



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ - PUCPR
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS – PPGEPS

FELIPE AUGUSTO ZANIN CONTADOR

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE PRODUTOS BASEADO NA
REUTILIZAÇÃO DE MATERIAIS – ABORDAGEM *U-TURN*

CURITIBA

2020

FELIPE AUGUSTO ZANIN CONTADOR

**DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE PRODUTOS BASEADO NA
REUTILIZAÇÃO DE MATERIAIS – ABORDAGEM *U-TURN***

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS), da Escola Politécnica, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. Osiris Canciglieri Jr., PhD.

CURITIBA

2020

Esta dissertação é dedicada com muito orgulho para minha amada família, Fabiano e Glaucia Contador e para Bianca, minha querida namorada.
A persistência é o caminho do êxito.
Charles Chaplin.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por permitir que em meu caminho eu encontrasse tantas pessoas especiais que me ajudaram e me incentivaram não só durante este trabalho, mas durante toda minha carreira acadêmica e profissional.

Gostaria de fazer um agradecimento muito especial a meu querido orientador Professor Osiris Canciglieri Junior por acreditar em meu trabalho desde a época da graduação e sempre incentivar meu desenvolvimento e a continuar na carreira acadêmica.

Agradeço a meus pais, Fabiano e Glaucia Contador, por sempre me apoiarem e me incentivarem a ser uma pessoa melhor, me dando força nos momentos difíceis da vida e estando ao meu lado no momento das conquistas. Agradeço muito a Deus por ter tido a sorte de ser filho de vocês.

Minha querida namorada Bianca Mafrá agradeço por toda a ajuda durante este período, por me ajudar a construir este trabalho e ainda me dar carinho e força para ser sempre um acadêmico e um profissional melhor.

Além disso, gostaria de agradecer imensamente a Rosana Canciglieri que considero como uma segunda mãe, agradeço por me ajudar em todos os momentos importantes ao longo desta conquista, sem ela acredito seguramente que jamais conseguira chegar perto das conquistas que tive.

Não menos importante, gostaria de agradecer imensamente ao meu grande amigo Matheus Canciglieri, um grande amigo que tive a honra de conhecer durante a graduação e que durante este trabalho foi de fundamental importância. Quero agradecer também a meu outro grande amigo Athon Leite por toda a ajuda durante não só este trabalho, mas por toda a vida. E claro, não posso deixar de agradecer a estes dois queridos amigos por todos os momentos de diversão e aprendizado em nossas conversas informais.

Agradeço também a Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS/PUCPR) por me concederem a Bolsa Acadêmica Marcelino Champagnat que possibilitou a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Por fim, gostaria de agradecer a todas as pessoas que de forma direta ou indireta me auxiliaram nesta conquista. Desde já peço desculpas se esqueci de mencionar honrosamente tais pessoas neste trabalho, mas minha gratidão por todos vocês será eterna.

Dados da Catalogação na Publicação
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR
Biblioteca Central
Edilene de Oliveira dos Santos CRB-9/1636

Contador, Felipe Augusto Zanin

C759d
2020 Desenvolvimento sustentável de produtos baseado na reutilização de
materiais – abordagem U-TURN / Felipe Augusto Zanin Contador;
orientador, Osiris Canciglieri Jr. -- 2020
219 f.: il. 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná,
Curitiba, 2020

Bibliografia: f. 199-219

1. Engenharia da produção. 2. Produtos novos. 3. Desenvolvimento
Sustentável. 4. Sustentabilidade. 5. Reaproveitamento (Sobras,
refugos, etc.). I. Canciglieri Junior, Osiris. II. Pontifícia Universidade
Católica do Paraná. Programa de Pós- Graduação em Engenharia de
Produção e Sistemas. III. Título

CDD. 20. ed. – 658.78



TERMO DE APROVAÇÃO

Felipe Augusto Contador

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE PRODUTOS BASEADO NA REUTILIZAÇÃO DE MATERIAIS – ABORDAGEM U-TURN.

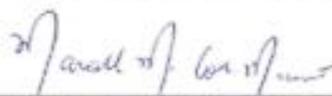
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (Escola Politécnica), da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



Presidente da Banca
Prof. Dr. Osiris Canciglieri Junior
(Orientador – PPGEPS/PUCPR)



Prof. Dr. Anderson Luis Szejka
(Membro Interno – PPGEPS/PUCPR)



Prof. Dr. Marcell Mariano Corrêa Maceno
(Membro Externo - UFPR)

Curitiba, 04 de dezembro de 2020.

*“Uma pessoa inteligente resolve um problema,
um sábio o previne”.*

Albert Einstein.

RESUMO

Com o desenfreado consumo de bens materiais e o grande desperdício de alimentos e produtos de consumo ditos instantâneos, a superlotação de locais que recebem adequadamente resíduos encerrará em breve. A fim de tentar frear esta catástrofe declarada, ações para reutilização de materiais, logística reversa, engenharia reversa e desenvolvimento de produtos remanufaturados tornam-se não só bem vistas como de extrema necessidade. Contudo, metodologias que garantem a reutilização de materiais descartados ainda são raras e estão inseridas apenas em empresas de grande porte que possuem um apelo sustentável e inovador. Empresas de bens de consumo de pequeno e médio porte ainda não possuem esta ideia disseminada e pecam por gerarem muitos resíduos com o fim prematuro do ciclo de vida de seus produtos. Neste cenário, esta pesquisa propõe a concepção de uma abordagem conceitual que permita o desenvolvimento de produtos sustentáveis construídos/fabricados a partir da reutilização de materiais descartados (resíduos). O universo de pesquisa foi explorado por meio dos procedimentos técnicos de revisão sistemática, análise do conteúdo filtrado e casos experimentais. A abordagem criada visa a diminuição de resíduos produzidos ao longo da cadeia produtiva e um prolongamento na vida útil dos produtos que seriam encaminhados a aterros sanitários resultando em duas ou mais sobrevidas ao produto inicial, incentivando sua utilização de forma cíclica. A abordagem denominada *U-TURN* consiste de 4 Macro Fases que mostram as diretrizes a serem seguidas pelos usuários para atingirem os objetivos propostos. 4 casos experimentais aplicados em diferentes tipos de produtos reais foram utilizados para validar a abordagem proposta e confirmarem seu potencial para o desenvolvimento de produtos sustentáveis construídos/fabricados a partir da reutilização de materiais descartados (resíduos). A aplicação confirmou também que as diretrizes da abordagem conceitual desenvolvida oferecem novas perspectivas de concepção e desenvolvimento de produtos e processos produtivos ao mesmo tempo que propõe alternativas de reutilização de resíduos que seriam descartados nos já saturados aterros sanitários.

Palavras-chave: Processo Desenvolvimento de Produtos; Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis, Sustentabilidade; Descarte de Resíduos, Reutilização.

ABSTRACT

With the rampant consumption of material goods and the great waste of food and consumer products said to be instantaneous, an overcrowding of places that communicate waste will end soon. In order to try to stop this declared catastrophe, actions for the reuse of materials, reverse logistics, reverse engineering and development of remanufactured products are not only well regarded but extremely necessary. However, methodologies that guarantee the reuse of discarded materials are still rare and are inserted only in large companies that have a sustainable and innovative appeal. Small and medium-sized consumer goods companies do not yet have this widespread idea and sin by generating a lot of waste with the premature end of the life cycle of their products. In this scenario, this research proposes a conception of a conceptual approach that allows the development of sustainable products built / manufactured from the reuse of discarded materials (waste). The research universe was explored through the technical procedures of systematic review, analysis of the filtered content and experimental cases. The approach created aims at reducing waste along the production chain and extending the useful life of products that are sent to landfills settled in two or more survivals to the initial product, encouraging its use in a cyclical manner. The U-TURN approach consists of 4 Macro Phases that show the guidelines followed by users to achieve the proposed objectives. 4 experimental cases in different types of real products were used to validate the proposed approach and confirm its potential for the development of sustainable products built / manufactured from the reuse of discarded materials (waste). The application also confirmed that the guidelines of the conceptual approach developed offer new perspectives for the design and development of products and production processes at the same time as alternative proposals for the reuse of waste that are discarded in already saturated landfills.

Keywords: *Product Development Process; Sustainable Product Development; Sustainability; Waste Disposal, Reuse.*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1– Diagrama da correta gestão de resíduos.....	20
Figura 2 - Metodologia da Pesquisa.....	26
Figura 3 - Estrutura do Documento.....	27
Figura 4 – Etapas do processo de desenvolvimento de produtos.....	37
Figura 5 – Tripé da Sustentabilidade.....	40
Figura 6 – Ciclo do Design voltado a produção sustentável.....	42
Figura 7 - Estágios Ciclo de Vida.....	43
Figura 8– Revisão Sistemática da Literatura.....	50
Figura 9 - Cruzamento das palavras chaves e seus termos.....	53
Figura 10 – Resultados da busca dos artigos nas bases científicas de dados.....	54
Figura 11 – Artigos por ano de publicação.....	58
Figura 12 – Distribuição Geográfica dos artigos selecionados.....	59
Figura 13 – Classificação de artigos de acordo com a simultaneidade.....	62
Figura 14 – Análise de Regressão – Valor de Y.....	65
Figura 15 –Análise de Regressão – Critérios de Seleção.....	66
Figura 16 – Abordagem <i>U-TURN</i>	76
Figura 17 – Macrofase I – Análise da Potencialidade de Reutilização dos Produto....	77
Figura 18 – Gráfico da Equação de <i>Von Mises</i>	79
Figura 19 – Exemplo de CAE - elemento modelado no ambiente CATIA.....	80
Figura 20 – Macrofase I – Processo decisório.....	80
Figura 21 – Macrofase II – Projeto do Novo produto.....	82
Figura 22 – Macrofase III – Abordagem <i>U-TURN</i>	87
Figura 23 – Layout de Linha por produto.....	88
Figura 24 – Layout de Linha por Processos ou Funcional (Empresa <i>Lamborghini</i>).....	88
Figura 25 – Layout de Linha Celular – exemplo 01.....	89
Figura 26 – Layout de Linha Celular – exemplo 02.....	90
Figura 27 – Modelo genérico - Abordagem <i>U-TURN</i>	91
Figura 28 – Sistema ERP - Planejamento Recursos Empresariais.....	92
<i>Figura 29 - MES – Sistema de Execução da Manufatura</i>	94
Figura 30 – Macrofase IV – Abordagem <i>U-TURN</i>	98
Figura 31 – Exemplos de Tipos de Retorno de Produtos.....	101

Figura 32 – Processo de Logística Reversa.....	102
Figura 33 - Exemplo da TV LED de 32” utilizada no caso experimental.....	104
Figura 34 – Vistas do produto modelado no CAD.....	105
Figura 35 – Ponto de Fixação – Base da TV de LED.....	106
Figura 36 – Teste de Von Mises com aplicação de 90 N – Deformidade.....	108
Figura 37 - Tensão de Ruptura do poliestireno de alto impacto.....	108
Figura 38 – Teste de <i>Von Mises</i> com aplicação de 90 N – Deslocamento.....	109
Figura 39 Teste de Von Mises com aplicação de 270 N – Deformidade.....	109
Figura 40 – Teste de <i>Von Mises</i> com aplicação de 270 N – Deslocamento.....	110
Figura 41 - Teste de Von Mises com aplicação de 1080 N – Deformidade.....	111
Figura 42 – Teste de Von Mises com aplicação de 1080 N - Deslocamento.....	112
Figura 43 – Layout da Linha de Produção das luminárias - (TV LED).....	120
Figura 44 – Caixas organizadores dos componentes eletrônicos – TAG.....	122
Figura 45 – Scanner de Código de barras.....	123
Figura 46 – Exemplo de cadastro do produto (TV LED) em software ERP.....	123
Figura 47 – Exemplo de Controle de ERP – Panorama geral.....	124
Figura 48 – Vista produto final – Lustre Apagado – Fixação teto.....	125
Figura 49 – Produto final – Aplicação Ambiente.....	126
Figura 50 – Exemplo de embalagens feitas de papelão reciclado.....	129
Figura 51 – Vista Explodida – Televisor LED 32’ – Philco (Philco Manual).....	131
Figura 52 – Exemplo de veículos de coleta.....	135
Figura 53 – Exemplo de Pontos de entrega voluntária – Criciúma SC.....	136
Figura 54 - Exemplo de luminária desenvolvida pela abordagem U-TURN.....	138
Figura 55 - Layout em Linha - Produção das pastas arquivo.....	145
Figura 56 – Caixas organizadores dos componentes eletrônicos – TAG.....	146
Figura 57 – Pasta para arquivos (produto final – Pasta Sketchup).....	148
Figura 58 - Produto final – Aplicação em ambiente de escritório.....	148
Figura 59 – Vista Explodida – Luminária - LED 32’ – Philco (Philco Manual).....	150
Figura 60 - Exemplo pneus utilizados no caso experimental.....	154
Figura 61 – Produto a ser Reutilizado - Pneu vistas do produto modelado CAD.....	155
Figura 62 - Ponto de Fixação – Parte de inferior do pneu – Contato com o solo.....	156
Figura 63 - Tensão de Ruptura da borracha SBR.....	158

Figura 64 - Teste de Von Mises com aplicação de 80 N – Deformidade.....	159
Figura 65 – Teste de Von Mises com aplicação de 80 N – Deslocamento.....	159
Figura 66 - Teste de Von Mises com aplicação de 720 N – Deformidade.....	160
Figura 67 – Teste de Von Mises com aplicação de 720 N – Deslocamento.....	161
Figura 68 - Teste de Von Mises com aplicação de 275 K N – Deformidade.....	162
Figura 69 - Teste de Von Mises com aplicação de 275 KN - Deslocamento.....	163
Figura 70 - Layout por processos – Produção pufes.....	169
Figura 71 – Adesivos – TAG.....	171
Figura 72 – Exemplo de Controle de ERP – Panorama geral.....	172
Figura 73 – Vista produto final – Pufe para aplicação.....	173
Figura 74 – Produto final – Aplicação Ambiente Simulado – Residências.....	173
Figura 75 – Vista Explodida – Pneu Goodyear.....	176
Figura 76 – Produto – Lentes para câmeras semiprofissionais.....	179
Figura 77 - Vistas do produto modelado no CAD.....	180
Figura 78 - Ponto de Fixação – Fixação na base do suporte lente.....	181
Figura 79 - Ponto de Incidências de força – Lente.....	182
Figura 80 - Tensão de Ruptura do vidro – Vidro Cristal.....	183
Figura 81 - Teste de Von Mises com aplicação de 10N – Deformidade.....	183
Figura 82 - Teste de Von Mises com aplicação de 10 N – Deslocamento.....	184
Figura 83 - Teste de Von Mises com aplicação de 20 N – Deformidade.....	185
Figura 84 - Teste de Von Mises com aplicação de 20 N – Deslocamento.....	185
Figura 85 - Teste Impacto – 1,74 metros de altura.....	187
Figura 86 - Teste Impacto – 1,74 metros – Deformidade.....	188
Figura 87 - Teste Impacto – 1,74 metros – Deslocamento.....	188

ÍNDICE DE TABELAS E EQUAÇÕES

Tabela 1 - Palavras Chaves e seus termos correlatos utilizados na pesquisa.....	52
Tabela 2 - Critérios de Inclusão/ Exclusão.....	55
Tabela 3 - Artigos Selecionados.	56
Tabela 4 - Áreas de Estudo.....	57
Tabela 5 - Grupos de acordo com a área de abrangência.....	60
Tabela 6 - Exemplo da classificação de acordo com a área de abrangência.....	60
Tabela 7 - Valores atribuídos de acordo com sua relevância para a pesquisa	63
Tabela 8 - Artigos classificados por relevância.	63
Tabela 9 - Classificação artigos finais.....	67
Tabela 10 - Resumo da Análise Crítica.....	69
Tabela 11 - Valores atribuídos à citação do autor ao longo do texto.	72
Tabela 12 - Níveis de relevância dos autores para a pesquisa.....	73
Tabela 13 - Ferramentas de Gestão de Ideias.....	84
Tabela 14 - Resumo dos Testes de simulação aplicados ao produto no SolidWorks. 113	
Tabela 15 - Ferramentas gestão de ideias – Objetivos com o exemplo TV LED..	111
Tabela 16 - Processo criativo 01 do novo produto a partir da TV LED.	115
Tabela 17 - Processo criativo 02 do novo produto TV LED Idea 02.....	116
Tabela 18 - Ferramentas gestão de ideias - Objetivos luminária fixa.....	139
Tabela 19 - Processo criativo do novo produto a partir da Luminária LED.	141
Tabela 20 - Resumo dos Testes de simulação aplicados ao produto no SolidWorks. 164	
Tabela 21 - Ferramentas gestão de ideias – Objetivos com pneus descartados.....	165
Tabela 22 - Processo criativo do novo produto - pneus descartados – pufe.....	166
Tabela 23 - Resumo dos Testes de simulação aplicados ao produto no SolidWorks. 186	
Tabela 24 - Resumo do Teste de Impacto – SolidWorks.	189
Equação 1 - Equação 1º grau regressão linear.....	65
Equação 2 - Equação regressão linear simples.....	65
Equação 3 - Equação da tensão equivalente de <i>Von Mises</i>	78

