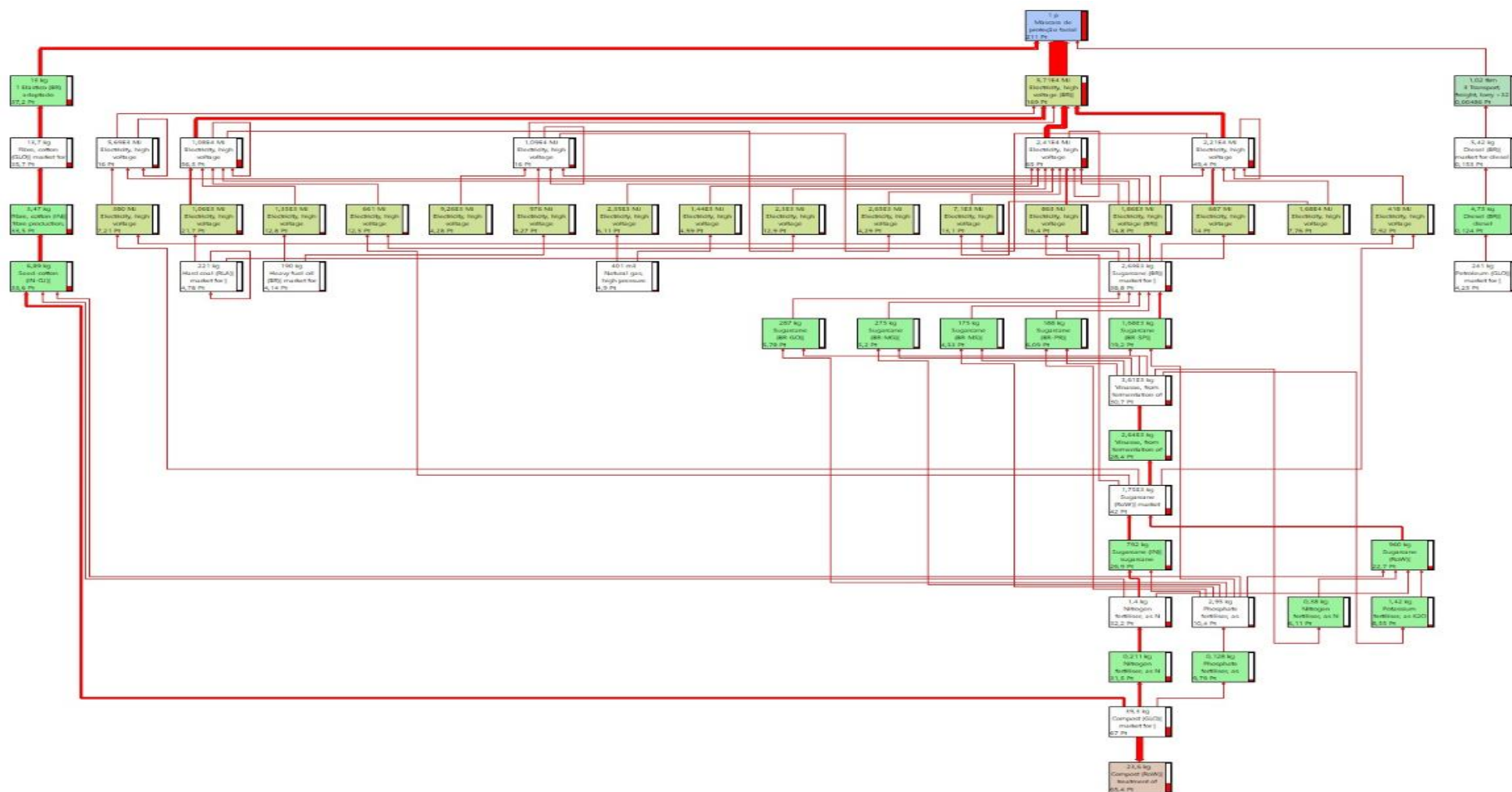
O cenário 1 é tido como o cenário base e compreende a fabricação das máscaras de proteção facial utilizando o filamento de plástico virgem ABS. Uma vez que foi obtida a tabela de inventário, que classifica as cargas ambientais em diferentes categorias de impacto para posteriormente ser aplicado os fatores de caracterização, o SimaPro estrutura o ciclo de vida do sistema de produção por meio de uma árvore de fluxos, através dela é possível observar todos os processos envolvidos até chegar ao produto final, como pode ser observada nas figuras 16 e 17.

A árvore de fluxos é desenhada de tal forma que, os quadradinhos representam os processos produtivos e as linhas representam as cargas. O primeiro quadradinho colorido em azul representa as máscaras faciais produzidas pela impressora 3D e a soma de todos os impactos gerados para o processo de produção. Abaixo do primeiro quadradinho, são apresentados os principais insumos utilizados na fabricação das máscaras e por fim, os demais quadradinhos, representam todos os insumos necessários para fabricar os insumos principais.

FIGURA 16 – MODELAGEM DA ÁRVORE DE FLUXOS 15%



FONTE: SIMAPRO (2021)



FONTE: SIMAPRO (2021)

A eletricidade chama a atenção pela grande contribuição que tem em todas as categorias de impacto, isso se deve ao fato de que o SimaPro faz uma análise profunda de todos os insumos, como pôde ser observado através da árvore de fluxos (figura 18), desta forma, todos os outros insumos têm uma ligação com a eletricidade para que possam existir. Assim, fica evidente o quão alto é o seu consumo.

4.2.2 Caraterização da AICV do cenário 1

Os inventários dos insumos da produção de Máscaras Faciais foram inseridos e adaptados à realidade brasileira no *Software* SimaPro 9 e o método ReCiPe 2016 foi utilizado para quantificar e avaliar os impactos ambientais.

Por meio da tabela 1 é possível observar as principais categorias de impacto afetadas pelo processo de fabricação a partir do filamento de plástico virgem. Em relação aos danos à saúde humana, é possível observar que formação de material particulado fino, aquecimento global (saúde humana) e toxicidade humana não cancerígena possuem os maiores valores totais. Além disso, ao observar os danos ao ecossistema, as categorias mais prejudicadas são: uso de terra, aquecimento global (ecossistema terrestre) e acidificação terrestre. Olhando, também, para a categoria danos aos recursos naturais, é possível ver que, esta é a mais prejudicada das categorias e que, escassez de recurso fóssil e escassez de recurso mineral são altamente prejudicados.