ÍNDICE DE ABREVIações

CAD	<i>Computer Aided Design</i> – Design auxiliado por computador
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> - Fabricação assistida por computador
CAPP	<i>Computer Aided Process Planning</i> – Planejamento de processo assistido por computador
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior),
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> - Planejamento dos Recursos empresariais
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
PS	Poliestireno de alto impacto – tipo de plástico
PCP	Planejamento e Controle da Produção
TAG	É uma palavra-chave ou termo atribuído a uma informação (como registro de banco de dados ou arquivo de computador). Este tipo de metadados ajuda a descrever um item e permite que ele seja encontrado novamente ao navegar ou pesquisar
TV LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> (Tela de cristal líquido). O LCD é uma tecnologia que usa as propriedades de luminescência de cristais líquidos para exibir imagens. É um tipo de tela que consome menos energia em relação à antiga TV de tubo.
TV LED	É um tipo de televisão LCD que usa diodos emissores de luz (LEDs) para iluminar a tela em vez das lâmpadas fluorescentes de cátodo frio (CCFLs) usadas em televisores LCD padrão.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	19
1.2 PROBLEMATIZAÇÃO.....	20
1.3 OBJETIVOS.....	23
1.3.1 Objetivo Geral.....	23
1.3.2 Objetivos Específicos.....	23
1.4 MOTIVAÇÃO	23
1.5 METODOLOGIA DA PESQUISA	25
1.6 ESTRUTURA DA PESQUISA.....	27
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
2.1 DESCARTE DE RESÍDUOS E LOGÍSTICA REVERSA	29
2.1.1 Descarte dos resíduos – Conceito, leis e diretrizes	29
2.1.2 Logística reversa	32
2.1.3 Reutilização de materiais e diminuição de resíduos industriais – Produção sustentável	43
2.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO (PDP)	34
2.3 SUSTENTABILIDADE	38
2.3.1 Projeto para Manufatura Sustentável	41
2.4 DISCUSSÃO DO CAPÍTULO 2	47
3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA E ANÁLISE DO CONTEÚDO	49
3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	50
3.1.1 Determinação das questões de pesquisa da Revisão Sistemática e Análise do conteúdo.....	50
3.1.2 Determinação das palavras chaves.....	51

3.1.3	Definição do tipo de relacionamento entre as palavras-chave.....	53
3.1.4	Busca de artigos nas bases de dados científicas de dados.....	54
3.1.5	Análise dos títulos e resumos para seleção dos artigos – Critérios de Inclusão/Exclusão.....	55
3.1.6	Classificação dos artigos selecionados em grupos de acordo com a área de abrangência – Simultaneidade	59
3.1.7	Análise para o refinamento da seleção dos artigos mais relevantes para os temas de pesquisa propostos.....	62
3.1.8	Validação do resultado da seleção dos artigos.....	64
3.2	ANÁLISE DO CONTEÚDO SELECIONADO.....	66
3.2.1	Análise Crítica dos Artigos relevantes para a pesquisa.....	67
3.2.2	Análise das referências citadas nos artigos relevantes	72
3.3	DISCUSSÃO DO CAPÍTULO 3	73
4	PROPOSTA DE UMA ABORDAGEM PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS BASEADO NA REUTILIZAÇÃO DE MATERIAIS.....	75
4.1	ABORDAGEM <i>U-TURN</i>	75
4.1.1	Macrofase I - Análise da Potencialidade de reutilização de produtos descartados	77
4.1.2	Macrofase II – Projeto do Novo Produto.....	81
4.1.3	Macrofase III - Projeto de Produção Cíclica e Sustentável.....	86
4.1.3.1	Manufatura com resíduo zero.....	87
4.1.3.2	Cadeia integrada de suprimentos.....	92
4.1.4	Macrofase IV – Coleta de Material/ Produto	97
4.1.4.1	Logística reversa – <i>Framework</i> (3W1H).....	98
5	APLICAÇÃO DA ABORDAGEM <i>U-TURN</i> PROPOSTA POR MEIO DE CASOS EXPERIMENTAIS.....	104
5.1.	CASO EXPERIMENTAL NUMERO 01 – TELEVISOR TIPO LED.....	104

5.1.1. Análise da potencialidade de reutilização de produtos descartados -Macrofase I	105
5.1.1.1 Aplicação de 90 N de força ao produto - Teste 01	107
5.1.1.2 Aplicação de 270 N de força ao produto - Teste 02	109
5.1.1.3 Aplicação de 1080 N de força ao produto - Teste 03	111
5.1.1.4 Discussão dos 3 testes (90, 270 e 1080 N)	112
5.1.2 Projeto de novo produto - Macrofase II.....	113
5.1.3 Projeto de produção cíclica e sustentável - Macrofase III.....	118
5.1.4 Coleta de produto/material - Macrofase IV	129
5.2. CASO EXPERIMENTAL NUMERO 02 – LUMINARIA DE TETO	137
5.2.1. Análise da potencialidade de reutilização de produtos descartados - Macrofase I	138
5.2.2 Projeto de novo produto - Macrofase II.....	139
5.2.3 Projeto de produção cíclica e sustentável - Macrofase III.....	143
5.2.4 Coleta de produto/material - Macrofase IV	149
5.3. CASO EXPERIMENTAL NUMERO 03 – PNEUS DESCARTADOS.....	154
5.3.1. Análise da potencialidade de reutilização de produtos descartados - Macrofase I	154
5.3.1.1 Aplicação de 80 N de força ao produto - Teste 01	158
5.3.1.2 Aplicação de 720 N de força ao produto - Teste 02	160
5.3.1.3 Aplicação de 275 KN de força ao produto - Teste 03	161
5.3.1.4 Discussão dos 3 testes (80, 720 e 275 KN)	163
5.3.2 Projeto de novo produto - Macrofase II.....	164
5.3.3 Projeto de produção cíclica e sustentável - Macrofase III.....	168
5.3.4 Coleta de produto/material - Macrofase IV	174
5.4. CASO EXPERIMENTAL NUMERO 04 – LENTES DE CÂMERAS FOTOGRÁFICAS	179

5.4.1. Análise da potencialidade de reutilização de produtos descartados - Macrofase I	179
5.4.1.1 Aplicação de 10 N de força ao produto - Teste 01	183
5.4.1.2 Aplicação de 20N de força ao produto - Teste 02	184
5.4.1.3 Discussão dos testes (10 e 20 N estáticos).....	186
5.4.1.4 Aplicação Teste de Impacto – 1,74 m	187
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	190
7 CONCLUSÃO	195
7.1 CONCLUSÃO	195
7.2 PESQUISAS FUTURAS	197
7.3 PUBLICAÇÕES.....	198

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A produção de lixo a nível mundial está crescendo exponencialmente nos últimos anos (ABELPRE, 2018). Diversos fatores impactam diretamente e contribuem para este aumento como o desenvolvimento de novos produtos, aquecimento da economia devido a fatores políticos, gerando maior comercialização, aumento da renda per capita, obsolescência programada (SAMARA, *et al.*, 2005). O termo “*obsolescência programada*” surgiu para explicar o desenfreado estilo consumidor presente principalmente nos países subdesenvolvidos que estão em ascensão econômica, como é o caso do Brasil. A fim de recuperar os danos causados pela crise de 1929, que destruiu a economia de vários países, a obsolescência programada foi criada como um meio para evitar que haja novamente a superprodução, podendo ocorrer uma nova crise causada por falta de consumo e excesso de estoque, termo este que continua em evidência na economia.

Resumidamente, a obsolescência programada seria uma forma das montadoras, empresa de bens de consumo e principalmente de tecnologia forçarem seus consumidores a trocarem seus produtos mesmo que eles não estejam com nenhum defeito de funcionamento, apenas para fazer “girar a economia” incentivando o consumo de novos produtos (SAMARA, *et al.*, 2005). O crescimento do consumo e do descarte de produtos precocemente cria um aumento na produção de resíduos que combinado com a falta de locais adequados para descarte geram um problema recorrente e que afeta qualquer região do mundo, que é o descarte incorreto destes resíduos no meio ambiente. A utilização dos 3 “Rs” da sustentabilidade, ou seja, reciclar, reutilizar e reduzir a quantidade de resíduos gerados na produção de produtos pode minimizar o problema do descarte incorreto dos resíduos no meio ambiente (CARRIJO, 2010). Para tanto, a utilização de processos produtivos que visam a diminuição e reutilização de materiais torna-se indispensável para qualquer empresa que deseja diminuir seus impactos ambientais (PIMENTA *et al.*, 2011).

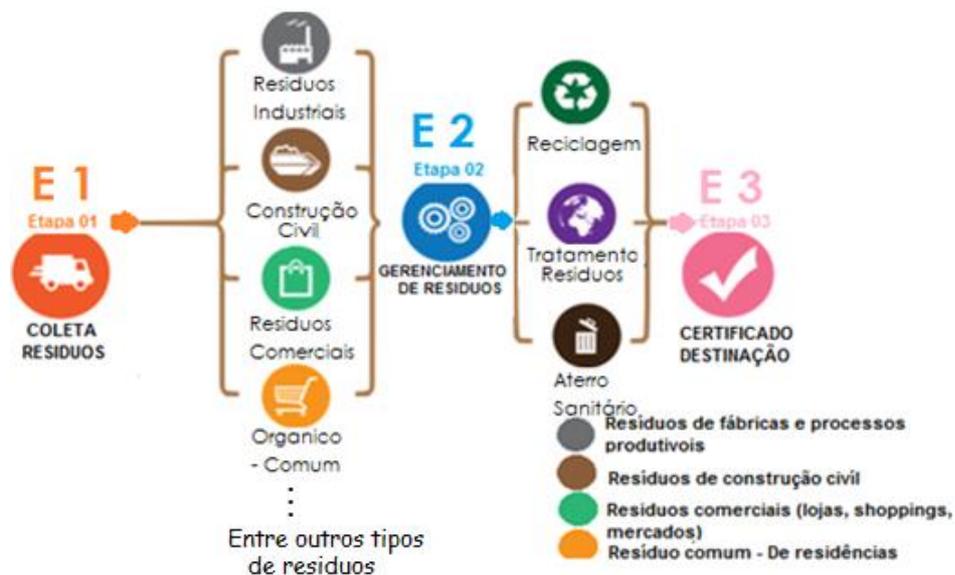
Assim, o desenvolvimento de produtos deve ser sustentável, levando em consideração desde a fase de design do produto requisitos como materiais que possam ser reutilizados, processos produtivos que possuam menor impacto ambiental, além

oferecer uma solução para que no final do ciclo de vida, o produto possa retornar à produção com uma sólida logística reversa, reduzindo o uso da matéria prima dita primaria.

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

Para um correto descarte de resíduos, principalmente produtos eletrônicos ou resíduos provenientes de processos produtivos, são necessárias várias etapas afins de garantir que o descarte seja correto do ponto de vista ambiental, sem gerar nenhum prejuízo para o solo, atmosfera, lenções freáticos (ANTQUEVES, 2015). Este processo de descarte passa por 3 macrofases até ser concluído, gerando um certificado de destinação o qual comprova que o resíduo foi ambientalmente descartado de forma correta, como mostra a Figura 1.

Figura 1– Diagrama da correta gestão de resíduos



Fonte: Baseado em Fernandes, 2020.

A primeira etapa (E1) é definida pela coleta dos resíduos por veículos apropriados e licenciados pelos órgãos ambientais, com frota pertencente a empresas de engenharia sanitária. As empresas licenciadas são responsáveis por designar, de acordo com as propriedades físico-químicas dos resíduos, o tipo de veículo que melhor se adequa à coleta. Na sequência das etapas (E2), as empresas devem fazer a gestão destes resíduos, ou seja, definir a destinação de cada resíduo de acordo com sua natureza. Há várias formas de destinar os resíduos, como a reciclagem, logística reversa, tratamentos

de efluentes para serem descartados em locais corretos e não em galerias pluviais, compostagem e em último caso, encaminhamento para soterramento em aterros sanitários licenciados. Após o devido tratamento dos resíduos, na última etapa (E3), as empresas que fazem seu gerenciamento são responsáveis por emitir certificados de destinação, que são exigidos a todas as empresas anualmente por órgãos ambientais.

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010), os resíduos nos estados sólido, semissólido, líquido e gasoso são classificados de acordo com seu tipo de geração, em 5 grandes grupos:

- i) Resíduos Sólidos Urbanos: gerados em residências, na limpeza urbana, dos comércios e prestadores de serviços. Em sua grande maioria são compostos por resíduos orgânicos e recicláveis em geral;
- ii) Resíduos Industriais: gerados em processos produtivos industriais (usinagem, fabricação em geral, montagem);
- iii) Resíduos Hospitalares: gerados em estabelecimentos ligados a saúde, como hospitais, clínicas médicas e odontológicas, clínicas veterinárias. Estes resíduos ainda podem ser subdivididos em outros 5 grupos (A, B, C, D e E) que variam de acordo com sua origem (animal, humano e sua composição);
- iv) Resíduos de Construção Civil: gerado em obras civis como construções, demolições, reformas e ampliações, tanto para empresas como para pessoa física. Estes resíduos ainda podem ser subdivididos em outras 4 classes (A, B, C e D) que variam de acordo com sua composição (cerâmicos, argamassas, entre outros);
- v) Resíduos Nucleares: trata-se de um tipo específico de resíduo industrial, proveniente de industriais nucleares. Este tipo de resíduo possui rigorosos processos para destinação os quais devem respeitar as normas e diretrizes da CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, 1956);

Além da classificação dos resíduos com relação a sua geração, os mesmos ainda são classificados de acordo com seu impacto e risco potencial a saúde e ao meio ambiente (NBR 10004/04, ABNT, 2004). Este tipo de classificação é dividido em 2 classes:

- i) Classe I – Resíduos Perigosos: todo tipo de material que de acordo com suas propriedades físicas, químicas e infectocontagiosas apresentam risco a saúde pública e ao meio ambiente;
- ii) Classe II – Resíduos Não Perigosos: resíduos que não apresentam risco a saúde pública e ao meio ambiente. Eles ainda podem ser subclassificados em inertes e não inertes, sendo esta classificação utilizada para definir sua capacidade de reagir com a água (resíduos não inertes diluem ou reagem em contato com a água);

Para o desenvolvimento desta pesquisa, o autor delimitou o esforço da pesquisa para foco na reutilização de resíduos do tipo sólido urbano de classe II, ou seja, resíduos provenientes de residências que podem ter risco potencial a saúde e ao meio ambiente se forem descartados de forma incorreta.

As etapas para o descarte de modo correto necessitam de um dispêndio de energia e recursos financeiros elevados, tornando-se um processo custoso e que impacta diretamente em todas as empresas, de qualquer ramo. A aplicação da metodologia dos 3Rs da sustentabilidade (reciclar, reutilizar e reduzir) com foco na reutilização e principalmente redução da quantidade de matéria-prima utilizada é uma alternativa para evitar estes altos custos. Desta maneira, processos produtivos que foquem na reutilização de produtos que seriam descartados são fundamentais para garantir otimização financeira para as empresas e um crescimento sustentável a nível ecológico. Entretanto, metodologias que garantem a reutilização de materiais descartados, através por exemplo da logística reversa, ainda são raras e estão inseridas apenas em empresas de grande porte, como grandes empresas de eletroeletrônicos, que possuem um apelo sustentável e inovador. Empresas de bens de consumo de pequeno e médio porte ainda não possuem esta ideia disseminada e pecam por gerarem muitos resíduos com o fim prematuro do ciclo de vida de seus produtos. Além disso, utilizam 100% de matéria prima primária em sua produção, ou seja, matéria extraída diretamente da natureza, de fontes não renováveis e que em um futuro próximo podem deixar de existir. Neste contexto, o objeto desta pesquisa é explorar a seguinte questão problema: **“É possível criar uma abordagem conceitual que permita o desenvolvimento de produtos baseados na reutilização de materiais descartados**

(resíduos) pensando desde a fase de design até o fim de seu ciclo de vida de forma sustentável?”

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal desta pesquisa é a concepção de uma abordagem conceitual que permita o desenvolvimento, de forma sustentável, de produtos baseados na reutilização de materiais no seu fim do ciclo de vida e que foram descartados pensando desde a fase de design até o fim de seu ciclo de vida.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo da pesquisa e desenvolver a abordagem conceitual de desenvolvimento de produtos sustentáveis a partir de materiais descartados é necessário o desenvolvimento das seguintes etapas:

- i) Desenvolvimento de uma revisão sistemática da literatura de acordo com os tópicos chave da pesquisa Desenvolvimento de Produto, Sustentabilidade e Descarte de Lixo (*Product Development, Sustainability e Waste Disposal*);
- ii) Identificação das limitações e contribuições nas pesquisas publicadas sobre o tema por meio de uma análise do conteúdo relevante encontrado na revisão sistemática;
- iii) Concepção de uma abordagem conceitual para o desenvolvimento de produtos utilizando como matéria prima produtos e materiais previamente descartados;
- iv) Avaliação da abordagem proposta, através do desenvolvimento de casos experimentais para aplicação em produtos e materiais em cenários reais.