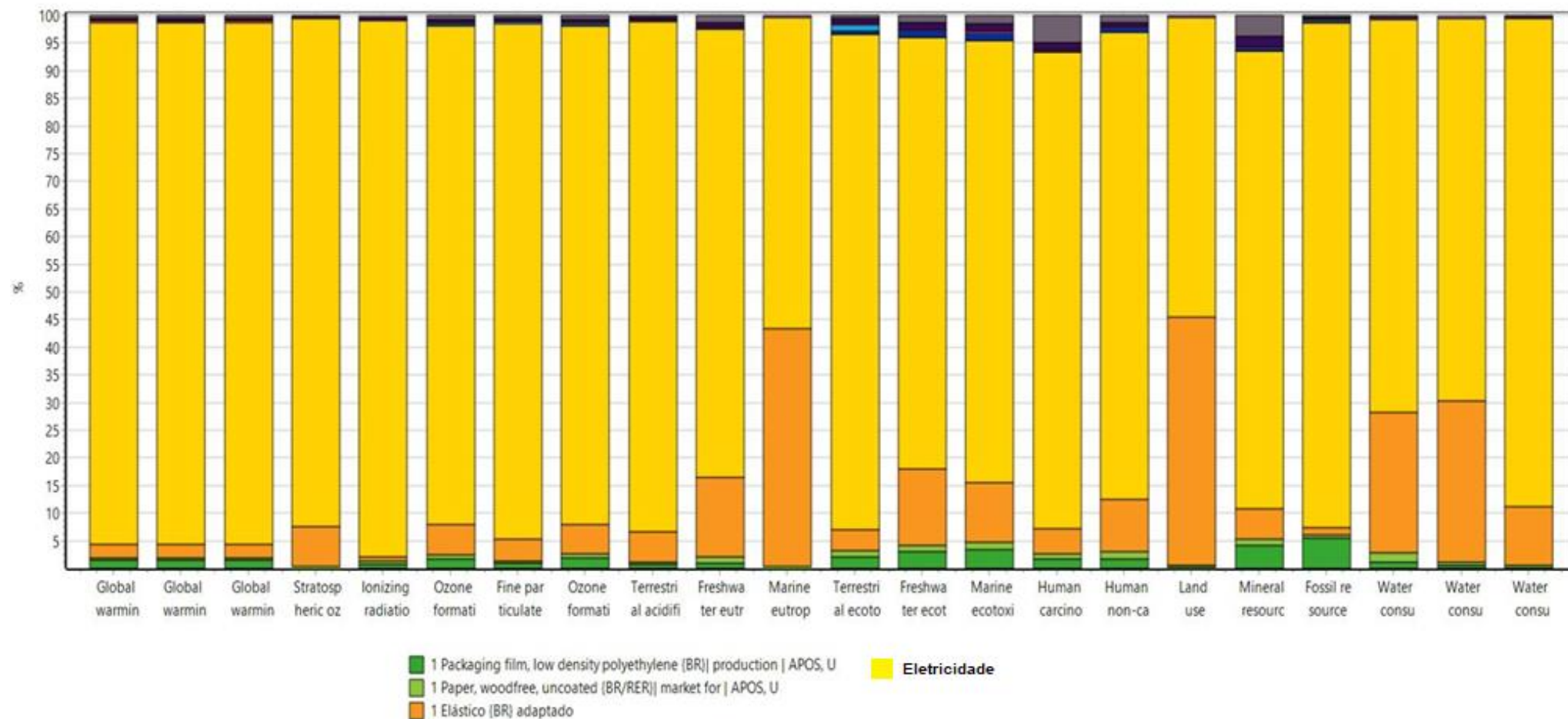
Na figura 18, pode-se observar os impactos ambientais do cenário 1. Nota-se que os insumos que mais contribuem para os impactos ambientais são a eletricidade, elástico, acetato e as sacolas plásticas. A eletricidade é representada pela cor amarela e por meio da figura 19 é possível observar o quanto de impacto esse insumo causa em todas as categorias, como foi citado no capítulo 4.1.5 ao apresentar a árvore dos fluxos (figuras 16 e 17).

TABELA 1 – CARATERIZAÇÃO DA AICV CENÁRIO 1

Categoria de impacto (endpoint)	Categoria de impacto (midpoint)	Unidade	Total
Danos à saúde humana	Aquecimento global (saúde humana)	DALY	0,003325
	Destruição do ozônio estratosférico	DALY	5,7E-06
	Radiação ionizante	DALY	2,32E-06
	Formação de ozônio (saúde humana)	DALY	6,06E-06
	Formação de material particulado fino	DALY	0,003736
	Toxicidade humana cancerígena	DALY	0,0002
	Toxicidade humana não cancerígena	DALY	0,000358
	Consumo de água	DALY	7,74E-05
	Aquecimento global (ecossistema terrestre)	species.yr	1E-05
	Aquecimento global (ecossistema aquático)	species.yr	2,74E-10
Danos ao ecossistema	Formação de ozônio (ecossistema terrestre)	species.yr	8,87E-07
	Acidificação terrestre	species.yr	3,91E-06
	Eutrofização da água doce	species.yr	3,35E-07
	Eutrofização da água marinha	species.yr	2,33E-09
	Ecotoxicidade terrestre	species.yr	6,46E-08
	Ecotoxicidade água doce	species.yr	3,89E-08
	Ecotoxicidade água marinha	species.yr	6,78E-09
	Uso de terra	species.yr	0,000126
	Consumo de água (ecossistema terrestre)	species.yr	1,42E-06
	Consumo de água (ecossistema aquático)	species.yr	9,37E-10
Dano aos recursos naturais	Escassez de recurso mineral	USD2013	1,205015
	Escassez de recurso fóssil	USD2014	273,2095

FONTE: A AUTORA (2021)

FIGURA 18 – CARATERIZAÇÃO DA AICV CENÁRIO 1



FONTE: SIMAPRO (2021)

4.2.3 Comparação dos cenários

No que se refere a análise comparativa entre os cenários 1, 2 e 3, é possível observar por meio da tabela 2 e da figura 19 que a metodologia Recipe demonstra que o cenário 1, que representa as máscaras produzidas pelo filamento de plástico virgem, tem mais impactos ambientais quando comparado aos cenários 2 e 3, que representam uma alternativa de produção de máscaras com filamento a partir da reciclagem de um mix de plásticos e filamento a partir da reciclagem de garrafas PET. Dentre as categorias mais representativas, observa-se: toxicidade humana não cancerígena, ecotoxicidade água doce, ecotoxicidade água marinha, escassez de recurso mineral e escassez de recurso fóssil.

Essas categorias de impacto refletem a danos à saúde humana e danos do ecossistema, mas principalmente aos danos causados aos recursos naturais e isso se deve ao fato de que, quando não há reciclagem do plástico, este é lançado aos oceanos. Por isso que, quando os cenários 2 e 3 que trabalham com a reciclagem de um mix de plásticos e a reciclagem de garrafas PET para ser reutilizado como filamento para a produção das máscaras são analisados, tem-se ainda menos impacto para o meio ambiente. Isso é possível observar através da tabela 3 e da figura 20.