1.4 MOTIVAÇÃO

Dentro do contexto mundial, nos últimos anos o Brasil teve um dos maiores aumentos na produção de lixo e somente em 2017 foram gerados em torno de 215 mil toneladas por dia de lixo (ABELPRE, 2018). Segundo Carlos Filho (CEO ABELPRE), em 2017 cada habitante brasileiro gerou em média 370 kg de lixo/ano, o que significa um campo de futebol do tamanho do estádio do Maracanã (RJ) para uma única pessoa caso seu lixo anual fosse espalhado uniformemente em uma fina camada.

Com o incentivo ao consumo crescendo a cada ano, temos uma produção de lixo cada vez maior e, portanto, um volume de resíduos a serem destinados crescendo na mesma proporção. De acordo com o Código Penal Brasileiro e de muitos outros países do mundo o uso de lixões a céu aberto é proibido e somente o uso de aterros sanitários licenciados por empresas responsáveis devem ser utilizados, ou seja, com um crescente aumento na quantidade de resíduos produzidos anualmente e, com a impossibilidade de utilizar lixões a céu aberto, a destinação correta de resíduos torna-se cada vez mais complexa, já que a construção de aterros sanitários demandam grande dispêndio de tempo e recursos financeiros. Segundo o site do Governo Brasileiro (Portal Brasil), há uma lei em vigor desde 2010 (Lei nº 12.305, de agosto de 2010) que obriga todos os municípios a fazerem a destinação correta de seus resíduos sólidos domiciliares. Assim, cada prefeitura deve contratar empresas atuantes no ramo de engenharia ambiental, que são responsáveis pela coleta e destinação final de forma a não prejudicar o ambiente. Para as organizações a premissa se mantém a mesma, ou seja, todo local dito grande gerador (que produz em média mais que 600 litros de resíduo por semana – Valor este que varia de município para município) é obrigado por lei a destinar todos os seus resíduos de forma ambientalmente correta, através das empresas de engenharia sanitária. Este é um serviço de custo alto e se a população brasileira continuar consumindo e destinando resíduos no ritmo dos últimos 5 anos, dentro de 30 a 40 anos não haverá mais terrenos para construção de aterros sanitários licenciados no Brasil (ABELPRE, 2018). Para evitar tal fenômeno e com o objetivo de minimizar o consumo de recursos naturais ditos primários, a criação de produtos remanufaturados torna-se indispensável para qualquer nação.

Outro ponto importante é com relação ao descarte dos resíduos eletrônicos, que podem liberar no meio ambiente metais pesados, como por exemplo, o chumbo, o cádmio, o mercúrio, entre outros, que trazem risco a saúde (PIDONE, 2011). Existem diretrizes que orientam o descarte correto desses materiais, como é o caso da Diretriz Europeia denominada *ROHS (Restriction of Certain Hazardous Substance)* Restrição de uso de certas substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos, de 2002, que além de regular a correta destinação destes materiais ainda restringe certos materiais de serem utilizados para concepção dos produtos, abrangendo desde eletrodomésticos de grande porte até brinquedos.

Neste contexto, o desenvolvimento de abordagens que garantam a reutilização de materiais na concepção de novos produtos é de extrema necessidade para diminuir significativamente a quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários diariamente, reduzindo custos para as empresas e ajudando o meio ambiente.

1.5 METODOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa desenvolvida é considerada de natureza aplicada, abordagem qualitativa e com objetivo exploratório. Sua natureza é considerada aplicada, pois explorara conceitos existentes, com base na análise de artigos, dissertações, teses e livros sobre modelos, métodos e abordagens para o reaproveitamento de resíduos para produção de novos produtos, com a intenção de gerar conhecimento para atingir o objetivo proposto.

A abordagem é considerada qualitativa, pois pretende-se compreender profundamente os meios de reaproveitamento dos resíduos, com foco na concepção de métodos e abordagens. Para Deslauriers (1991), a abordagem qualitativa é o objetivo de produzir informações aprofundadas e ilustrativas sendo estas capazes de produzir novas informações. Já para Minayo (2001), a pesquisa qualitativa usufrui do universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um aprofundamento no espaço dos assuntos a serem estudados.

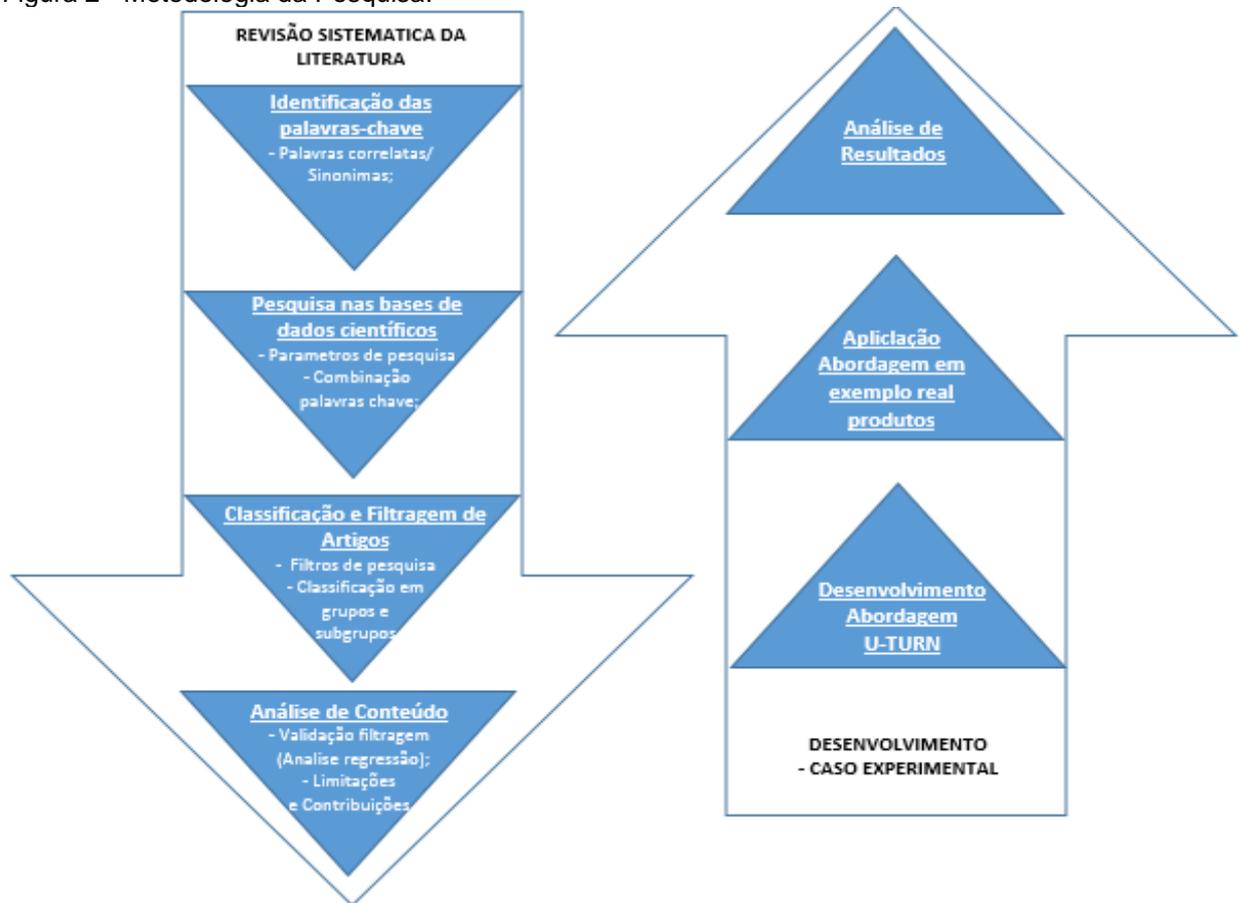
Apresenta um objetivo científico exploratório, pois conduz uma investigação para aprofundamento no tema estudado, proporcionando maior afinidade com o problema de pesquisa e portanto, tornando-o mais explícito ao leitor (GIL, 2002). Através da investigação e aprofundamento na literatura deste tema, é possível detalhar as diretrizes sobre o reaproveitamento de resíduos na concepção e desenvolvimento de produtos a partir de materiais descartados.

Os procedimentos técnicos empregados nesta pesquisa foram a revisão sistemática da literatura, análise do conteúdo e casos experimentais, conforme mostra a Figura 2.

A primeira etapa da metodologia de pesquisa utilizada para construção deste estudo consistiu na fundamentação teórica dos assuntos que seriam abordados afim de identificar quais seriam as palavras chaves para dar o *input* nas bases de pesquisa de referências (CAPES). Além disso, após a definição das palavras chave principais que

seriam utilizados, houve a pesquisa das palavras correlatas á cada uma destas palavras principais para auxiliar a abranger todo o assunto, não deixando alguma possível referência sem ser filtrada.

Figura 2 - Metodologia da Pesquisa.



Fonte: O autor.

Após a definição destas palavras, a próxima etapa foi utiliza-las combinadas na base de pesquisa CAPES, utilizando uma palavra correlata de cada assunto principal da pesquisa, utilizando alguns critérios de busca que serão detalhados na sequência.

A terceira etapa consistiu de filtrar todas as pesquisas que foram encontradas nas bases de pesquisa, através da aplicação de filtros e classificações em grupos e subgrupos, afim de identificar quais eram as pesquisas mais relevantes no tema desta pesquisa.

Após serem aplicadas todas as etapas de refinamento das pesquisas encontradas, a quarta etapa consistiu na análise do conteúdo das pesquisas mais relevantes, identificando as limitações e contribuições de cada estudo para a pesquisa desenvolvida.

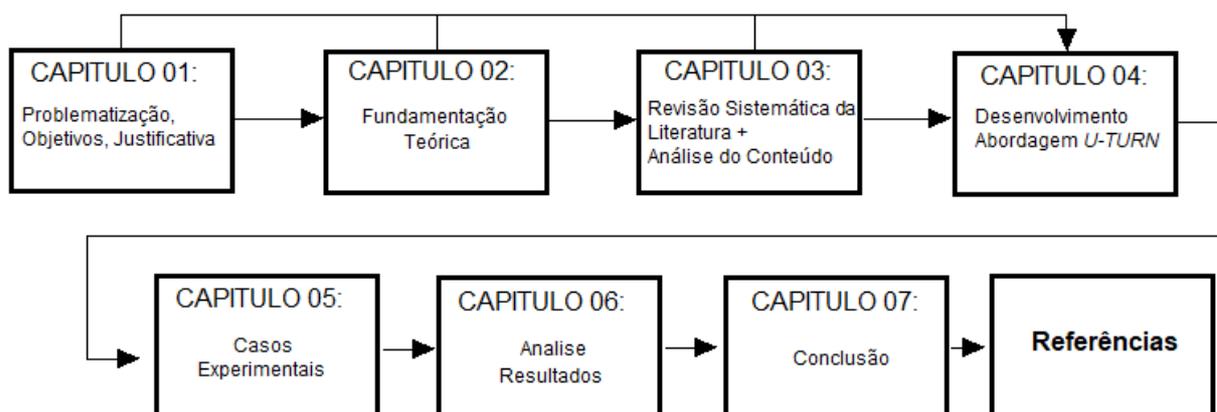
Com o fim da análise do conteúdo, a próxima etapa foi a criação de uma abordagem cíclica para o desenvolvimento de produtos baseado na reutilização de materiais descartados, a qual foi denominada de *U-TURN*. Na sequência, casos experimentais aplicados em diferentes tipos de produto foram utilizados para validar a abordagem, pensando nos produtos desde seu *design* até o final de seu ciclo de vida e seu retorno às empresas através de uma sólida logística reversa.

A última etapa do estudo demonstrou uma discussão dos resultados obtidos com a criação da abordagem e a aplicação dos diferentes produtos passando por todas as suas etapas, delimitando quais são os pontos positivos e diferenças da abordagem criada, bem como os pontos negativos e limitantes que precisam ser melhorados.

1.6 ESTRUTURA DA PESQUISA

A pesquisa foi estruturada em 6 capítulos (Figura 3): 1) Introdução (problematização, objetivos, justificativa, e estrutura do trabalho; 2) Revisão de Literatura; 3) Revisão Sistemática da Literatura e Análise do Conteúdo; 4) Desenvolvimento da Abordagem Conceitual para Desenvolvimento de Produtos utilizando Materiais Descartados - Abordagem *U-TURN*; 5) Casos experimentais; 6) Resultados Preliminares; e 7) Conclusão Preliminar.

Figura 3 - Estrutura do Documento.



Fonte: O autor.

No primeiro capítulo são apresentados a contextualização, objetivos, metodologia e a estrutura da pesquisa.

O capítulo 2 compreende uma revisão da literatura para o aprimoramento dos conceitos dos tópicos da pesquisa:

- descarte de resíduos e logística reversa;
- ii) processo de desenvolvimento de produtos e
- iii) sustentabilidade.

O capítulo 3 apresenta a revisão sistemática da literatura e a análise do conteúdo filtrado e, o capítulo 4, consiste no desenvolvimento da abordagem conceitual proposta.

O capítulo 5 contém os Casos Experimentais utilizados para a validação da abordagem proposta, sendo utilizados 4 produtos para análise do comportamento da abordagem criada.

No Capítulo 6 são apresentados os Resultados encontrados nos casos experimentais e por fim, no capítulo 7, a Conclusão, Pesquisas futuras e Publicações são apresentadas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a Revisão da Literatura que trouxe a base de conhecimento dos necessários conceitos para o entendimento desta pesquisa. Os tópicos detalhados são: i) Descarte de Resíduos e Logística Reversa, ii) Processo de Desenvolvimento de Produtos e iii) Sustentabilidade.

2.1 DESCARTE DE RESIDUOS E LOGISTICA REVERSA

Com a acelerada criação de novos produtos devido a intensificação da competitividade econômica entre as empresas, diversos consumidores finais acabam descartando produtos antes de chegarem ao fim de seus ciclos de vida. Existem alguns conceitos para alavancar as vendas de produtos ditos de bens de consumo, como a “obsolescência programada”, que força ainda mais o descarte prematuro de objetos, que em grande maioria, são produtos eletroeletrônicos. Estes produtos possuem grande impacto ambiental negativo e dificilmente podem ser destinados sem degradar o meio. Não só no fim do ciclo de vida, mas para a produção de qualquer produto durante as várias etapas de sua confecção há a geração de resíduos (refugos/rejeitos/cavacos), os quais também caso não sejam reutilizados, podem causar poluição. A seguir os temas de descarte de resíduos, destinação de produtos ao fim do ciclo de vida e termos ambientalmente recentes, como a logística reversa são explorados.

1.1.1 Descarte dos resíduos – Conceito, leis e diretrizes

A estruturação da Política Nacional de Resíduos Sólidos vem sendo, nos últimos anos, fundamental para enfrentar o problema da geração descontrolada de resíduos sólidos em todo o mundo. No Brasil estes princípios encontram-se inseridos no Artigo 6º, Parágrafo II da Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Estabelecendo obrigações para empresários, para Poder Público e para cidadãos, tal política fornece princípios, diretrizes, objetivos e instrumentos para a gestão integrada e compartilhada de resíduos sólidos, com vistas à prevenção e ao controle da poluição, à proteção e a recuperação da qualidade do meio ambiente e à promoção da saúde pública (BRASIL, 2010). Não só com o intuito de punir, o objetivo da Lei 12.305 também foi o de disseminar e difundir informações,

procedimentos e práticas que conduzam o retorno dos resíduos às organizações após o uso pelo consumidor, atuando junto às empresas e principalmente à população.

No Brasil essas diretrizes vêm contribuindo para minimizar o cenário crítico de destinação, como mostra a pesquisa da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, realizada em 2015 (ABRELPE, 2015). Nesta pesquisa constatou-se que anualmente cerca de 79 milhões de toneladas de resíduos domiciliares são coletados, e que somente 58,7% deste montante são destinados a aterros sanitários, ou seja, uma das poucas opções ambientalmente corretas de destinação recebe pouco mais da metade dos resíduos gerados em todo o país. O restante, 41,3%, incrivelmente ainda segue para aterros ditos controlados e lixões a céu aberto, sendo esta última forma de destinação completamente contrário a quaisquer diretrizes da política nacional de resíduos. Uma parcela mínima dos resíduos, não contabilizada na pesquisa, é coletada seletivamente e destinada para a reciclagem, na maior parte do país, para instituições responsáveis ditas cooperativas que não possuem formalidades fiscais/tributárias (ABRELPE, 2015). A coleta seletiva é a chave para diminuição da quantidade de resíduos enviados para disposição final, e métodos foram desenvolvidos por pesquisadores para a sua disseminação, como por exemplo a abordagem dos 3 R's da sustentabilidade.

Os resíduos orgânicos representam cerca de 69% do total das 79 milhões de toneladas descartadas ao longo do ano no país. Anualmente 14 milhões de toneladas de sobras de alimentos, segundo o Ministério da Agricultura, viram literalmente lixo devido a procedimentos inadequados em toda a cadeia produtiva, como por exemplo: perde-se cerca de 30% das hortaliças ao longo das fases de produção, industrialização, armazenagem, transporte e distribuição até o consumidor final (ABRELPE, 2015). Perde-se outras várias toneladas de hortifrutigranjeiros com o descuido do consumidor no manuseio em supermercados e nas cozinhas domiciliares e comerciais, em função principalmente da cultura alimentar brasileira que despreza, por exemplo, talos, verduras, cascas de frutas e de ovos, sementes. De acordo com a revista "Super interessante", edição (03/2202), 19 milhões de pessoas poderiam ser alimentadas diariamente com as sobras desperdiçadas de alimentos, sendo estes atualmente descartados para aterros sanitários, aterros controlados e lixões a céu aberto.

Para contribuir com este cenário nacional negativo, 3.502 municípios brasileiros, ou seja, 63,6% do total, ainda utilizam lixões para depositarem seus resíduos. A esta parcela, considerando que os chamados “aterros controlados” são uma modalidade de disposição de resíduos frágil e, portanto, questionável quando definida como uma forma “adequada” de tratamento, pode-se considerar que 52,8% do total de resíduos gerados no país são gerenciados de forma inadequada (INTERESSANTE, 2012). Esta modalidade denominada aterro controlado é definido como inadequado pois facilmente pode tornar-se um lixão a céu aberto, além de possuir pouca ou quase nenhuma inteligência com projetos preliminares de engenharia. Desta forma, esta modalidade se classifica como sendo muito inferior ao aterro sanitário, causando problemas ambientais como a contaminação do ar, do solo e das águas subterrâneas (lenções freáticos). Além de todas estas dificuldades e deste cenário preocupante, é sabido que as cidades, especialmente as de grande porte, enfrentam a crescente falta de espaço para a construção de aterros sanitários (terrenos).

Nos municípios pequenos e médios, estes espaços são mais facilmente encontrados, mas podem ter outras finalidades muito mais importantes para a população local, como agricultura, turismo, lazer. Acrescenta-se ainda, a estas dificuldades e desvantagens de destinação para aterros sanitários, os altos custos para instalação e gerenciamento deste tipo de infraestrutura (mantas geotérmicas, escavação, terraplanagem). Além destes fatores negativos e de outros como a falta de mão de obra especializada para projetar e executar obras para aterros sanitários, atualmente o Brasil é um dos países com maior demanda para construção destas áreas de destinação, principalmente atrelado por uma característica da população brasileira, o desperdício. Portanto soluções que visam a diminuição da quantidade de materiais para destinação final em locais licenciados tornam-se fundamentais para qualquer município em qualquer lugar do mundo, principalmente em países subdesenvolvidos, como é o caso do Brasil (ABRELPE, 2015).

Segundo a Agenda 30¹ para minimizar os problemas ambientais com o descarte dos resíduos sólidos, a prática dos 3R's (reduzir, reutilizar, reciclar) é essencial ao meio

¹ Plano de ação formulado internacionalmente para ser adotado em escala global por organizações do sistema das Nações Unidas, pelos governos e pela sociedade civil, em todas as áreas em que a ação humana impacta o meio ambiente. Constitui a mais abrangente orientação para um novo padrão de desenvolvimento no século 21, cujo

ambiente e a vida útil dos aterros sanitários (ONU 2018). A Redução (primeiro “R”) que deve ser aplicada na fonte de geração dos resíduos (consumidores finais), é a atividade da gestão integrada dos resíduos sólidos mais impactante e difícil de implementar. Além do esforço de governantes, com tomada de decisões no âmbito legal e fiscal, a participação comunitária, por meio de normas e educação socioambiental é fundamental para que a redução da geração de resíduos descartado seja diminuída e até controlada. A educação socioambiental deve ser oferecida desde os primeiros anos de escola às crianças, que disseminarão este conhecimento a seus pais, parentes, amigos e responsáveis. O segundo “R” de Reutilização se refere às ações tomadas pelas empresas ou instituições de tratamento de resíduos, que possibilitam a utilização destes resíduos antes descartados para outras finalidades, otimizando ao máximo o seu uso antes do descarte final, permitindo 1, 2 ou até 3 “vidas” antes de ser rejeitado e enviado para disposição final. E por fim a Reciclagem (terceiro “R”) é um conjunto de técnicas que tem por finalidade aproveitar os resíduos, reutilizando-os em seu próprio ciclo de produção, evitando o uso de matéria-prima nova para confecção do mesmo produto. São com os conceitos da Reutilização e Reciclagem que surgem abordagens como a logística reversa.

1.1.2 Logística reversa

Uma má gestão de resíduos industriais provoca negativos impactos ambientais que podem causar a contaminação de solo, água e ar, comprometendo, portanto, os recursos naturais necessários à plena qualidade de vida humana. Para evitar estes fenômenos, a ferramenta gerencial intitulada logística de fluxos de retorno, ou logística reversa, que recupera produtos e reintegra-os aos ciclos produtivos e de negócios, torna-se indispensável para qualquer município e seu respectivo polo industrial (CLOSS, 2001).

Segundo a Lei 12.305/2010 Art. 03 a logística reversa é um meio de desenvolvimento econômico, político e social caracterizado por um conjunto de ações e procedimentos destinados a viabilizar a coleta e a restituição de resíduos sólidos na

alicerce é a sinergia da sustentabilidade ambiental, social e econômica, perpassando em todas as suas ações propostas. A Agenda 21 segue o princípio de “Pensar globalmente, agir localmente” (ONU, 2018; ONU 2015)”.

forma de novos insumos, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, visando a não geração de rejeitos. Ainda segundo a Lei 12.305/2010, através da reinserção destes resíduos no setor industrial para reaproveitamento, a logística reversa garante o correto retorno dos resíduos diminuindo o impacto ao meio, já que em caso de não reaproveitamento, tal processo garante a destinação final ambientalmente adequada.

De acordo com Bowersox e Closs (2001), as leis e diretrizes que proíbem o descarte sem controle de resíduos no ambiente e que estimulam a reciclagem dos contentores utilizados para abrigar alimentos e bebidas são as principais incentivadoras do processo da logística reversa. Este instrumento vem sendo construído ao longo das últimas décadas, já que é um processo dinâmico de conhecimentos, habilidades e atitudes que são desenvolvidos e aprimoradas de acordo com as exigências legais de um país e seus avanços tecnológicos (RODRIGUES, 2002).

Carter e Ellram (1998) em suas pesquisas adicionaram ao conceito da logística reversa a questão da eficiência ambiental, está se referindo ao atendimento da legislação ambiental e otimização do uso dos recursos naturais evitando a escassez para as gerações futuras. Já Gonçalves e Marins (2006) utilizam a definição do *Reverse Logistics Executive Council (RLEC)* para definir o instrumento da logística reversa, onde a ferramenta é descrita como:

“Um processo de planejamento, implementação e controle do fluxo de matérias-primas, dos processos de produção e de produto acabado, e das informações, do ponto de consumo até a origem, com o fim de recapturar valor ou oferecer um destino ecologicamente adequado” (RLEC, 1998).

Em território nacional para estabelecer um planejamento que apoiasse o controle do fluxograma dos resíduos industriais, em 1988 uma resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu a obrigatoriedade da realização do que foi intitulado de “Inventário Nacional de Resíduos Industriais”, por todas as diligências estaduais de gerenciamento de resíduos industriais (órgãos públicos ajudariam as empresas nestes inventários iniciais). Em outubro de 2002, o CONAMA fez uma revisão da Resolução de 1988, dando ênfase às responsabilidades civil, penal e ambiental de cada gerador dos resíduos industriais. Com a revisão todas as informações sobre a geração, características, armazenamento, transporte, tratamento, reutilização, reciclagem, recuperação e disposição final dos resíduos sólidos gerados pelas indústrias

do país foram organizadas em sistemas, permitindo um maior domínio dos dados e melhor controle pelos órgãos públicos.

Nos últimos anos este inventário evoluiu e atualmente várias empresas que geram diferentes tipos de resíduos são obrigadas a entregar anualmente para seu órgão ambiental municipal o que hoje intitula-se de PGRS – Plano de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos. Trata-se de um documento que possui a quantidade de geração de cada tipo de resíduo gerado nas empresas, órgão público ou indústrias que se enquadram na obrigatoriedade da confecção do PGRS, de acordo com a lei 12.305/2010 como obrigatório devido a seu ramo de atuação. Alguns exemplos destes locais obrigados a elaborar o plano são: geradores de resíduos de saneamento básico em grande escala, geradores resíduos industriais, geradores resíduos de saúde, geradores resíduos construção civil, entre outros. Através do PGRS cada empresa detalha as formas ambientalmente corretas que são empregadas para o manejo, acondicionamento, transporte, tratamento, reciclagem e disposição final de seu resíduo gerado (ABELPRE, 2018).

2.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO (PDP)

O desenvolvimento de produtos é um processo fundamental para o mercado a nível mundial. Segundo Clark & Fujimoto (apud SILVA, 2002) o desenvolvimento de produtos é basicamente: “o esforço realizado por um conjunto de pessoas de uma empresa na transformação de dados sobre oportunidades de mercado e possibilidades técnicas em bens e informações para a fabricação de um produto comercial”. Já para Takahashi (2007) o desenvolvimento de novos produtos pode ser visto como uma passagem do abstrato, do intangível, que contempla as ideias ainda subjetivas e não muito claras, para o concreto, o tangível, como resultado: um “produto físico”. O processo de desenvolvimento de produtos possui diversos pontos positivos, como o auxílio no aumento da diversidade de produtos, maior competitividade entre empresas, maior oferta de produtos e conseqüentemente menor custo ao consumidor final. Entretanto, do ponto de vista ambiental, há alguns pontos negativos que devem ser salientados, como a redução dos ciclos de vida dos produtos, estimulando um descarte prematuro e, portanto, um aumento desnecessário de resíduos descartados no meio ambiente. Com o desenvolvimento de novos produtos é possível atender segmentos

específicos de mercado, incorporando novas tecnologias e se adequando a novos padrões e restrições legais (ROSENFELD *et al.*, 2006). Portanto, no Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), as necessidades do mercado são responsáveis pelas especificações dos produtos e, as diretrizes das empresas e suas tecnologias atuam como definidoras de suas possibilidades e capacidade produtiva (CHAKRABARTI *et al.*, 2005).

Para avaliar o desempenho de um projeto para desenvolvimento de produto há cinco dimensões: qualidade do produto, custo do produto, tempo de desenvolvimento, custo do desenvolvimento e o aprendizado do desenvolvimento (ULRICH & EPPINGER, 1995). Diante destes aspectos, para certificar a qualidade de um produto é necessário analisar e buscar melhoria constante no processo em todas as suas etapas, minimizando defeitos, desperdícios, descartes desnecessários e impactos ambientais.

Por ser um processo complexo, vários modelos foram desenvolvidos para estruturar o desenvolvimento de produtos, dentre eles:

a) *Modelo de Asimow* – modelo que trata desde a necessidade do projeto até as etapas finais do ciclo de vida do produto, com estrutura cíclica e processos que se repetem ao longo das etapas (ASIMOW, 1968);

b) *Modelo Cascata* – modelo sequencial onde as atividades são agrupadas em tarefas que só podem ser executadas ao término da anterior, ou seja, o modelo só avança com a validação da etapa anterior (ROYCE, 1970);

c) *Modelo Takahashi (2007)* - as decisões de um projeto de desenvolvimento de produtos satisfatórios englobam áreas técnicas e econômicas de uma empresa. A combinação destas decisões nas fases de desenvolvimento contribui para a diminuição da incerteza do projeto, caracterizando assim o processo de desenvolvimento de produto análogo a um “funil” (TAKAHASHI & TAKAHASHI, 2007). Segundo Takahashi *et al.* (2007), o desenvolvimento de produtos deve ser dividido nas seguintes etapas:

- ✓ Etapa 0 – Avaliação de conceito: avaliar as oportunidades de produto e iniciar o processo de desenvolvimento do produto;
- ✓ Etapa 1 – Planejamento e especificação: definir claramente o produto, identificar vantagens competitivas, esclarecer funcionalidade e determinar a viabilidade do desenvolvimento em um grau mais detalhado do que na fase 0;
- ✓ Etapa 2 – Desenvolvimento: desenvolver o produto propriamente dito, baseando-se

nas decisões tomadas e aprovadas da “revisão da fase 1”. Os detalhes do projeto e atividades de desenvolvimento acontecem nessa fase;

- ✓ Etapa 3 – Teste e avaliação: realizar o teste final e preparar a produção e o lançamento do produto;
- ✓ Etapa 4 – Liberação do produto: verificar se a produção, o marketing de lançamento de produto, o sistema de distribuição e o suporte ao produto estão preparados para iniciar as atividades.

Importante salientar que neste método o passo principal do planejamento é fazer uma pesquisa de mercado para saber as tendências e, a partir dela as ideias são lançadas e vão sendo afinadas conforme são feitas as primeiras especificações. Os estágios iniciais são os mais importantes no processo de desenvolvimento de novos produtos, pois nestes estágios os gastos com o desenvolvimento ainda são relativamente pequenos, a pesquisa só ocorreu no papel e os trabalhos de projeto consistem apenas em desenhos e modelos baratos (protótipos básicos). Os produtos que começam com uma boa especificação têm três vezes mais chances de sucesso do que aqueles com especificações vagas ou acompanhamentos iniciais mal feitos. Portanto, é fundamental investir tempo e recursos nas primeiras fases do processo de desenvolvimento para garantir maiores chances de sucesso (BAKSTER, 2003).

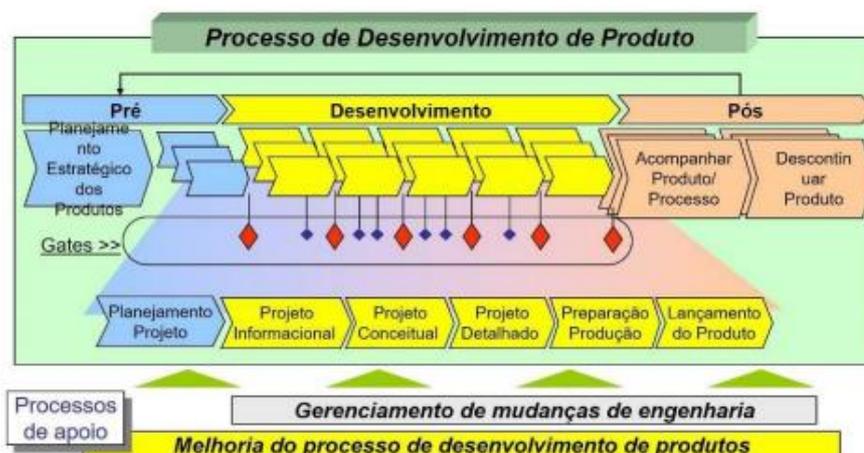
d) *Modelo Unificado de Rozenfeld et al. (2006)* - o PDP deve incluir atividades de planejamento estratégico no início do processo e atividades de acompanhamento da produção e de retirada do produto do mercado no fim de seu ciclo de vida. Para este autor, a principal divisão das atividades do PDP é classificada em apenas três macrofases que compreendem o pré-desenvolvimento, o desenvolvimento e o pós-desenvolvimento, conforme apresentado na Figura 4 e descrito a seguir:

- ✓ **Pré-desenvolvimento** - também conhecido como planejamento do produto, é definido como a etapa de criação do produto a ser desenvolvido, isto é, o escopo do projeto de desenvolvimento, a avaliação econômica, as avaliações de capacidade de risco, a definição de indicadores para monitoramento e a definição de planos de negócio. Esta fase inclui também o planejamento estratégico do produto, onde será analisado o planejamento estratégico da empresa e definidos os produtos que podem alcançar os objetivos de acordo com os valores e estratégias da empresa;
- ✓ **Desenvolvimento** - comporta um número maior de atividades relacionadas com o

projeto de um produto, podendo ser dividida em quatro microetapas: i) Projeto Informacional - é realizado a aquisição de informações junto ao cliente das necessidades/requisitos sobre o projeto em questão e sua posterior interpretação. ii) Projeto Conceitual - é proposto o conceito a ser adotado pelo produto baseado nas informações obtidas na fase anterior. É realizada uma síntese da estrutura de funções a ser desempenhada pelo produto, a fim de atender às necessidades do consumidor. iii) Projeto Preliminar - conhecendo-se o conceito e a estrutura funcional do produto pode-se dimensioná-lo, selecionando-se materiais, formas, componentes, processos de fabricação e montagem etc. Ao final desta fase, os produtos estão totalmente estruturados. iv) Projeto Detalhado é a fase final, onde a disposição, a forma, as dimensões e as tolerâncias dos componentes são finalmente fixadas. Com todos os recursos em mãos, realiza-se então o lançamento oficial do produto;

- ✓ **Pós-desenvolvimento** - determina que seja feito um planejamento de como o produto será acompanhado e retirado do mercado. Definem-se as equipes e os recursos necessários para as alterações de engenharia, visando correções de potenciais falhas e/ou adição de melhorias requisitadas pelos clientes. Deve-se fazer o acompanhamento do produto a fim de realizar melhorias contínuas até que sejam atingidas as metas estabelecidas durante o PDP e o produto seja descontinuado. Inicia-se então a retirada do produto do mercado e todas as providências em relação ao descarte do material para o meio ambiente devem ser tomadas.