TABELA 2 – ANÁLISE COMPARATIVA DE AICV DOS CENÁRIOS 1, 2 E 3

Categoria de impacto	Unidade	Máscara com PET reciclado	Máscara com mix de plástico reciclado	Máscara com plástico virgem
Aquecimento global (saúde humana)	DALY	0,00196022	0,002151421	0,003325057
Destruição do ozônio estratosférico	DALY	5,54905E-06	5,54338E-06	5,69646E-06
Radiação ionizante	DALY	1,88283E-06	2,03419E-06	2,32351E-06
Formação de ozônio (saúde humana)	DALY	3,339E-06	3,57954E-06	6,05614E-06
Formação de material particulado fino	DALY	0,002570004	0,002853449	0,003735838
Toxicidade humana cancerígena	DALY	3,7149E-05	8,69329E-05	0,00020018
Toxicidade humana não cancerígena	DALY	-3,10446E-05	0,000171174	0,000357879
Consumo de água	DALY	4,40229E-05	5,23485E-05	7,73987E-05
Aquecimento global (ecossistema terrestre)	species.yr	5,90978E-06	6,48678E-06	1,00293E-05
Aquecimento global (ecossistema aquático)	species.yr	1,61495E-10	1,77257E-10	2,73983E-10
Formação de ozônio (ecossistema terrestre)	species.yr	4,82144E-07	5,08955E-07	8,86741E-07
Acidificação terrestre	species.yr	3,03332E-06	3,15565E-06	3,90506E-06
Eutrofização da água doce	species.yr	1,0724E-07	1,91091E-07	3,34947E-07
Eutrofização da água marinha	species.yr	2,26446E-09	2,283169E-09	2,33376E-09
Ecotoxicidade terrestre	species.yr	9,11375E-10	2,24714E-08	6,4588E-08
Ecotoxicidade água doce	species.yr	-2,07561E-08	5,87545E-09	3,89331E-08
Ecotoxicidade água marinha	species.yr	-4,95461E-09	2,37454E-10	6,77649E-09
Uso de terra	species.yr	0,000124613	0,000124387	0,00012573
Consumo de água (ecossistema terrestre)	species.yr	1,2141E-06	1,25033E-06	1,41924E-06
Consumo de água (ecossistema aquático)	species.yr	9,26021E-10	9,05065E-10	9,36715E-10
Escassez de recurso mineral	USD2013	-0,210207712	0,333161765	1,205015217
Escassez de recurso fóssil	USD2014	-14,0459967	-48,43892717	273,2095406

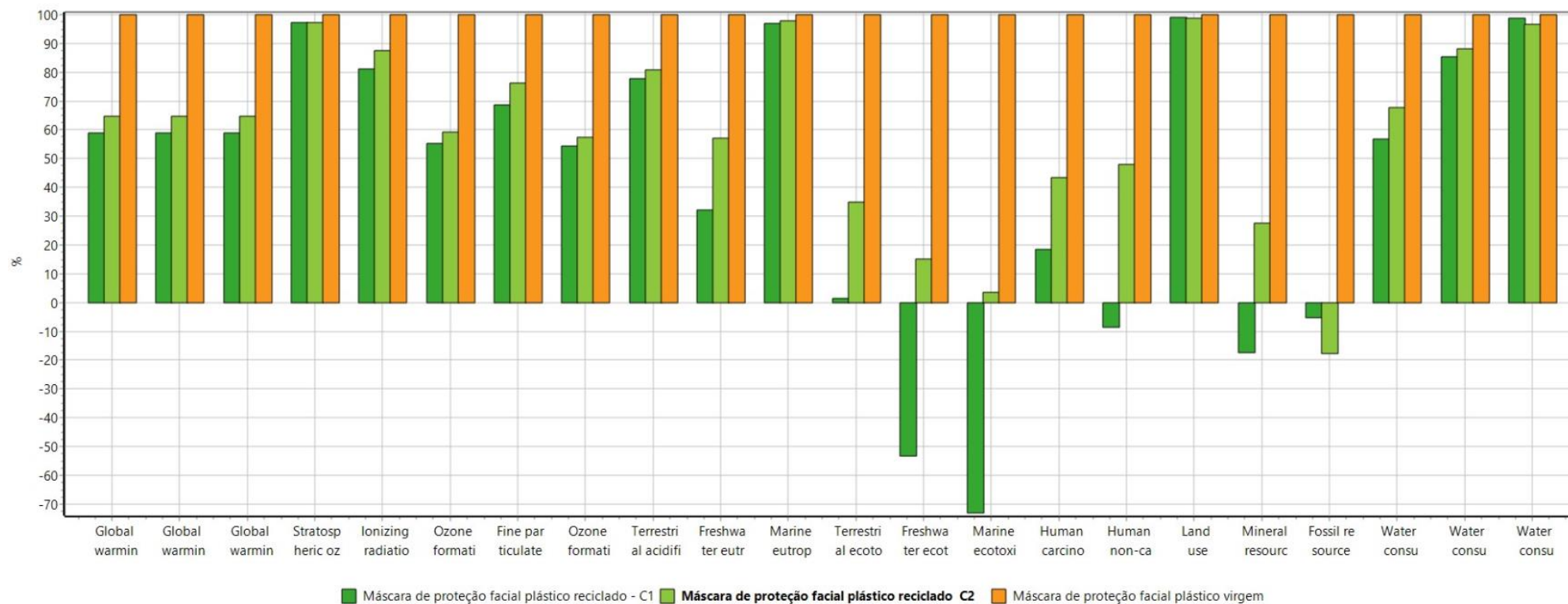
FONTE: A AUTORA (2021)

TABELA 3 – CATEGORIA DE DANOS CENÁRIOS 1, 2 E 3

Categoria de danos	Unidade	Máscara com PET reciclado	Máscara com mix de plástico reciclado	Máscara com plástico virgem
Saúde humana	DALY	0,004591121	0,005326483	0,00771043
Ecossistema	species.yr	0,000135338	0,000136012	0,000142419
Recursos naturais	USD2013	-14,25620441	-48,10576541	274,4145558

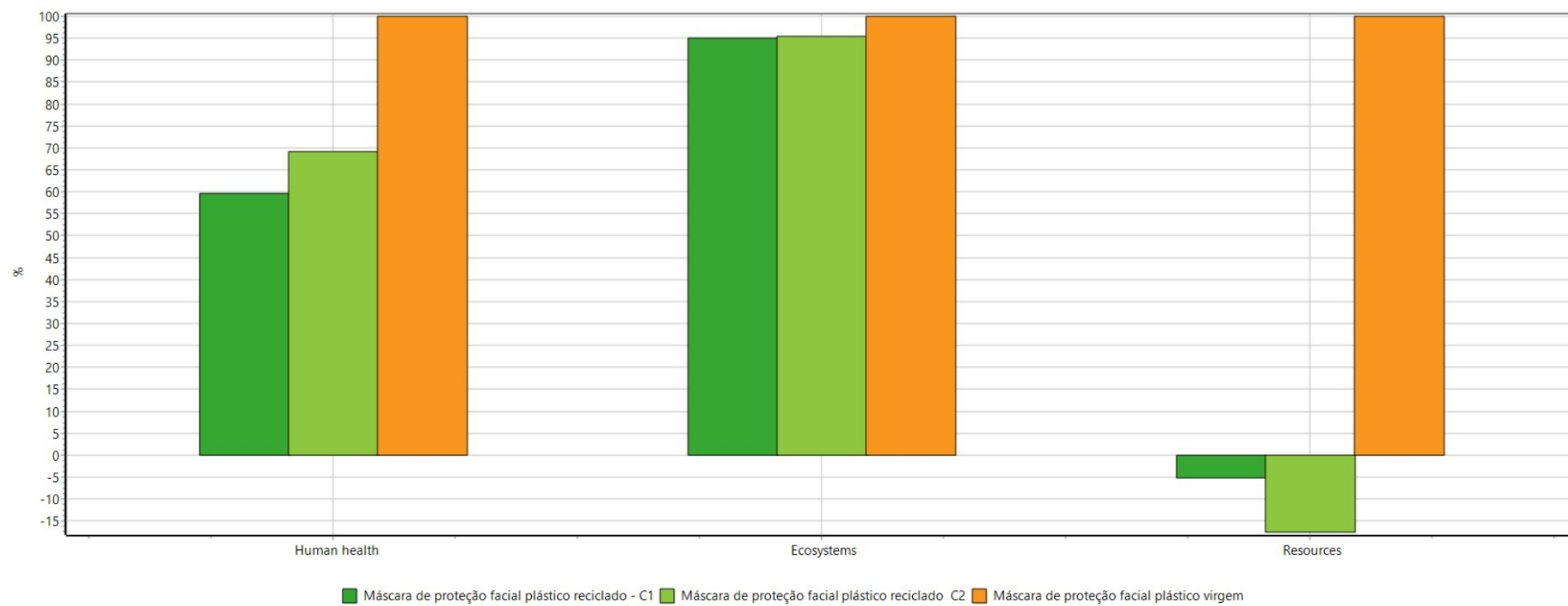
FONTE: A AUTORA (2021)

FIGURA 19 – ANÁLISE COMPARATIVA DOS CENÁRIOS 1, 2 E 3



FONTE: SIMAPRO (2021)

FIGURA 20 – CATEGORIA DE DANOS CENÁRIOS 1, 2 E 3



FONTE: SIMAPRO (2021)

A caracterização dos cenários 2 e 3 podem ser observados nas figuras 21 e 22 e nas tabelas 4 e 5. É possível ver por meio dessas análises que, quando o filamento de plástico virgem é substituído por plástico reciclado tem-se menos impactos gerados.