Figura 4 – Etapas do processo de desenvolvimento de produtos.



Fonte: Adaptado de ROZENFELD *et al.* (2006).

Na literatura científica são encontrados diversos modelos e conceitos para o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), entretanto para o presente estudo será utilizado como base as pesquisas realizadas por Rozenfeld *et al.* (2006), Pereira (2014), Sales (2018), Okumura (2017), Fernandes (2017) Teixeira (2017), De Sá (2017), Unruh (2015), Setti (2014) e Unruh (2020).

2.3 SUSTENTABILIDADE

Sustentabilidade vem do termo "sustentável", que deriva do latim *Sustentare*, significando sustentar, defender, favorecer, apoiar, conservar e/ou cuidar. O conceito de Sustentabilidade foi mencionado pela primeira vez em 1713 por *Hans Carl von Carlowitz* em seu livro: "*Sylvicultura Oeconomica*", referindo-se à silvicultura sustentável, que se baseava na utilização da madeira replantada assegurando fertilidade ao solo (GARCIA-SERNA *et al.*, 2007). Nas décadas de 1960 e 1970, época de mudanças socioculturais significativas, se iniciaram as grandes reflexões sobre os danos causados ao meio ambiente, gerando os primeiros esforços para criação de diretrizes e regras para salvar o planeta. Gradativamente o tema deixa de ser algo fora dos padrões e começa a ser entendido e defendido por milhares de pessoas, tornando-se deste então um desafio global. Em 1963 o Congresso Americano reuniu-se para pedir por novas políticas destinadas a proteção da saúde humana e do meio ambiente. Seus atos foram de extrema importância para o início da conscientização sustentável. Desde esta primeira aparição (1713), o conceito foi se desenvolvendo e a definição vigente é criada no ano de 1972, em Estocolmo (Suécia), na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (UNCHE), entre os dias 5 e 16 de junho de 1972.

A Conferência de Estocolmo é a primeira conferência sobre meio ambiente realizada pela ONU, que chamou atenção internacionalmente por causa de suas polemicas questões relacionadas à degradação ambiental e à poluição, com propostas de desaceleração da poluição causada por grandes potências, como os EUA e países europeus, propondo medidas drásticas como a própria desaceleração da produção. Nesta ocasião, foram discutidos os efeitos nocivos das mudanças climáticas globais e definido o termo "Desenvolvimento Sustentável" (FBDS, 2012). Com a disseminação das ideias para diminuição da poluição e proteção do meio ambiente criadas na conferência de Estocolmo, vários estudos começaram a ser publicados, como o relatório

“Nosso Futuro Comum”, redigido pela Comissão *Brundtland*. O texto foi publicado em 1987 e nele foi estabelecido que o desenvolvimento sustentável corresponde ao desenvolvimento das gerações presentes sem comprometer a capacidade de desenvolvimento das gerações futuras para satisfazer as suas próprias necessidades (GARCIA-SERNA *et al.*, 2007).

Somente 20 anos após a conferência de Estocolmo, na Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Eco-92 ou Rio-92), em 1992, no Rio de Janeiro (Brasil), foi consolidado o conceito de desenvolvimento sustentável. A partir desta data o conceito passou a ser entendido como o desenvolvimento a longo prazo, de maneira que não sejam exauridos os recursos naturais utilizados pela humanidade no presente momento. Nota-se que há poucas alterações da definição dada pela comissão *Brundtland*, de 1987. A Eco-92 também deu origem a outro importante mecanismo de controle e auxílio ao desenvolvimento sustentável, denominado de Agenda 21. Trata-se de um documento que estabeleceu a importância do comprometimento da maioria os países com as soluções dos problemas socioambientais. A Agenda 21 trouxe reflexões sobre o planejamento participativo em nível global, nacional e local e sua meta é estimular a criação de uma nova organização econômica e civilizatória (UN USA, 2008). A Agenda 21, especificamente do Brasil, tem como ações os programas de inclusão social (incluindo distribuição de renda, acesso à saúde, educação, saneamento) e desenvolvimento sustentável (incluindo sustentabilidade urbana e rural; preservação dos recursos naturais e minerais, ética e política para o planejamento) (ONU BR, 2017).

Estas ações foram revistas e reforçadas novamente em 2002, na Cúpula da Terra sobre Desenvolvimento Sustentável de Joanesburgo na África do Sul. Nesta oportunidade houve a sugestão de uma maior integração entre as dimensões econômica, social e ambiental por meio de programas e políticas centrados nas questões sociais e, em especial, nos sistemas de proteção social (UN USA, 2008). Desde então, as emissões de gases com efeito estufa e outros tipos de degradação ambiental são fiscalizados por diversas nações com o objetivo de minimizar e, se possível, zerar a interferência deste tipo de poluição no sistema climático, movimentando esforços em busca do desenvolvimento sustentável. Entretanto, estas ações não estão sendo suficientes para evitar que o aquecimento global atinja limites alarmantes. Para tentar frear a produção descontrolada de gases que causam efeito

estufa, nos últimos anos está crescendo o número de conferências e tratados para auxiliar no controle por parte das nações, sendo estabelecidas regras e metas a serem alcançadas, como por exemplo em 2015, a 21ª Conferência da ONU sobre mudança climática realizada em Paris, também conhecida como COP-21 onde foi elaborado o “Acordo de Paris”. O seu objetivo é manter o aquecimento global abaixo de 2°C, buscando limitar a temperatura global a 1,5°C, o que ainda é uma situação inquietante podendo desencadear efeitos climáticos preocupantes e até mesmo catastróficos. Além disso, o G7, grupo das 7 nações mais desenvolvidas do mundo, assumiu o compromisso de investir 100 bilhões de dólares por ano em medidas de combate à mudança do clima e adaptação de países em fase de desenvolvimento (ONU BR, 2017).

Como o desenvolvimento econômico é impulsionado pelas indústrias que estão em busca por inovação e conseqüentemente aumento de sua capacidade produtiva, a forma de continuar se desenvolvendo é através de uma política sustentável que apoie o desenvolvimento de produtos e serviços dentro dos conceitos da sustentabilidade (DE SÁ, 2017), corroborando o conceito do Tripé da Sustentabilidade (*Triple Bottom Line*), Figura 5, criado em 1994, pelo sociólogo Britânico *John Elkington*. Trata-se de um modelo composto por três dimensões (pilares) que devem agir integradamente para que o conceito seja plenamente satisfeito, sendo os pilares definidos como: social, ambiental e econômico.

Figura 5 – Tripé da Sustentabilidade.



Fonte: Baseado em *John Elkington* (1994).

O aspecto social (Pessoas) trata do capital humano, objetivando pelo bem-estar do ser humano, com trabalho digno, remuneração compatível, educação, segurança, lazer e justiça para com a sociedade. No pilar ambiental (Planeta), ou capital natural, deve-se evitar e minimizar os impactos ambientais causados pelas atividades humanas, buscando preservar o meio ambiente, os recursos naturais e buscar formas mais eficientes de desenvolver projetos com menor impacto em toda sua cadeia produtiva. O pilar econômico (Lucros) refere-se às causas e efeitos das decisões no âmbito social e ambiental, ou seja, manter uma economia que garanta fluxo econômico positivo, com geração de empregos, garantia da estabilidade e bem-estar da sociedade não degradando o meio ambiente (MANZINI *et al.*, 2005). Para auxiliar neste processo, a *International Organization for Standardization (ISO)*, com sede em Genebra e com 160 países associados, responsável por criar normas para comércio e boas práticas de gestão, desenvolveu a ISO 14000 para gestão do meio ambiente (INMETRO, 2017), que procura garantir a preservação ambiental fazendo com que as empresas se comprometam com as diretrizes propostas (DE SÁ, 2017).

2.3.1 Projeto para Manufatura Sustentável

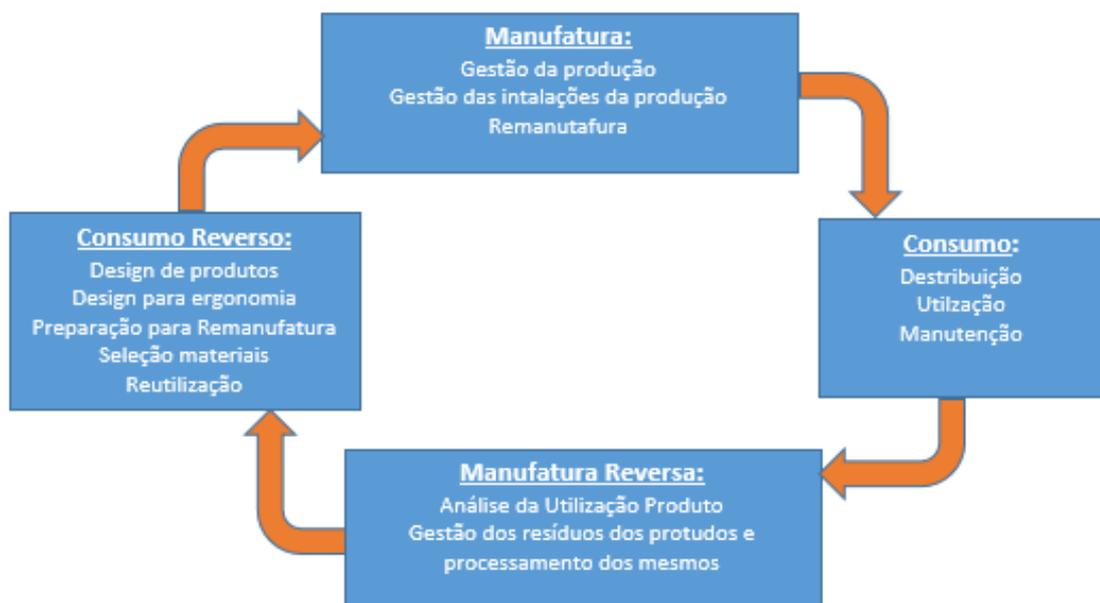
O Projeto para a Manufatura Sustentável tem como objetivo principal a criação de produtos através de processos produtivos eficazes que garantam baixos níveis de poluição e impacto ambiental, desenvolvendo produtos de boa qualidade, funcionais e dentro das expectativas do mercado. Para se criar um produto orientado para o Projeto de Manufatura Sustentável é preciso que, nas esferas de processo, produto e sistema, o projeto atenda requisitos pensando no mínimo impacto ambiental, reutilizando matéria prima, aumentando ciclo de vida do produto, entre outros (JAWAHIR *et al.*, 2008). Estes requisitos são divididos em tópicos da seguinte forma:

- i) Projeto para reparo, reutilização e reciclagem de produtos descartados;
- ii) Projeto para minimização de resíduos e riscos ambientais (processos produtivos eficazes);
- iii) Projeto para eficiência energética (processos produtivos eficazes);
- iv) Design para desmontagem do produto (reutilização);
- v) Design para remanufatura (reutilização);
- vi) Design para uso otimizado de materiais (aumento ciclo de vida);

vii) Design para rentabilidade (produto fácil comercialização).

O termo “projeto para manufatura sustentável” pode ser entendido como um ciclo, que inclui a integração de feedbacks entre os diferentes estágios do ciclo de vida de um produto, conforme mostrado na Figura 6 (JOVANE *et al.*, 2008). Tais feedbacks auxiliam nas tomadas de decisões e ditam quais passos devem ser aplicados desde a fase de design para garantir que a utilização do produto pelo usuário final e seu descarte/reutilização sejam adequados, criando assim uma cadeia produtiva sustentável.

Figura 6 – Ciclo do Design voltado a produção sustentável.



Fonte: Adaptado de JOVANE *et al.* (2008).

Através da aplicação do projeto para manufatura sustentável também é possível alcançar melhorias nos métodos de fabricação, embalagem, montagem e técnicas de transporte e armazenamento (ANDERSON, 2014). A funcionalidade, que inclui diferentes aspectos, como durabilidade, facilidade de uso, facilidade de manutenção, capacidade de atualização, ergonomia, eficácia de função e confiabilidade também é um requisito importante ao aplicar este tipo de design, sendo fundamental principalmente o aumento do ciclo de vida do produto (BADURDEEN *et al.*, 2013). Com relação a parte social deste tipo de design a segurança operacional, o efeito saúde-bem-

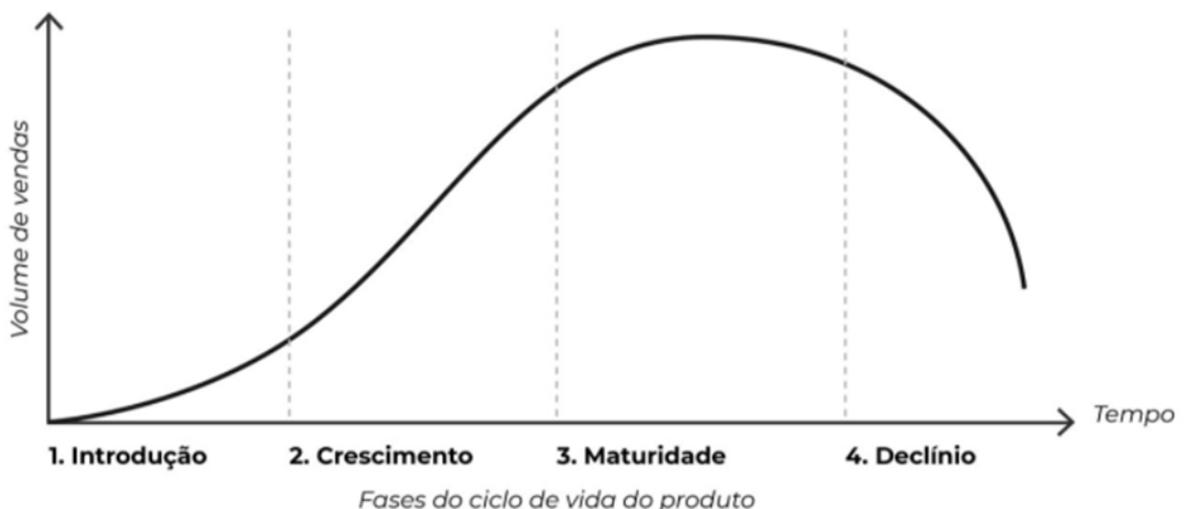
estar e a responsabilidade ética são os principais requisitos a serem alcançados (BENNETT *et al.*, 2017).

2.3.2 Ciclo de vida dos produtos e Reutilização de materiais descartados - Produção sustentável

Para a concepção de um produto o mesmo deve passar por determinadas fases, as quais englobam desde de sua criação até sua inutilização, sendo todo este processo denominado de ciclo de vida do produto. Este ciclo é fundamental para as empresas, pois com um ciclo de vida do produto bem definido a empresa pode identificar com maior clareza e assertividade em qual momento/fase do ciclo de vida um determinado produto está. Ou seja, se ele já alcançou seu pico de lucratividade (maturidade), quando é necessário fazer um novo lançamento de produto, quando é preciso começar a investir em pesquisa e desenvolvimento para desenvolver novos produtos (OMETTO *et al.*, 2015).

Para este correto dimensionamento de qual fase o produto se encontra, se deve levar em consideração 4 métricas principais: a) número de vendas, b) custo de investimento, c) como se comporta a concorrência e d) resultados (lucro). Levando em consideração estas métricas, pode-se dividir o ciclo de vida em 4 estágios/fases: a) introdução no mercado, b) estágio de crescimento, c) estágio de maturidade e d) estágio de declínio, como mostra a Figura 7 (OMETTO *et al.*, 2015).

Figura 7 - Estágios Ciclo de Vida.



Fonte: Adaptado de Eveka (2018).

Segundo Ometto *et al.* 2015 com relação ao primeiro estágio, denominado de introdução no mercado, este é o momento em que o produto é lançado para venda aos consumidores. Essa é a etapa mais cara do ciclo de vida de um produto, pois são feitos grandes investimentos de marketing para alcançar os primeiros clientes e os mesmos disseminarem a informação de que o produto realmente é um bom investimento para as demais pessoas. Como é um momento de “criar” a demanda pelo produto é comum que o número de vendas ainda seja baixo e não tenha lucos na operação.

O segundo estágio é denominado de crescimento e é quando os investimentos no lançamento começam a dar resultados. O produto já é reconhecido pelos clientes, as vendas por indicação começam a crescer e a taxa de recompra por um mesmo cliente são maiores. Mas é também na fase do crescimento que surgem a maioria dos concorrentes, sendo neste estágio um período crítico, já que se o concorrente apresentar produto de melhor qualidade ou com menor custo, há grandes possibilidades de o volume de vendas ser consideravelmente reduzido. Com o sucesso de novos produtos concorrentes sendo lançados e, portanto, permitindo mais opções de escolha aos consumidores, a tendência é uma pequena baixa nos preços dos produtos, sendo uma tática para tentar conquistar uma maior fatia do nicho de mercado o qual o produto está inserido.

A terceira fase denominada de maturidade é caracterizada por apresentar um grande volume de vendas, mas a taxa de crescimento começa a estagnar. O produto está amplamente difundido no mercado e os custos ainda estão estáveis, pois mesmo com uma redução do preço do produto para adquirir uma maior fatia do mercado, há um aumento no número das vendas.