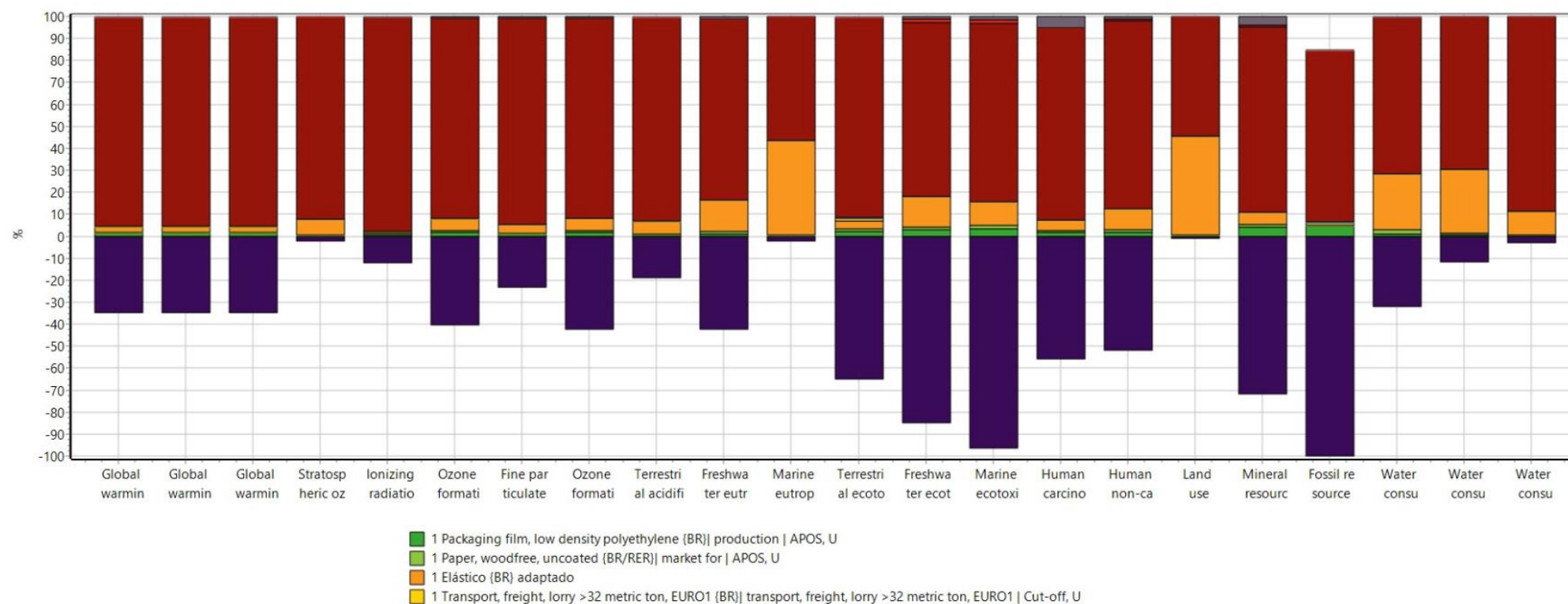
Os valores negativos nas tabelas 4 e 5, representam a quantidade total de insumos para aquela categoria que não foi lançada ao meio ambiente.

TABELA 4 – CATEGORIAS DE IMPACTO CENÁRIO 2, MIX DE PLÁSTICO

Categoria de impacto (endpoint)	Categoria de impacto (midpoint)	Unidade	Total
Danos à saúde humana	Aquecimento global (saúde humana)	DALY	0,002151
	Destruição do ozônio estratosférico	DALY	5,54E-06
	Radiação ionizante	DALY	2,03E-06
	Formação de ozônio (saúde humana)	DALY	3,58E-06
	Formação de material particulado fino	DALY	0,002853
	Toxicidade humana cancerígena	DALY	8,69E-05
	Toxicidade humana não cancerígena	DALY	0,000171
	Consumo de água	DALY	5,23E-05
Danos ao ecossistema	Aquecimento global (ecossistema terrestre)	species.yr	6,49E-06
	Aquecimento global (ecossistema aquático)	species.yr	1,77E-10
	Formação de ozônio (ecossistema terrestre)	species.yr	5,09E-07
	Acidificação terrestre	species.yr	3,16E-06
	Eutrofização da água doce	species.yr	1,91E-07
	Eutrofização da água marinha	species.yr	2,28E-09
	Ecotoxicidade terrestre	species.yr	2,25E-08
	Ecotoxicidade água doce	species.yr	5,88E-09
	Ecotoxicidade água marinha	species.yr	2,37E-10
	Uso de terra	species.yr	0,000124
Danos aos recursos naturais	Consumo de água (ecossistema terrestre)	species.yr	1,25E-06
	Consumo de água (ecossistema aquático)	species.yr	9,05E-10
	Escassez de recurso mineral	USD2013	0,333162
	Escassez de recurso fóssil	USD2014	-48,4389

FONTE: A AUTORA (2021)