Esse é o momento em que o mercado é quase 100% atendido e está cheio de concorrentes. É comum que nessa fase comece a “guerra por participação de mercado”, ou seja, as grandes promoções começam a surgir, os preços são ainda mais reduzidos e se a empresa se descuidar acaba sendo empurrada para a quarta etapa do ciclo de vida do cliente de forma precoce.

O último estágio definido como declínio é o fim do ciclo de vida de um produto. Nessa fase as vendas começam a cair, seja por pressão dos concorrentes ou pelo surgimento de novas tecnologias que estão substituindo o produto criado. O declínio ainda pode ser causado pela inercia, ou seja, os clientes simplesmente se cansaram

daquele produto e estão procurando por uma experiência nova, seja ela no mesmo ramo de atividade ou em um ramo completamente diferente. Neste momento, como há um grande número de concorrentes, uma queda significativa no número de vendas, a principal ação a ser tomada pelas empresas é a redução nos investimentos em *marketing* e comercial.

Segundo Ometto *et al.* (2015) quando um produto atinge o ultimo nível do ciclo de produto (declínio), a empresa produto pode tomar algumas atitudes, entre elas:

- Fazer o lançamento de novas funcionalidades no produto ou variações (sabores diferentes, aplicações em outros mercados, etc) buscando prolongar o ciclo de vida do produto, voltando a um estágio anterior (crescimento);
- Ativar a equipe de pesquisa e desenvolvimento e lançar um novo produto e reiniciar o ciclo, inserindo um novo produto no estágio de introdução (fase 01);

Além destas ações que podem ser tomadas quando um produto entra na fase de declínio, pensando de forma sustentável, também é possível focar no fim do ciclo de vida deste produto estudando formas para que o mesmo seja reinserido nos meios produtivos, voltando a ser uma forma de matéria prima para concepção de novos produtos, reiniciando o ciclo de vida do produto e voltando à fase de introdução (primeiro estágio).

Portanto, o foco desta pesquisa será criar uma abordagem que ajude a conectar o fim de vida de um produto com o primeiro estágio do ciclo, reinserindo este produto, que seria descartado na sua fase de declínio, como matéria prima para concepção de novos produtos que serão lançados no mercado. Para atingir este objetivo, é necessário o foco em processos produtivos que permitam essa integração e reutilização de produtos.

Atualmente produtos são projetados objetivando à facilidade de fabricação, redução de custos e maximização de lucros, mas em contrapartida geram grandes quantidades de resíduos (BARBIERI, 2007).

Segundo a Comissão Europeia (2012), desde 2007 houve a criação de um modelo padronizado de documento que traz o perfil ambiental do ciclo de vida de cada produto fabricado, denominado *Environmental Product Declaration* - EPD. Cada

empresa é responsável pelo preenchimento deste documento, que demonstra o grau de consciência ambiental incluído em cada produto, de acordo com vários fatores como quantidade de resíduos gerados, tempo de ciclo de vida do produto e facilidade de reutilização. Este documento auxilia os consumidores na hora da decisão de escolha de produto frente a diferentes fornecedores, sendo os indicadores de tempo de ciclo de vida e da porcentagem de reutilização de materiais do produto descartado os de maior relevância no processo de decisão do consumidor nos últimos anos (DEL BORGHI *et al.*, 2007). Estes dados confirmam como a reutilização de materiais tornou-se indispensável para as indústrias nestes últimos anos, pois agora além de auxiliar no impacto ambiental, também promoverá maior receita à empresa com volume maior de produtos vendidos.

Segundo o *The Great Recovery Project* (2012), existem quatro grandes diretrizes (tipos de projetos) que podem ser aplicadas em conjunto ou separadamente, que contribuem para criação de produtos sustentáveis orientados ao máximo reaproveitamento de materiais e mínima geração de resíduos:

- i) *Projeto para a longevidade*: manter o produto em uso pelo maior tempo possível representa o “ciclo de raio zero”, mantendo os materiais próximos do consumidor. A estratégia maximiza o uso de materiais e energia, exigindo produtos de maior qualidade, que durem mais, permitam consertos, atualizações, e tenham atributos que façam as pessoas não os descartar. O princípio é o oposto da obsolescência programada, que precisa enfrentar a resistência dos modelos de negócio atuais, calcados no volume de venda de produtos;
- ii) *Projeto para produtos de uso compartilhado*: o desenvolvimento de plataformas digitais e de uma nova cultura de consumo compartilhada tem facilitado a introdução destes modelos de negócio em alguns casos, como o empréstimo de bicicletas, aluguel de automóveis, uso compartilhado de eletrodomésticos. Com o compartilhamento é possível maximizar o tempo de uso de cada produto físico e modificar a atuação de consumidor para a de um usuário de um determinado produto.
- iii) *Projeto para o reuso e remanufatura*: projetar produtos que possam ser facilmente consertados ao quebrar, e que partes destes ou o todo possam ser reusadas quando chegarem seu “1º fim do ciclo de vida”. Novamente seria necessário vencer a

resistência dos modelos de negócio atuais, cujo lucro advém quase que exclusivamente da venda de novos produtos. Este projeto para ser colocado em prática depende de uma infraestrutura de coleta e logística reversa sólida e eficaz, com modelos diferentes dos existentes hoje para os sistemas de responsabilidade estendida do produtor, com foco mais em preservar o valor da qualidade do material, e não em seu volume coletado;

- iv) *Projeto para recuperação*: os materiais são recuperados por meio da reciclagem tradicional, ou quando não possível, tem seu conteúdo energético aproveitado por meio da incineração com recuperação de calor. Seria uma solução para casos de produtos de vida muito curta, como algumas embalagens descartáveis. Para seu sucesso, seria necessário reduzir a contaminação na coleta, o que poderia ser facilitado se houvessem algumas restrições a certos materiais (não misturar com resíduo orgânico produtos plásticos, por exemplo).

Para atingir um nível de produção considerado sustentável, com grande parte dos materiais que seriam descartados retornando aos processos produtivos, é necessária uma verdadeira revolução no projeto dos produtos, encorajando aspectos como longevidade, durabilidade, potencial de reparo, possibilidade de atualização (upgrade), reuso, remanufatura e reciclagem pensados desde a fase de design. Além disso, os modelos de negócio das empresas precisariam ser revistos, alterando formas de visualização de parâmetros, como por exemplo fazer do consumidor um usuário de um produto compartilhado, eliminar a obsolescência programada, criar padronizações de projeto para desmontagem.

2.4 DISCUSSÃO DO CAPÍTULO 2

Neste capítulo foi apresentado uma revisão da literatura sobre os pilares desta pesquisa: i) Descarte de Resíduos e Logística Reversa, ii) Processo de Desenvolvimento de Produtos e iii) Sustentabilidade.

Com relação ao descarte de resíduos e logística reversa, a revisão mostrou que a destinação de resíduos é um problema sério em diversos países e, no Brasil, se a geração de lixo continuar no patamar dos últimos anos não teremos mais terrenos para

construção de aterros sanitários. Com o conhecimento desta limitante, se torna fundamental a criação de abordagens que garantam o reaproveitamento de materiais.

Já ao analisar sobre o tópico de desenvolvimento de produtos, é possível identificar uma limitação nos métodos existentes para que possam auxiliar empresas a definir diretrizes para o reaproveitamento de materiais, apresentando linguagem simples e proporcionando fácil entendimento para pessoas de diferentes níveis culturais.

O último pilar analisado neste capítulo, a sustentabilidade, se entende que o conceito do tripé da sustentabilidade deve ser incorporado a qualquer abordagem a ser criada, levando em considerações seus aspectos social, econômico e ambiental. Ou seja, uma abordagem que objetive alcançar melhorias que garantam atender estes 3 pilares será sucedida do ponto de vista sustentável.

A revisão criada neste capítulo forneceu uma base teórica para a pesquisa e indicou a necessidade da criação de uma abordagem simples que permita a reutilização de materiais que seriam descartados precocemente para aterros sanitários. Partindo deste ponto, o próximo capítulo apresentará uma revisão sistemática da literatura e uma análise do conteúdo que investigará as limitações e contribuições existentes nas pesquisas atuais, as quais servirão de base para o desenvolvimento de uma abordagem para apoiar o desenvolvimento de produtos a partir de materiais descartados.

3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA E ANÁLISE DO CONTEÚDO

A elaboração de uma revisão sistemática, assim como outros tipos de estudo, é uma forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados a literatura disponível sobre determinado tema em diferentes bases. Esse tipo de investigação oferece um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada. Segundo Sampaio (2006) “A elaboração de uma revisão sistemática, assim como outros tipos de estudo, é uma forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados a literatura disponível sobre determinado tema em diferentes bases. As revisões sistemáticas integram as informações de diferentes estudos realizados separadamente sobre determinada linha de pensamento, que podem apresentar resultados conflitantes e/ou coincidentes, bem como identificar temas que necessitam de maior aprofundamento, ou seja, quais temas necessitam de investigações futuras”.

O objetivo de uma revisão sistemática é atingido quando pesquisas relevantes para a área de pesquisa em questão são filtradas de acordo com perguntas previamente definidas, que orientam o rumo do estudo. Já a análise do conteúdo é um método qualitativo cujo objetivo é filtrar cuidadosamente as pesquisas obtidas na revisão da literatura e identificar em que perspectiva cada abordagem será classificada dentro de grupos de assuntos existentes na pesquisa. As revisões sistemáticas integram as informações de diferentes estudos realizados separadamente sobre determinada linha de pensamento, que podem apresentar resultados conflitantes e/ou coincidentes bem como identificar temas que necessitam de maior aprofundamento, ou seja, quais temas necessitam de investigações futuras (SAMPAIO, 2006). Buehler *et al.* (2012) considera a revisão sistemática como “um método de síntese de evidências que avalia criticamente e interpreta todas as pesquisas relevantes disponíveis para uma questão específica, área de conhecimento ou fenômeno de interesse, porque é um método explícito e sistemático para identificar, selecionar e avaliar a qualidade das evidências”. Os princípios metodológicos desenvolvidos pelas pesquisas de Mattioda *et al.* (2015) e Szejka *et al.* (2017) foram utilizados para orientar o desenvolvimento deste estudo, apoiando o processo de estruturação que foi adaptado ao presente tema

A revisão sistemática de literatura foi estruturada em 8 etapas: i) determinar as questões de pesquisa (baseado na fundamentação); ii) determinação das palavras-chave (pilares da pesquisa); iii) definição do tipo de relacionamento entre as palavras-chave; iv) Busca de artigos nas bases científicas de dados; v) Análise dos títulos e resumos para seleção de artigos - *Inclusion/Exclusion criteria*; vi) Classificação dos artigos selecionados em grupos de acordo com a área de abrangência - Simultaneidade; vii) Análise para o refinamento da seleção dos artigos mais relevantes para os temas de pesquisa; viii) Validação do resultado da seleção dos artigos. A seguir os artigos selecionados na Revisão Sistemática foram submetidos à análise do conteúdo que determinou as pesquisas e autores mais relevantes para a pesquisa. A Figura 8 mostra a metodologia da Revisão sistemática da literatura e análise do conteúdo.

Figura 8– Revisão Sistemática da Literatura.



Fonte: O autor.

3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

3.1.1 Determinação das questões de pesquisa da Revisão Sistemática e Análise do conteúdo

Os princípios metodológicos desenvolvidos pelas pesquisas de Mattioda *et al.* (2015) e

Szejka *et al.* (2017) foram utilizados para orientar o desenvolvimento deste estudo, apoiando o processo de estruturação que foi adaptado ao presente tema. Uma pesquisa prévia ou Fundamentação Teórica sobre estudos conectados ao cenário da utilização de materiais descartados aplicados no desenvolvimento de novos produtos identificou as oportunidades de aprofundamento de estudos e foi utilizada na formulação das questões de pesquisa e na identificação das palavras chaves.

Os tópicos escolhidos para a pesquisa foram selecionados após a fundamentação teórica, identificando na literatura possíveis oportunidades de pesquisas que poderiam ser desenvolvidas para auxiliar o descarte correto de materiais. Além disso, o crescimento do consumo e do descarte de produtos precocemente cria um aumento na produção de resíduos, acarretando problemas ambientais com destinação incorreta e utilização de terrenos férteis para criação de áreas para despejo de materiais (aterros sanitários). Processos produtivos que foquem na reutilização de produtos que seriam descartados são fundamentais para garantir otimização financeira e um crescimento sustentável a nível ecológico. Assim, o desenvolvimento de produtos deve ser sustentável, levando em consideração desde a fase de design do produto requisitos como materiais que possam ser reutilizados, processos produtivos que possuam menor impacto ambiental, além oferecer uma solução para que no final do ciclo de vida, o produto possa retornar à produção com uma sólida logística reversa, reduzindo o uso da matéria prima dita primária. Neste contexto, duas questões surgiram durante a pesquisa:

- 1) *Quais são as pesquisas recentes e relevantes que abordam o desenvolvimento de produtos utilizando materiais descartados como matéria prima, fazendo uso de processos produtivos sustentáveis?*
- 2) *Quais são os autores mais relevantes e que mais contribuíram neste tema de pesquisa recentemente?*

3.1.2 Determinação das palavras chaves

A definição das palavras-chave são os pilares da pesquisa e foi baseada na questão problema da pesquisa proposta ao final do subitem 1.2 - Problematização. A determinação foi realizada de forma criteriosa para que representassem clara e

objetivamente todo o universo de pesquisa, sendo elas: “*Waste Disposal*”, “*Product Development*” e “*Sustainable*”.

O uso da Língua Inglesa para as palavras chaves é justificado por ser utilizada pela maioria da comunidade acadêmica nos periódicos científicos, e palavras correlatas foram incorporadas para uma maior abrangência dos temas propostos, aumentando o escopo da pesquisa. Para “*Product Development*” e “*Sustainability*” as palavras correlatas foram baseadas na pesquisa de Mattioda *et al.* (2015). Para “*Waste Disposal*”, foi utilizado o dicionário online denominado Thesaurus (THESAURUS, 2015), que listou todos os possíveis termos relacionados. Ao fim da etapa de definição das palavras correlatas, foram determinados 28 termos: 20 palavras relacionadas a “*Product Development*”, 7 palavras relacionadas a “*Waste Disposal*” e somente 1 palavra relacionada a “*Sustainability*”. A determinação de somente 1 palavra relacionada a palavra do pilar “*Sustainability*” foi devido a constatação de que todo o universo de pesquisa da palavra “*Sustainability*” estava contido dentro dos cruzamentos que foram encontrados ao utilizar a palavra “*Sustainable*”, sendo as 2 palavras definidas na pesquisa de Mattioda *et al.* (2015) para este tema. Portanto, para fins de otimização, a palavra *Sustainability* foi desconsiderada e, desta forma, o número de artigos repetidos diminuiu consideravelmente, já que os trabalhos duplicados encontrados para as palavras correlatas *Sustainability* e *Sustainable* foram retiradas das etapas de seleção. A Tabela 1 mostra as palavras chaves definidas para pesquisa e os termos correlatos utilizados.

Tabela 1 - Palavras Chaves e seus termos correlatos utilizados na pesquisa.

PRODUCT DEVELOPMENT	WASTE DISPOSAL	SUSTAINABILITY
Product Design	trash	Sustainable
Ecological Design	litter	
Design for Environment	disposal	
Environmentally Sustainability Design	scum	
Design for Sustainability	residue	
Manufacturing Design	sweepings	
Design Assessment	waste	
Embedded Design		
Design for Disassembly		
Green Design		
Life Cycle of the Product		
Developing New Product		

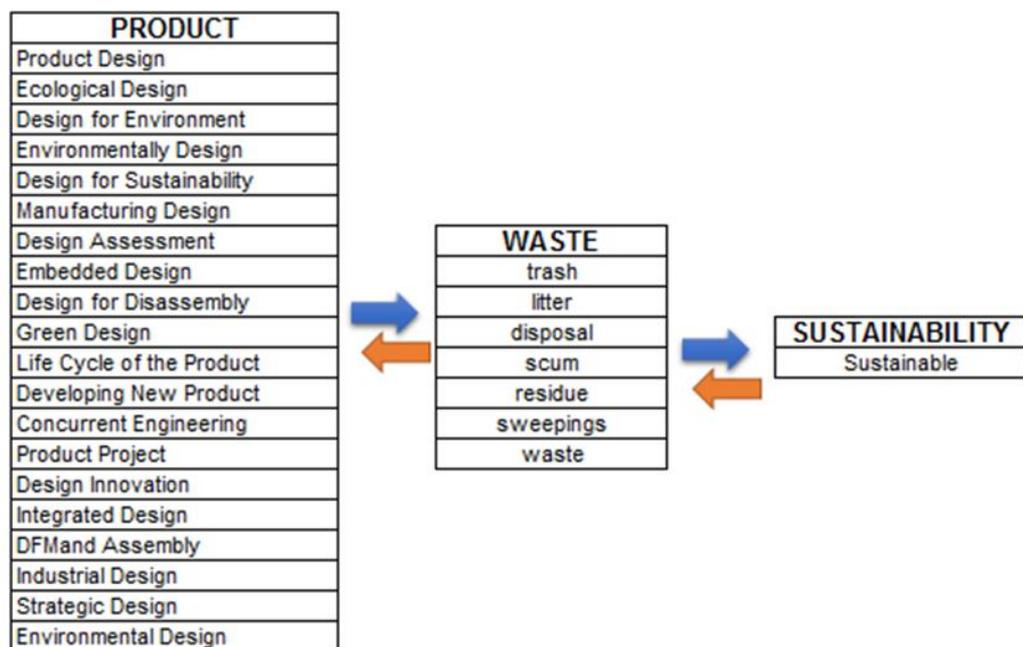
PRODUCT DEVELOPMENT	WASTE DISPOSAL	SUSTAINABILITY
Concurrent Engineering		
Product Project		
Design Innovation		
Integrated Design		
Design for Manufacturing and Assembly		
Industrial Design		
Strategic Design		
Environmental Design		

Fonte: O autor.

3.1.3 Definição do tipo de relacionamento entre as palavras-chave

Após a definição das palavras-chave, o segundo passo é entender como elas devem se relacionar entre si. Foram testados os cruzamentos 2x2 de palavras, mas esses cruzamentos não abrangiam de forma eficaz o universo de pesquisa. Para atender os requisitos da pesquisa, optou-se pelo cruzamento 3x3, ou seja, os 3 pilares de pesquisa com suas palavras relacionadas sendo cruzados ao mesmo tempo (Figura 9). Ao fim da etapa de definição das palavras para cruzamento, encontraram-se como resultado 28 palavras chaves combinadas 3 a 3, totalizando, portanto, 140 combinações de palavras (3 a 3).

Figura 9 - Cruzamento das palavras chaves e seus termos.



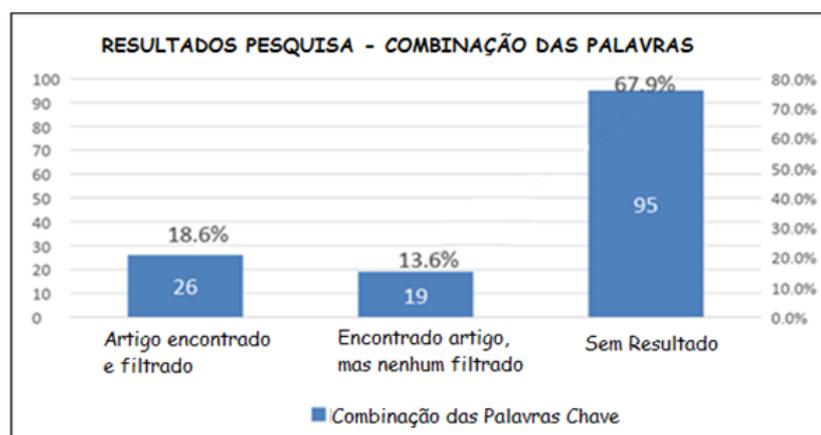
Fonte: O autor.

3.1.4 Busca de artigos nas bases de dados científicas de dados

Essa etapa foi realizada dentro da plataforma de pesquisa Portal CAPES/MEC (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), que possui uma biblioteca virtual de títulos científicos e textos completos em mais de 530 bases de referência (PORTAL DE JORNAIS CAPES / MEC, 2019). O Portal possui filtros, denominados de "parâmetros de pesquisa" que possibilitam encontrar de forma eficaz os artigos relacionados aos tópicos desejados. Nesta etapa foram utilizados os seguintes filtros como input: i) trios de palavras-chave e correlatas colocadas com o conector "AND", garantindo assim que as 3 palavras chave fossem procuradas ao mesmo tempo; ii) data de publicação – período de 2008 a 2019; iii) tipo de material - artigos; iv) artigos em Língua Inglesa; e v) revisão dos artigos por pares. A definição do período coberto foi baseada na fase de Fundamentação Teórica onde foi observado que nos últimos 11 anos (2008-2019) ocorreu a concentração e crescimento de publicação de artigos científicos sobre o tema proposto.

As 140 combinações de palavras definidas na etapa anterior foram inseridas na base de dados e o resultado da busca, apresentado na Figura 9, mostrou que somente 18,6% (apenas 26 das 140 combinações de palavras) resultou em artigos relacionados ao tema de pesquisa proposto. Já 13,5% (19 combinações de palavras) não obtiveram resultados significativos, ou seja, foram encontrados artigos na base científica, porém não atenderam aos critérios de exclusão definidos. O restante, ou seja, 67,9% (95 combinações) não apresentaram resultados para os temas propostos. Figura 10 mostra o resultado da busca dos artigos nas bases científicas de dados.

Figura 10 – Resultados da busca dos artigos nas bases científicas de dados.



Fonte: O autor.

As 26 combinações pertinentes aos temas de estudo resultaram na seleção de 11.762 artigos relacionados ao tema desta pesquisa e que passaram a formar a base de análise do estudo, sendo submetidos aos próximos passos de seleção.

3.1.5 Análise dos títulos e resumos para seleção dos artigos – Critérios de Inclusão/Exclusão

Esta fase constituiu do refinamento dos artigos selecionados na etapa anterior através da aplicação de critérios de inclusão e exclusão determinando os artigos filtrados na base de dados possui relevância para os temas de pesquisa ou não. Os critérios para esta seleção foram definidos a partir da Fundamentação Teórica e abrangeram somente temas sobre desenvolvimento de produtos utilizando materiais descartados. A Tabela 2 mostra os critérios definidos para esta fase.

Tabela 2 - Critérios de Inclusão/ Exclusão.

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
O título e o resumo contêm o tema da descrição do lixo / resíduo relacionado ao desenvolvimento do produto, com foco no reaproveitamento de materiais / otimização dos processos.	Artigos químicos, físicos e biológicos sobre resíduos, seus efeitos, aplicações.
	Detalhamento de materiais com foco na descoberta de novos produtos, como plásticos poliméricos, fibras.
Formas de gestão correta da geração de resíduos, com foco na diminuição / extinção da produção de resíduos nas indústrias e cidades.	Leis políticas e resoluções sobre resíduos e sua destinação.
	Artigos que não são escritos no idioma inglês.
Artigos publicados apenas entre 2008 a 2019 - revisão do ano de publicação	Artigos que não são revisados por pares – revisão.
	Artigos que exploram abordagens matemáticas ou modelagem.

Fonte: O autor.

Os critérios foram aplicados nos 11.762 artigos selecionados através da leitura dos títulos e abstracts, resultando em 136 artigos selecionados relacionados ao tema da pesquisa. Em seguida, foi realizado refinamento para duplicidade, sendo retirados 9 artigos repetidos e, reduzindo o total de artigos selecionados nesta etapa para 127, como descrito na Tabela 3.

Esse processo excluiu todos os artigos que não estavam totalmente relacionados aos temas de pesquisa, considerando apenas as referências fundamentais para este estudo. Antes da análise do conteúdo com a leitura completa, os 127 artigos foram analisados em relação às bases de referência, ano de publicação e áreas de pesquisa.

Também foi realizada uma análise em relação nacionalidade dos autores de cada artigo filtrado, para entender como está distribuído geograficamente o cenário atual em relação a este tema. O objetivo destas análises foi conhecer mais detalhadamente como a utilização de materiais descartados aplicados ao desenvolvimento de produtos está sendo explorada pela comunidade científica ao longo dos anos, em quais países, em quais bases de estudo e em quais áreas de pesquisa ele está inserido. Os resultados mostraram que os artigos selecionados estão distribuídos em bases de referência como *Elsevier*, *Sage Journals*, *Science Direct* e *Springer-Verlag*. A Tabela 3 apresenta como ficou a distribuição dos artigos filtrados de acordo com o cruzamento das palavras chave.

Tabela 3 - Artigos Selecionados.

Palavra Chave 1 Product Development	Palavra Chave 2 Waste Disposal	Palavra Chave 3 Sustainability	Total de Articles	Artigos Filtrados	% Relevância
Design for Sustainability	waste	Sustainable	21	1	4,8%
Design Innovation	disposal	Sustainable	164	1	0,6%
Ecological Design	trash	Sustainable	11	1	9,1%
Ecological Design	disposal	Sustainable	126	2	1,6%
Ecological Design	waste	Sustainable	306	2	0,7%
Environmental Design	trash	Sustainable	81	1	1,2%
Environmental Design	litter	Sustainable	73	2	2,7%
Environmental Design	disposal	Sustainable	678	3	0,4%
Environmental Design	residue	Sustainable	67	2	3,0%
Environmental Design	waste	Sustainable	1628	4	0,2%
Green Design	trash	Sustainable	38	3	7,9%
Green Design	litter	Sustainable	19	1	5,3%
Green Design	disposal	Sustainable	531	5	0,9%
Green Design	residue	Sustainable	60	2	3,3%
Green Design	waste	Sustainable	1045	5	0,5%
Industrial Design	trash	Sustainable	19	1	5,3%
Industrial Design	disposal	Sustainable	160	3	1,9%
Manufacturing Design	trash	Sustainable	6	1	16,7%
Manufacturing Design	disposal	Sustainable	89	2	2,2%
Manufacturing Design	waste	Sustainable	182	2	1,1%
Product Design	trash	Sustainable	107	6	5,6%
Product Design	litter	Sustainable	69	3	4,3%
Product Design	disposal	Sustainable	2099	3	0,1%
Product Design	residue	Sustainable	240	10	4,2%
Product Design	sweepings	Sustainable	4	3	75,0%
Product Design	waste	Sustainable	3680	58	1,6%
Total				127	

Fonte: O autor.

Além de apresentar a quantidade de artigos filtrados para cada cruzamento, a Tabela 3 também representa qual foi a relevância em percentual de cada cruzamento, ou seja, quantos artigos foram filtrados do total de artigos que foram encontrados em cada combinação. Ressalta neste caso o cruzamento entre as palavras chave: “*Product Design, Sweepings e Sustainable*”, onde foram encontrados na base de pesquisa apenas 4 artigos e 3 destes artigos encontrados foram filtrados. Portanto, este cruzamento apresentou $\frac{3}{4}$ de relevância, ou 75%.

Em relação à área de pesquisa, os resultados mostram que foram filtrados artigos em 47 diferentes periódicos científicos qualificados (*journals*), sendo que a maior concentração estava na área de Ciência Ambiental (*Environmental Science*), com 46% dos *journals* selecionados (22 dos 47 *journals*). Além da área de pesquisa da Ciência Ambiental, a segunda maior área filtrada é compreendida pela Engenharia (*Engineering*), com 11 *journals*. Outras 7 áreas de pesquisa foram encontradas no refinamento dos artigos, como mostra a Tabela 4 juntamente com o grau de relevância de cada área para o atual estudo.

Tabela 4 - Áreas de Estudo.

Área de estudo	Quantidade	% Relevância
Environmental Science	22	46,8 %
Engineering	11	23,4 %
Business, Management Accounting	3	6,4 %
Materials Science	3	6,4 %
Agricultural and Biological Sciences	2	4,3 %
Computer Science	2	4,3 %
Economics, Econometrics and Finance	2	4,3 %
Social Sciences	1	2,1 %
Human Factors	1	2,1 %

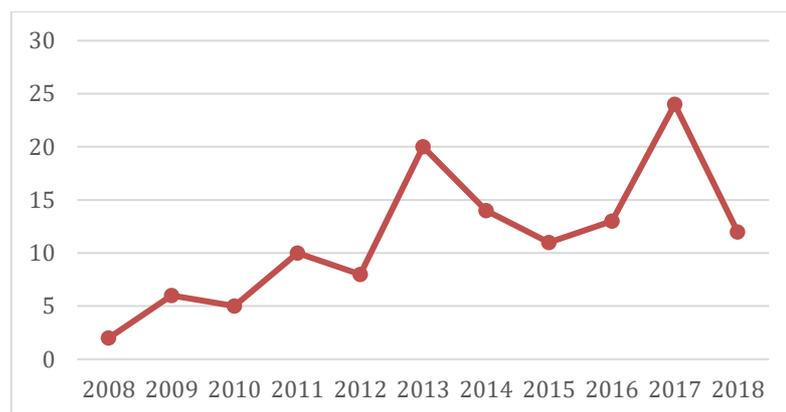
Fonte: O autor.

Assim, pode-se afirmar que a aplicação de materiais descartados no processo de desenvolvimento de produtos está alinhada quase que exclusivamente com a área de Engenharia, onde estão sendo desenvolvido pesquisas que auxiliam na busca de soluções sustentáveis para a concepção de produtos remanufaturados (BUEHLER *et*

al., 2012). A configuração do período analisado, 2008 a 2019, foi definido de acordo com os resultados obtidos na fase de Fundamentação Teórica, além de garantir que somente publicações atuais e que estejam de acordo com as novas leis ambientais fossem filtradas.

O resultado da quantidade de artigos publicados em cada ano, com ilustrado na Figura 11, mostra que de 2008 a 2012 as publicações permaneceram praticamente estáveis, com pequeno aumento nas publicações. Já a partir do ano de 2013 houve um aumento significativo de publicações no tema de pesquisa. Entretanto, entre os anos de 2014 a 2016 houve uma pequena queda, mas ainda assim acima dos valores de 2012. No ano de 2017 houve um grande aumento novamente das publicações, mostrando que o assunto é relevante e está em processo de expansão. Em 2018 houve uma pequena queda, mas ainda assim um número maior que nos anos anteriores a 2017.

Figura 11 – Artigos por ano de publicação.



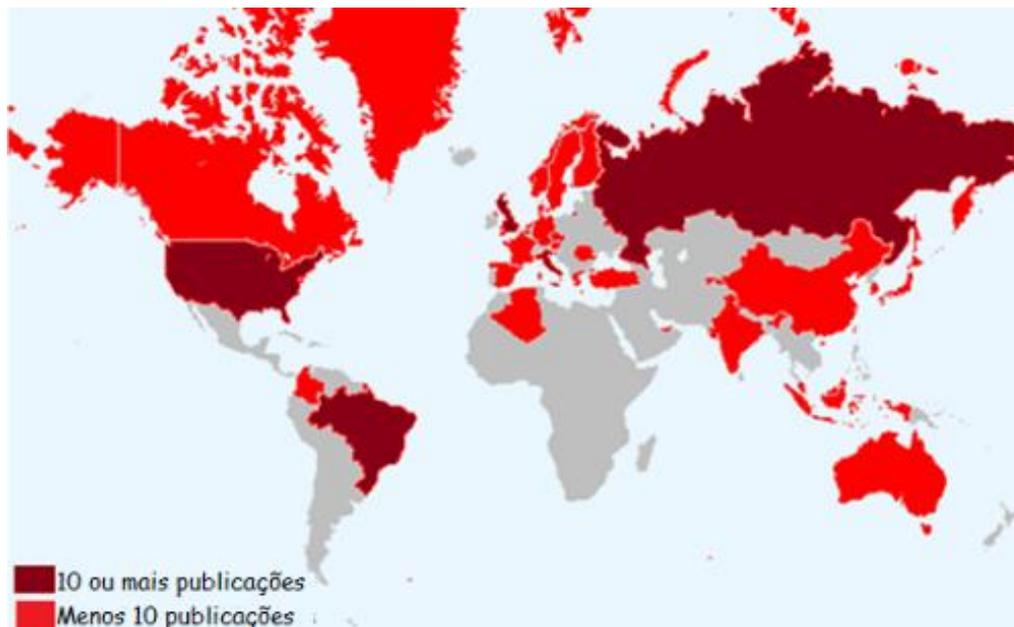
Fonte: O autor.

O aumento nos últimos anos deve-se principalmente à ações de conscientização das pessoas em relação ao meio ambiente, além do interesse das grandes empresas pelo tema, já que é possível diminuir custos com matéria prima ao utilizar a remanufatura de produtos acabados. Assim, ao analisar a linha temporal das publicações, o assunto precisa de uma maior maturidade no meio científico confirmando a oportunidade de inovação dentro do tema deste estudo.

A análise relação aos países representados pelos autores dos artigos selecionados mostrou que há maior produção científica nos países EUA, Reino Unido, Brasil, China e Itália. A Figura 12 apresenta o mapa mundial com a distribuição de todos os países que

tiveram artigos selecionados para a pesquisa. Ao total a pesquisa selecionou artigos em 34 países, representando mais de 17% de cobertura em território mundial (ONU, 2018). A maior quantidade absoluta de artigos está na América do Norte, mas a maior concentração de publicações ao somar os países próximos é no Continente Europeu. Esta grande incidência de artigos na Europa deve-se, em parte, ao fato de que a União Europeia tem objetivos concretos e a curto prazo para reduzir as emissões de poluentes, como o incentivo do uso de recursos de forma eficiente. Além disso, a política industrial está sendo apoiada para a prática da sustentabilidade, com o desenvolvimento de pesquisas nas áreas de inovação tecnológica, garantindo menor uso de recursos naturais finitos e redução na quantidade de materiais descartados diariamente (COMISSÃO EUROPEIA, 2017).

Figura 12 – Distribuição Geográfica dos artigos selecionados.



Fonte: O autor.