FIGURA 21 – CATEGORIAS DE IMPACTO CENÁRIO 2, MIX DE PLÁSTICOS



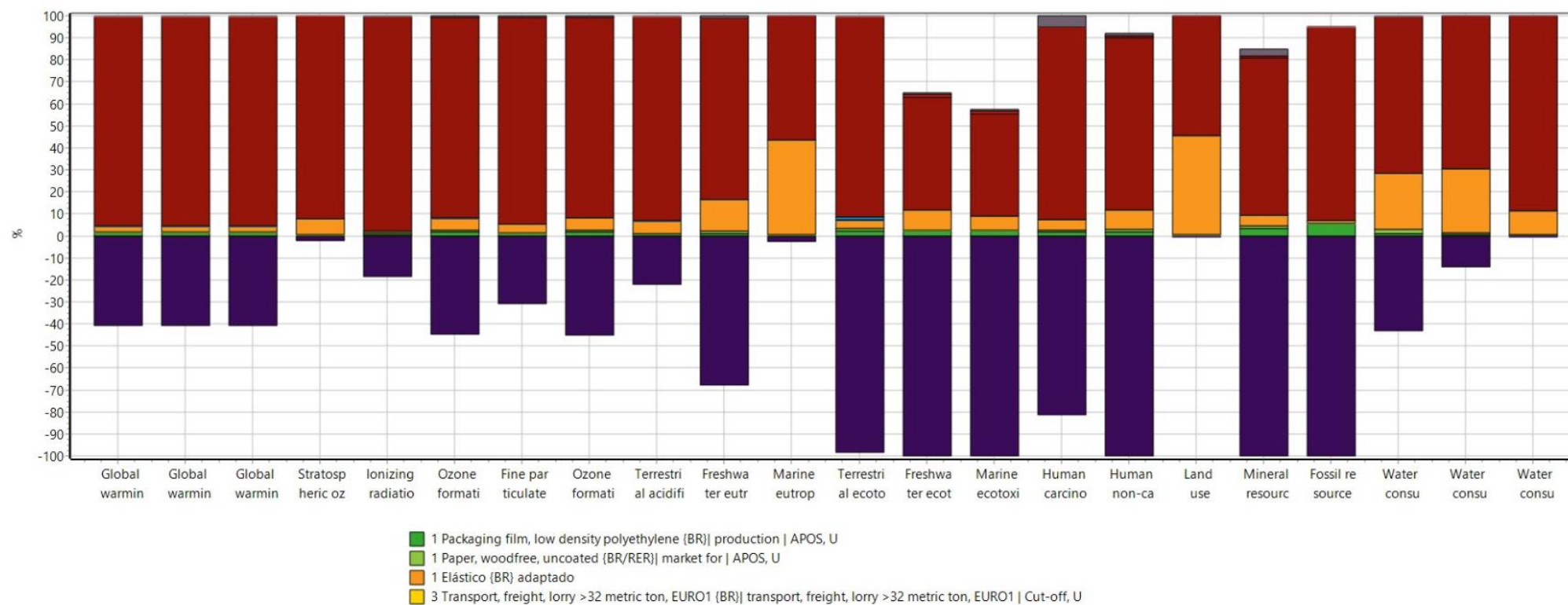
FONTE: SIMAPRO (2021)

TABELA 5 – CATEGORIAS DE IMPACTO CENÁRIO 3, PET

Categoria de impacto (endpoint)	Categoria de impacto (midpoint)	Unidade	Total
Danos à saúde humana	Aquecimento global (saúde humana)	DALY	0,00196
	Destruição do ozônio estratosférico	DALY	5,55E-06
	Radiação ionizante	DALY	1,88E-06
	Formação de ozônio (saúde humana)	DALY	3,34E-06
	Formação de material particulado fino	DALY	0,00257
	Toxicidade humana cancerígena	DALY	3,71E-05
	Toxicidade humana não cancerígena	DALY	-3,1E-05
Danos ao ecossistema	Consumo de água	DALY	4,4E-05
	Aquecimento global (ecossistema terrestre)	species.yr	5,91E-06
	Aquecimento global (ecossistema aquático)	species.yr	1,61E-10
	Formação de ozônio (ecossistema terrestre)	species.yr	4,82E-07
	Acidificação terrestre	species.yr	3,03E-06
	Eutrofização da água doce	species.yr	1,07E-07
	Eutrofização da água marinha	species.yr	2,26E-09
	Ecotoxicidade terrestre	species.yr	9,11E-10
	Ecotoxicidade água doce	species.yr	-2,1E-08
	Ecotoxicidade água marinha	species.yr	-5E-09
	Uso de terra	species.yr	0,000125
Danos aos recursos naturais	Consumo de água (ecossistema terrestre)	species.yr	1,21E-06
	Consumo de água (ecossistema aquático)	species.yr	9,26E-10
	Escassez de recurso mineral	USD2013	-0,21021
	Escassez de recurso fóssil	USD2014	-14,046

FONTE: A AUTORA (2021)

FIGURA 22 – CATEGORIA DE IMPACTOS CENÁRIO 3, PET



FONTE: SIMAPRO (2021)

As tabelas 6 e 7 apresentam o resultado comparativo da avaliação de danos entre os cenários 1 e 2, 1 e 3. Nota-se uma redução muito significativa dos impactos ambientais relacionados aos recursos naturais em relação ao cenário 1 que utiliza plástico em sua forma natural. Além disso, é possível notar também valores significantes quando observamos a categoria de danos relacionada a saúde humana.

TABELA 6 – COMPARAÇÃO CATEGORIA DE DANOS, CENÁRIOS 1 E 2

Categoria de danos	Unidade	Cenário 1	Cenário 2	Variação
Saúde humana	DALY	0,00771	0,005326	-30,92%
Ecossistema	species.yr	0,000142	0,000136	-4,23%
Recursos naturais	USD2013	274,4146	-48,1058	-114,61%

FONTE: A AUTORA (2021)

TABELA 7 – COMPARAÇÃO CATEGORIA DE DANOS, CENÁRIOS 1 E 3

Categoria de danos	Unidade	Cenário 1	Cenário 3	Variação
Saúde humana	DALY	0,00771	0,004591	-40,45%
Ecossistema	species.yr	0,000142	0,000135	-4,92%
Recursos naturais	USD2013	274,4146	-14,2562	-105,19%

FONTE: A AUTORA (2021)

A tabela 8 traz o resultado da comparação entre os cenários 2 e 3. Através de sua análise é possível concluir que o cenário 2 é o preferível entre os três cenários analisados. Isso se deve ao fato de o cenário 2 englobar um mix de plásticos para a reciclagem e produção de filamentos, desta forma, os resíduos lançados ao meio ambiente para causar impactos são muito menores quando relacionados aos outros dois cenários.

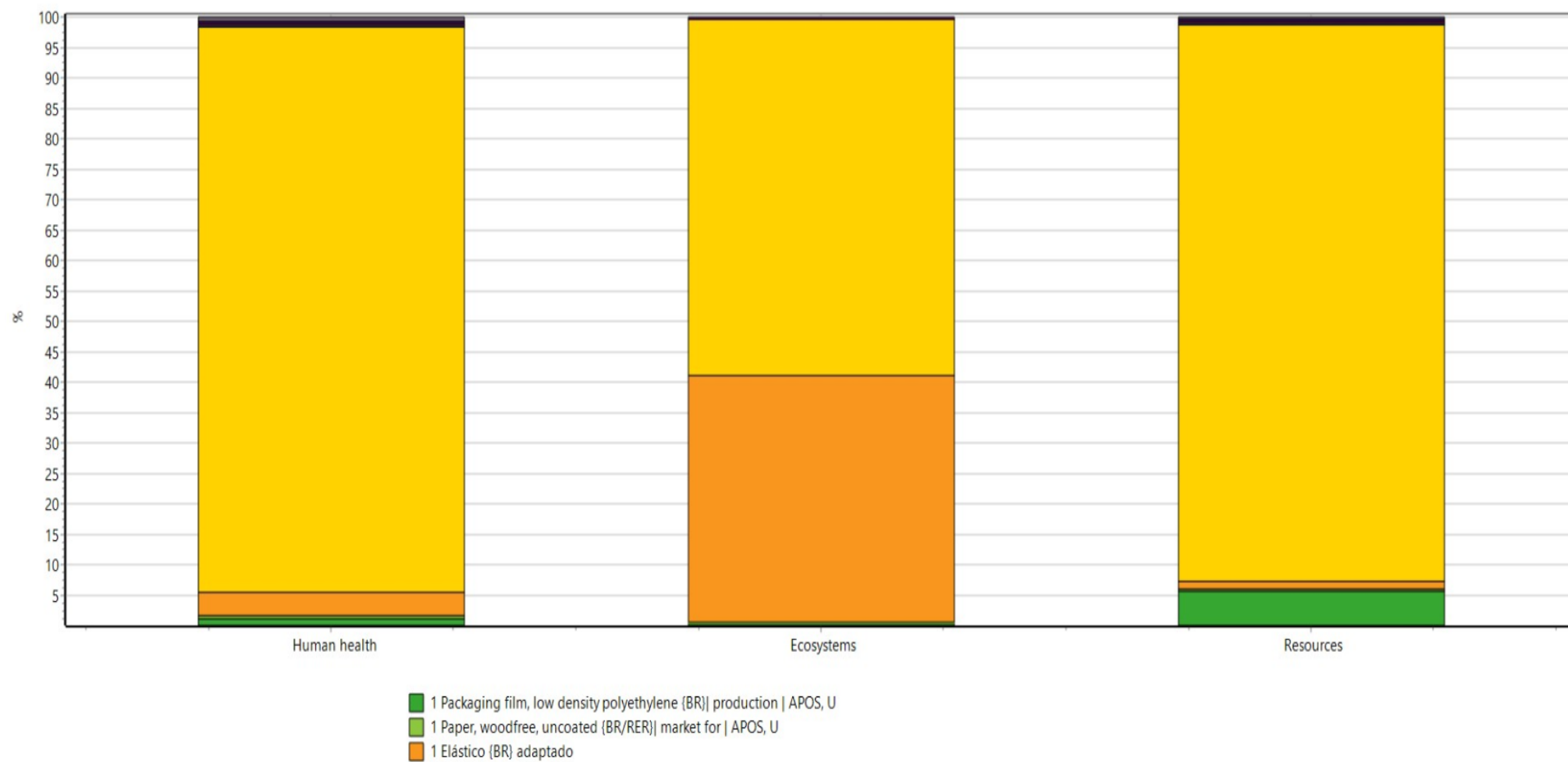
TABELA 8 – COMPARAÇÃO CATEGORIA DE DANOS, CENÁRIOS 2 E 3

Categoria de danos	Unidade	Cenário 2	Cenário 3	Variação
Saúde humana	DALY	0,005326	0,004591	-13,80%
Ecossistema	species.yr	0,000136	0,000135	-0,73%
Recursos naturais	USD2013	-48,1058	-14,2562	-70,36%

FONTE: A AUTORA (2021)

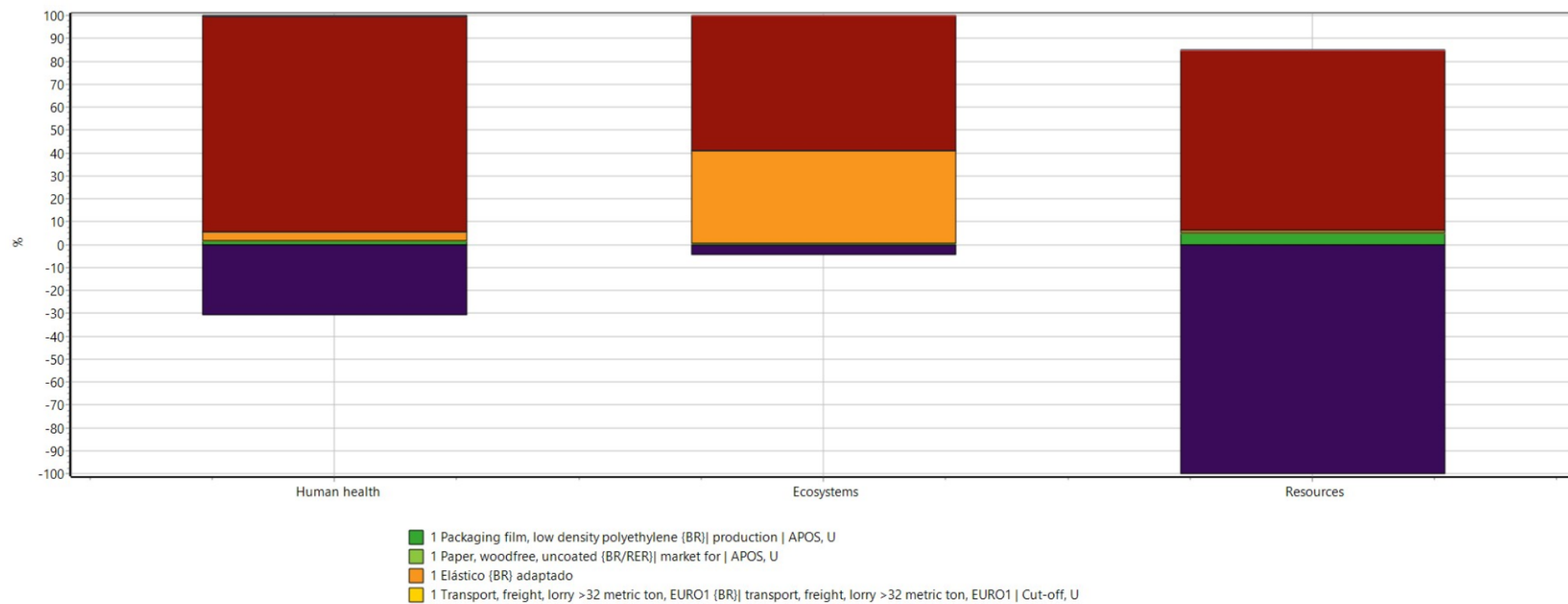
Nas figuras 23, 24 e 25, é possível observar de forma individual como se dá as categorias de impacto em cada um dos três cenários.

FIGURA 23 – CATEGORIAS DE DANOS, CENÁRIO 1



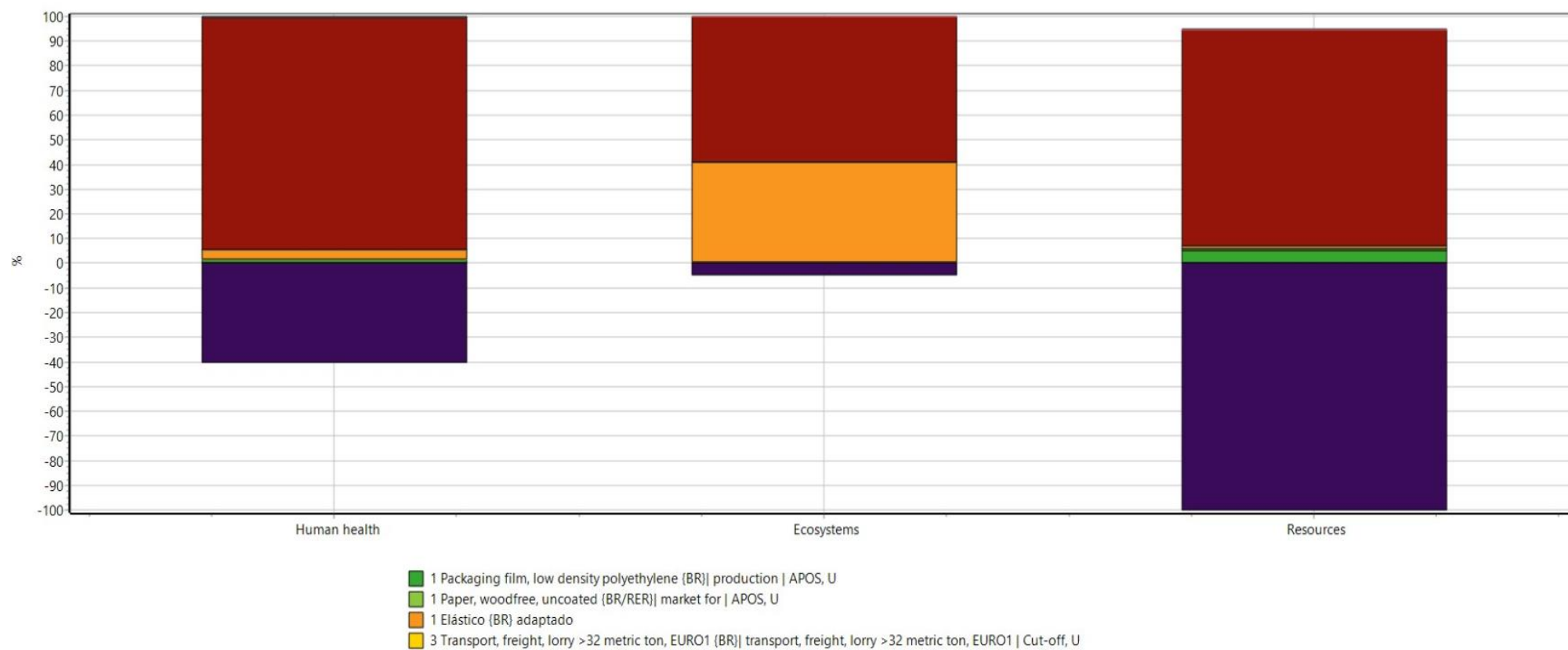
FONTE: SIMAPRO (2021)

FIGURA 24 – CATEGORIA DE DANOS, CENÁRIO 2



FONTE: SIMAPRO (2021)

FIGURA 25 – CATEGORIA DE DANOS, CENÁRIO 3



FONTE: SIMAPRO (2021)

4.3 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Substituir o uso do filamento de plástico virgem por filamento de plástico reciclado no processo de produção das máscaras faciais através da manufatura aditiva é uma alternativa eficiente para diminuir os impactos ambientais que esse processo causa ao meio ambiente.

De acordo com Huang et al. (2013, Apud VEIT, 2018) o processo de manufatura aditiva ao contrário dos processos convencionais cria a forma final adicionando materiais. Um processo em que o material é adicionado ao invés de removido, resulta em menos desperdício, menos contaminação e menores custos de produção (CASAGRANDE, 2013). Diante disso, quando um processo de manufatura aditiva está aliado a um processo de reciclagem os resultados relacionados a diminuição de impactos ambientais são ainda maiores.

O plástico por sua vez, quando não passa pelo processo de reciclagem é descartado em oceanos, aterros sanitários e lixões a céu aberto. A poluição causada pelo plástico afeta a qualidade do ar, contamina o solo e polui aquíferos, corpos d'água e reservatórios. Efeitos como esses em relação a natureza puderam ser observados no cenário 1, que utiliza o filamento de plástico virgem no processo produtivo e que possui a categoria de recursos naturais como a mais afetada por não contar com a reciclagem do plástico.

Por mais que em um processo de produção existam insumos necessários e indispensáveis e que causam impactos ao meio ambiente, como é o caso da eletricidade e do transporte, reciclar ainda é uma das melhores alternativas para lidar com materiais que precisam de uma destinação após seu consumo. Por meio dos cálculos realizados nos cenários 2 e 3 que tem como características em comum a substituição do uso do filamento virgem pelo uso do filamento reciclado, fica evidente que, optar por um material que não é extraído da natureza e sim reaproveitado após já ter sido usado gera resultados positivos e contribui de forma significativa com o meio ambiente.

É cada vez mais importante que as empresas estejam cientes de que são parte integrante do mundo e não apenas consumidor dele e isso implica na utilização dos recursos naturais com qualidade e não em quantidade (WWF BRASIL, 2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os impactos ambientais gerados pelo filamento de plástico utilizado na fabricação de máscaras de proteção facial para o combate do COVID-19 feitas em impressoras 3D.

A produção de Equipamentos de Proteção Individual – EPI's se tornou imprescindível com o surgimento da pandemia do Novo Coronavírus. O projeto Jandaia *Makers* surgiu para atender essa alta demanda de proteção e distanciamentos sociais de profissionais da saúde, defesa civil e outros membros que necessitavam de equipamentos para trabalhar na linha de frente no combate da pandemia. O projeto foi de suma importância, pois levou equipamentos para diversos municípios e estados e contribuiu com a segurança dos profissionais.

O estudo mostrou a modelagem do processo produtivo de máscara faciais a partir de impressoras 3D considerando todo o ciclo de vida do sistema de produção a partir de uma árvore de fluxos, onde foi possível observar todos os processos envolvidos até chegar ao produto final. Destacando que, o uso de Energia Elétrica teve uma importante contribuição nos impactos ambientais em todo o ciclo de vida.

O estudo elaborou um inventário de ciclo de vida da produção aditiva de máscaras faciais, com dados de matéria-prima, energia, transporte, emissões e resíduos que podem servir de base para outros estudos de ACV que utilizem filamentos plásticos. Através do inventário foi possível identificar e quantificar a energia e materiais utilizados, além das descargas para o meio ambiente.

O estudo também mostrou uma comparação dos impactos ambientais quando são utilizados filamentos virgem e reciclados. Os resultados encontrados evidenciam que, a utilização de filamento reciclado durante a produção aditiva das máscaras ajuda a diminuir os impactos ambientais, principalmente nas categorias de recursos naturais e saúde humana. Além disso, é importante ressaltar que, ações destinadas a proteger o meio ambiente e a conscientizar sobre a importância de cuidá-lo tem efeitos positivos na sociedade.

Também é importante destacar que, os custos financeiros para lidar com os prejuízos ambientais causados pelos resíduos plásticos geram gastos para a comunidade e precisam ser administrados por órgãos públicos. Assim, buscar por adequações que ajudem a produzir gastando menos energia e gerando menos resíduos é um dos grandes desafios e a manufatura aditiva é uma alternativa.

A produção das máscaras faciais se tornou algo relevante por conta da situação atípica vivida pelas pessoas atualmente, desta forma ainda não há estudos sobre ACV que mencionem as mesmas. Em consequência disso, o estudo contribuirá tanto com o meio ambiente por meio dos cálculos e resultados alcançados, como também para estudos futuros que queiram analisar outras fases do ciclo de vida diferentes da produção. Poderá ser realizado um estudo de todo o ciclo de vida dos filamentos, considerando o tratamento de reciclagem dos plásticos e os impactos ambientais gerados pela coleta dos resíduos.

REFERÊNCIAS

3D Printer Filament Types Guide of 2017. Disponível em: <<https://www.allthat3d.com/3d-printer-filament/>>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA. Histórico. Brasília [2020]. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/acv/historico-da-acv/>>. Acesso em: 20 de junho de 2020.

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA. O que é SICV Brasil. Brasília, [2020]. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/banco-nacional/o-que-e-sicv/>>. Acesso em: 20 de junho de 2020.

BASSANI, Adriane; PESSAN, Luiz A.; JÚNIOR, Elias Hage. Propriedades Mecânicas de Blendas de Nylon-6/ Acrilonitrila-EPDM-Estireno (AES) Compatibilizadas com Copolímero Acrílico Reativo (MMAMA). **Polímeros: Ciência e tecnologia**, São Carlos - SP, v. 12, n. 2, p. 102-108, 2002.

BRITO*, G. F. et al. **Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Campina Grande – PB, p. 127-139, set. 2011.

BESKO, Marcos; BILYK, Claudio; SIEBEN, Priscila Gritten. Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. **Gestão, Tecnologia e Inovação: Revista eletrônica dos Cursos de Engenharia**, Curitiba - Pr, v. 1, n. 3, p. 9-18, set. 2017

CHEHEBE, José R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

COLTRO, Leda. **Avaliação de ciclo de vida como instrumento de gestão**. Campinas: CETEA/ITAL, 2007.

CURRAN, Mary Ann. Life Cycle Assessment: An International Experience. **Environmental Progress**, Cincinnati, v. 19, n. 2, p. 65-71, jun. 2000.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CASAGRANDE, Marcus V. S. **Projeto De Um Cabeçote De Extrusão De Uma Máquina De Prototipagem Rápida FDM**. 2013. 111p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

ENGENHEIRO DE MATERIAIS. Elastômeros termoplásticos. Disponível em: <<http://engenheirodemateriais.com.br/tag/tpu/>>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

Evolução Histórica da Sustentabilidade e da Responsabilidade Social Corporativa © WWF-Brasil, 2020. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/participe/porque_participar/sustentabilidade/>. Acesso em: 10 de agosto de 2020.

FRANCISCO, Beatriz Martins. **Simulação no processo de injeção utilizando o software moldflow**. 2016. 40 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Polímeros) - FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SOROCABA, SOROCABA, 2016.

FINKBEINER, Matthias et al. The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. The International Journal of Life Cycle Assessment, Landsberg, v. 11, n. 2, p. 80-85, fev. 2006.

GUINÉE, Jeroen B. et al. Life cycle assessment: past, present, and future. Environmental Science & Technology, Easton, v. 45, n. 1, p. 90-96. 2011.

GUIMARÃES, J. C. F. *et al.* Produção Mais Limpa e Sustentabilidade Ambiental: Estudo de Caso em uma Indústria de Plásticos na Serra Gaúcha. **3rd International Workshop Advances In Cleaner Production: "CLEANER PRODUCTION INITIATIVES AND CHALLENGES FOR A SUSTAINABLE WORLD"**, São Paulo, v. 1, n. 3, p. 1-10, maio 2011.

GARCIA, Luis Hilário Tobler. **Desenvolvimento e fabricação de uma mini impressora 3D para cerâmicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2010.

GOEDKOOP M.; HEIJUNGS R.; DE SCHRYVER A.; STRUIJS J.; VAN ZELM R. ReCiPe 2008/Report I: Characterization. Holanda. Ministerie Van VROM, Den Haag, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2020. Indicadores de desenvolvimento sustentável - Brasil 2015. IBGE, Brasília.

ISO/DIS 14044 – INTERNATIONAL FOR STANDARDIZATION.

Environmental Management – Life cycle assesment – Requirements and guidelines. 2006b (Draft International Standard). 46p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION. (2006). **ISO 14040: Environmental management – life cycle assessment – principles and framework**. Geneva.

KUCZYNSKI, Oksana. **Avaliação do Ciclo de Vida do copo plástico reutilizável adotado na UTFPR câmpus Ponta Grossa**. 2018. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

LOVÓN-CANCHUMANI, Giancarlo Alfonso *et al.* **Avaliação do Ciclo de Vida na Mineração**: estudos da produção de minério de ferro. Rio de Janeiro: Cetem/mcti, 2015

LIMA, Dario Oliveira; SOGABE, Vergílio Prado; CALARGE, Tania Cristina Costa. Uma Análise sobre o Mercado Mundial do Biodiesel. In: XLVI CONGRESSO SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46. 2008, Rio Branco – Acre. **Grupo de Pesquisa: 3 - Comércio Internacional**. Campo Grande - Ms: Sober, 2008. p. 1-22.

MENDES, Natalia Crespo; BUENO, Cristiane; OMETTOA, Aldo Roberto. **Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida**: revisão dos principais métodos. São Carlos, Sp: Production, 2013.

MITIDIERI, T.C., 2009. **Construção do futuro e sustentabilidade**. Florianópolis: UFSC, 2009. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do conhecimento, Universidade Federal de Santa Catarina.

NBR ISO 14044: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b.

OMETTO, Aldo R. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia**. 2005. 200 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia (Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005.

OLIVEIRA, Jéssica Machado de. **CARACTERIZAÇÃO DE PEÇA EM AÇO INOX 316L FABRICADA POR MANUFATURA ADITIVA (DMLS)**. 2019. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

OLINZOCK, Maureen A. et al. Life cycle assessment use in the North American building community: summary of findings from a 2011/2012 survey. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 20, n. 3, p. 318- 331, mar. 2015.

OLIVEIRA, Maria C. B. R. **Avaliação do ciclo de vida de embalagens plásticas de óleo lubrificante: um estudo de caso**. 2017. 136 p. Tese de Doutorado – Programa

de Pós-Graduação em Planejamento Energético (COPPE), Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

PLASTICS EUROPE. **About Plastics – What are plastics?** 2020. Disponível em: <<https://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/what-are-plastics>> Acesso em: 20 de julho de 2020.

PIANA, MC. A construção do perfil do assistente social no cenário educacional [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 233 p. ISBN 978-85-7983-038-9.

REBITZER, G.; EKVALL, T.; FRISCHKNECHT, R.; HUNKELER, D.; NORRIS, G.; RYDBERG, T.; SCHMIDT W. P.; SUH, S.; WEIDEMA, B. P; PENNINGTON, D.W. Part 1: framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, 30, pp. 701-720, 2004.

RIBEIRO, Paulo H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados.** 2009. 341 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

SILVA, Diogo A. L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil.** 2012. 207 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

SEO, Emilia S. M.; KULAY, Luiz A. Avaliação do ciclo de vida: ferramenta gerencial para tomada de decisão. *InterfacEHS – Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente*, São Paulo, v.1, n.1, ago. 2006.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Life cycle assessment: principles and practice.* Cincinnati: 2006.

UFPR – Rede combate covid-19. Disponível em: <<https://redecovid.ufpr.br/portal/>>. Acesso em 15 de setembro de 2020.

UNEP; SETAC. Life cycle management: a business guide to sustainability. Paris, 2007. 51 p

VEIT, Douglas Rafael. **IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NOS SISTEMAS PRODUTIVOS E SUAS REPERCUSSÕES NOS CRITÉRIOS COMPETITIVOS**. 2018. 341 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, 2018.

VIGNALI, Giuseppe. Environmental assessment of domestic boilers: A comparison of condensing and traditional technology using life cycle assessment methodology. Journal of cleaner production, Oxford, v. 142, n. 4, p. 2493–2508, jan. 2017.

ZOCHE, Lidiana. **Identificação das limitações da ACV sob a ótica de pesquisas acadêmicas**. 2014. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2014.

APÊNDICE 1

QUADRO 4 - PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS DO INVENTÁRIO

Unidade funcional: 1 máscara		
	Unid.	Qtd.
ENTRADA		
Etapa de projeto		
Energia		
Etapa de produção		
Filamento ABS		
Etapa de montagem		
Acetato		
Elástico		
Sacolas plásticas		
Caixas de papelão		
Folha de A4		
SAÍDA		
Máscaras		
Emissões		
Resíduos		

FONTE: A autora (2020)