3.1.6 Classificação dos artigos selecionados em grupos de acordo com a área de abrangência – Simultaneidade

Um sistema de classificação dos artigos selecionados de acordo com a área de abrangência foi definido para otimizar a análise e refinar os artigos com maior aderência ao tema de pesquisa. Foram definidos 4 grupos que abrangem os principais pilares da pesquisa, apresentados na Tabela 5. No grupo 1, FRW, estão classificados os artigos

relativos ao design de produtos sustentáveis, focando na otimização de processos e reaproveitamento de resíduos desde sua concepção; No grupo 2, EXR, estão os artigos relacionados aos produtos criados, remanufaturados a partir do lixo; No grupo 3, ECW, estão os artigos relacionados com a logística reversa e “lixo zero”. No grupo 4, SCM, são classificados os artigos referentes às formas de disposição final e gerenciamento de resíduos.

Tabela 5 - Grupos de acordo com a área de abrangência.

Tópico	Descrição dos Grupos	Abreviatura
1	Artigos apresentam <i>framework</i> para a produção de produtos sustentáveis desde a fase de projeto (<i>framework -FWR</i>).	FRW
2	Artigos que mostram ideias/exemplos de produtos que foram remanufaturados ou reprovados – criação de novos produtos com “lixo” (<i>examples of products which have been remanufactured or reprovod - EXR</i>)	EXR
3	Artigos mostram ideias/conceitos em economia circular ou logística reversa ou zero resíduos (<i>circular economy or "zero waste" - ECW</i>).	ECW
4	Artigos apresentam dados em gestão de resíduo através de qualquer cadeia produtiva (<i>supply chain management - SCM</i>).	SCM

Fonte: O autor.

Assim, todos os artigos foram classificados de acordo com os grupos de abrangência através da leitura completa, podendo o mesmo artigo ser classificado em mais de um grupo simultaneamente. A Tabela 6 apresenta a classificação dos artigos mais relevantes por ordem de importância de acordo com os grupos de abrangência nos últimos 11 anos.

Tabela 6 - Exemplo da classificação dos artigos de acordo com a área de abrangência.

Título do Artigo	Ano	FRW	EXR	ECW	SCM
Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy	2016	✓	✓	✓	✓
An assessment of the recycling potential of materials based on environmental and economic factors; case study in South Korea	2009	✓		✓	✓
Ecodesign methods focused on remanufacturing	2009	✓		✓	✓
Incorporating waste into an experimental school prototype: lessons regarding materials reclamation opportunities	2012		✓	✓	✓
Collaboration between design and waste management: Can it help close the material loop?	2013		✓	✓	✓
Design for remanufacturing in China: a case study of electrical and electronic equipment	2013		✓	✓	✓

Título do Artigo	Ano	FRW	EXR	ECW	SCM
Introducing the All-Seeing Eye of Business: a model for understanding the nature, impact and potential uses of waste	2013	✓		✓	✓
Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy	2014	✓		✓	✓
A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines	2015	✓		✓	✓
Reducing and reusing industrial scraps: a proposed method for industrial designers	2015		✓	✓	✓
Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case	2016	✓		✓	✓
Application of exergy-based approach for implementing design for reuse: The case of microwave oven	2017	✓		✓	✓
Remanufacturing strategies: A solution for WEEE problem	2017	✓		✓	✓
Integrating sustainable waste management into product design: sustainability as a functional requirement	2010			✓	✓
A novel approach to product modularity and product disassembly with the consideration of 3R-abilities	2011		✓		✓
Challenges and Opportunities in Transforming a City into a "Zero Waste City"	2011		✓	✓	
Sustainable supply chain for collaborative manufacturing	2011	✓			✓
Reuse-oriented redesign method of used products based on axiomatic design theory and QFD	2012		✓	✓	
Design for sustainability (DFS): the intersection of supply chain and environment	2014		✓		✓
Progress and challenges to the global waste management system	2014		✓		✓
Identifying best design strategies for construction waste minimization	2015		✓	✓	
A design tool to diagnose product recyclability during product design phase	2016		✓	✓	
Lean/Green integration focused on waste reduction techniques	2016	✓			✓
Benefits, challenges and critical factors of success for Zero Waste: A systematic literature review	2017			✓	✓
End-of-life decision tool with emphasis on remanufacturing	2017		✓	✓	
In search of standards to support circularity in product policies: A systematic approach	2017		✓		✓
Influence of recycling programmed on waste separation behavior	2017	✓			✓
Waste prevention for sustainable resource and waste management	2017		✓	✓	
Remanufacturing challenges and possible lean improvements	2018		✓		✓
Comparative evaluation of life cycle assessment models for solid waste management	2008			✓	
Exploring e-waste management systems in the United States	2008			✓	
A purview of waste management evolution: Special emphasis on USA	2009				✓
E-waste and the sustainable organization: Griffith University's approach to e-waste	2009			✓	
Experimental study of recycling lightweight concrete with aggregates containing expanded glass	2009			✓	
Perspectives in reverse logistics: A review	2009		✓		
A study of reverse logistics flow management in vehicle battery industries in the Midwest of the state of São Paulo (Brazil)	2010			✓	
Can companies profit from greener manufacturing?	2010			✓	

Fonte: O autor.

Ao demonstrar simultaneidade, os artigos apresentam um conteúdo mais completo com um maior nível de conhecimento, complexidade e domínio do assunto relativos ao tema da pesquisa. Assim, a simultaneidade foi utilizada como critério para um aprimoramento da seleção de artigos. Com base neste critério foi definido que os artigos com simultaneidade em pelos 2 dos grupos de abrangência seriam selecionados para a próxima etapa, sendo descartados os demais que não atendiam a esse requisito.

A aplicação deste critério nos 127 artigos resultou na seleção de 31 artigos: i) 1 artigo (0,8%) com abordagens que compreende os 4 grupos simultaneamente; ii) 13 artigos (10,2%) que abordam temas pertencentes a 3 dos grupos; e iii) 16 artigos (12,6%) que abordaram 2 grupos. Os artigos restantes, 97 (76,4%) foram descartados por explorar somente 1 dos 4 grupos. A Figura 13 mostra o resultado desta seleção. Este critério permitiu a identificação de 31 artigos com uma base teórica mais complexa.

Figura 13 – Classificação de artigos de acordo com a simultaneidade



Fonte: O autor.

3.1.7 Análise para o refinamento da seleção dos artigos mais relevantes para os temas de pesquisa propostos

Os artigos selecionados na fase anterior são relacionados aos temas estudados, porém, existe a necessidade de aprimorar a identificação de quais dessas pesquisas são as mais aderentes ao escopo da pesquisa. Assim, os artigos selecionados foram submetidos à nova análise onde foram atribuídos pesos (notas) ponderados de 0,00 a 10,00 para cada grupo, de acordo com seu grau de importância para a pesquisa. Sendo assim, a atribuição ficou da seguinte forma: O grupo FRW recebeu a nota atribuída de 3,75 ou 38% de relevância, pois representa todos os artigos que em seu conteúdo apresentam *frameworks* para produção de produtos sustentáveis

através da reutilização de materiais. O subgrupo EXR foi considerado o segundo mais importante, recebendo a nota de 2,95, ou 30% de relevância. Os subgrupos ECW e SCM, ficaram respectivamente com notas 2,30 ou 23% e 1,00 ou 10% de relevância. A Tabela 7 mostra os grupos com as notas atribuídas e porcentagens de relevância.

Tabela 7 - Valores atribuídos aos grupos de classificação de acordo com sua relevância para a pesquisa

Grupo	Abrev.	Variável	Valor	% Relevância
1	FRW	Xi	3,75	38%
2	EXR	Xii	2,95	30%
3	ECW	Xiii	2,30	23%
4	SCM	Xiv	1,00	10%
	Total		10,00	100%

Fonte: O autor.

Esse sistema de pesos foi aplicado nos 31 artigos selecionados e através da soma total dos pesos dos grupos em que o artigo está inserido foi determinado o grau de sua relevância para a pesquisa. Artigos que atingiram uma soma maior ou igual a 6 (≥ 6) foram considerados relevantes; os demais com nota menor ou igual a 5 (≤ 5) foram descartados. Dessa forma, esta análise resultou em 13 artigos considerados como os mais relevantes, com abordagens mais aderentes ao tema de pesquisa proposto. A Tabela 8 apresenta a classificação dos artigos quanto a sua relevância para a pesquisa (relevantes e muito relevantes).

Tabela 8 - Artigos classificados por relevância.

Título do Artigo	Ano	Classificação	Grupos			
			FRW	EXR	ECW	SCM
<i>An assessment of the recycling potential of materials based on environmental and economic factors; case study in South Korea</i>	2009	Relevante	✓		✓	✓
<i>Ecodesign methods focused on remanufacturing</i>	2009	Relevante	✓		✓	✓
<i>Sustainable supply chain for collaborative manufacturing</i>	2011	Relevante	✓			✓
<i>Collaboration between design and waste management: Can it help close the material loop?</i>	2013	Relevante		✓	✓	✓

Título do Artigo	Ano	Classificação	Grupos			
			FRW	EXR	ECW	SCM
<i>Introducing the All Seeing Eye of Business: a model for understanding the nature, impact and potential uses of waste</i>	2013	Relevante	✓		✓	✓
<i>Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy</i>	2014	Relevante	✓		✓	✓
<i>A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines</i>	2015	Relevante	✓		✓	✓
<i>Reducing and reusing industrial scraps: a proposed method for industrial designers</i>	2015	Relevante		✓	✓	✓
<i>Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case</i>	2016	Relevante	✓		✓	✓
<i>Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy</i>	2016	Muito relevante	✓	✓	✓	✓
<i>Application of exergy-based approach for implementing design for reuse: The case of microwave oven</i>	2017	Relevante	✓		✓	✓
<i>Remanufacturing strategies: A solution for WEEE problem</i>	2017	Relevante	✓		✓	✓
<i>Use to use – A user perspective on product circularity</i>	2019	Relevante	✓	✓	✓	

Fonte: O autor.

3.1.8 Validação do resultado da seleção dos artigos

Para garantir que os padrões adotados na revisão sistemática da literatura para a seleção dos artigos fossem consistentes e confiáveis, aplicou-se a metodologia matemática da análise de regressão que entre outras funcionalidades confirma os padrões de notas estabelecidos e garante que nenhum artigo seja descartado erroneamente (CHARNET et.al, 2008). Para o mesmo autor, a análise de regressão consiste na realização de uma análise estatística com o objetivo de verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes (livres). Ao aplicar esta ferramenta matemática é possível obter uma equação que explica o comportamento da variável dependente com a comportamento dos vários níveis que podem ser atingidos pela (s) variável (is) independente (s). Como há somente uma variável para análise, que é a nota de cada artigo de acordo com a sua

classificação nos grupos, nesta pesquisa será utilizado a regressão linear simples, ou de 1º grau, que segue o seguinte modelo estatístico:

Equação 1 - Equação 1º grau regressão linear.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i$$

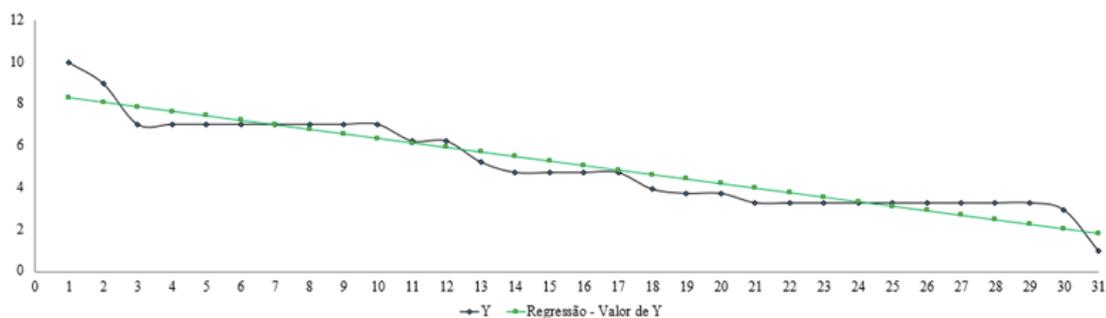
Dessa forma, de acordo com Charnet (2008) e levando em consideração que a pesquisa se baseará na equação de regressão simples, a equação para a análise dos artigos desta pesquisa será:

Equação 2 - Equação regressão linear simples

$$5,34+3,75x_i+2,95x_{ii}+2,30x_{iii}+1,00x_{iv}+z(i=1-30) = y_i$$

A aplicação da ferramenta de regressão linear comprova que todos os artigos seguiram um padrão de seleção uniforme. A análise de regressão corrobora os resultados da seleção dos artigos da revisão sistemática da literatura onde 13 artigos foram considerados os mais relevantes para o escopo da pesquisa e 18 foram descartados. As Figuras 14 e 15 mostram a aplicação da ferramenta de regressão linear na validação de um padrão de seleção de artigos uniforme e consistente.

Figura 14 – Análise de Regressão – Valor de Y.



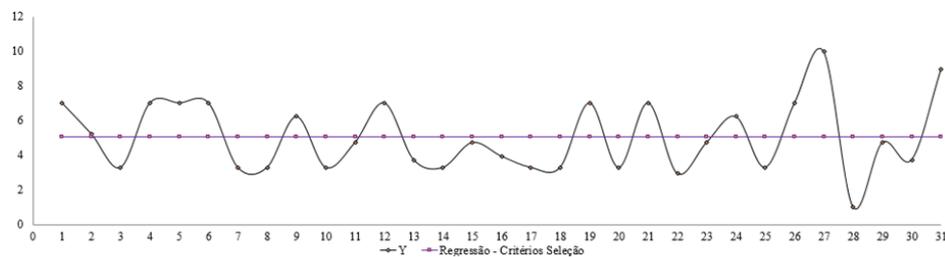
Fonte: O autor.

Na Figura 14, a reta de regressão que representa a variável livre fica próxima e constante as variações encontradas nos artigos analisados, confirmando a existência de um padrão. Desta forma, é possível concluir que com a criação dos grupos e as ponderações de valores atribuídas, o refinamento de artigos segue um padrão e

permite selecionar artigos que são relevantes a pesquisa sem descartar nenhum estudo inapropriadamente.

O mesmo ocorre na Figura 15, a reta mostra o padrão que as variáveis múltiplas representam quando analisadas em cada um dos artigos analisados, confirmando também o padrão de seleção dos artigos. Novamente, é possível concluir pelo comportamento da curva das variáveis múltiplas que com a criação dos grupos e das ponderações de valores atribuídos, o refinamento de artigos seguiu um padrão e permitiu selecionar artigos que são relevantes a pesquisa.

Figura 15 –Análise de Regressão – Critérios de Seleção.



Fonte: O autor.

3.2 ANÁLISE DO CONTEÚDO SELECIONADO

Nesta fase o autor propõe a análise crítica dos 13 artigos selecionados na revisão sistemática da literatura complementando e corroborando as informações para responder acuradamente as questões problemas propostas para este estudo: i) Quais são as pesquisas recentes e relevantes que abordam o desenvolvimento de produtos utilizando materiais descartados como matéria prima, fazendo uso de processos produtivos sustentáveis; e ii) Quais são os autores mais relevantes e que mais contribuíram neste tema de pesquisa nos últimos anos?

A análise do conteúdo de cada um dos 13 artigos finais investigou as abordagens que foram propostas, suas limitações e contribuições. Tal análise é uma forma metodológica de pesquisa cujo objetivo principal é descrever e interpretar o conteúdo profundo de todos os tipos de documentos e textos (MORAES, 1999). Esse processo possibilita identificar lacunas ainda não exploradas e pode servir de guia para o desenvolvimento de novas pesquisas, promovendo o avanço científico da área estudada.

A resposta para a segunda questão problema foi atingida através de uma análise para identificação dos principais autores que estão trabalhando com o desenvolvimento de produtos utilizando materiais descartados. Esta análise foi realizada em duas etapas: a) verificação de todos os autores citados nos artigos relevantes; e b) verificação da frequência de citação de cada autor nos artigos selecionados. Essa análise permitiu identificar os autores importantes em participação e que impactam positivamente o campo estudado.

3.2.1 Análise Crítica dos Artigos relevantes para a pesquisa

Primeiramente os artigos foram submetidos a análise em relação aos indicadores JCR e SJR. *The Journal Citations Report (JCR)* foi criado com o objetivo de identificar qual o fator de impacto que cada Journal possui na comunidade acadêmica. *SCImago Journal Rank (SJR)* é um indicador da influência de um determinado periódico através da média do número de citações recebidas nos últimos 3 anos que antecedem ao ano analisado. O valor de classificação maior ou igual a 1 foi adotado pela comunidade acadêmica como referência para estes indicadores. A Tabela 9 apresenta a classificação dos 13 artigos selecionados de acordo com as análises de regressão e seus respectivos indicadores JCR e SJR.

Tabela 9 - Classificação artigos finais.

Título Artigo	Ano Publ.	Journal	Autores	Valor (Regr)	JCR	SJR
<i>An assessment of the recycling potential of materials based on environmental and economic factors; case study in South Korea</i>	2009	Journal of Cleaner Production	Park <i>et al.</i>	7,05	5,715	1,62
<i>Ecodesign methods focused on remanufacturing</i>	2009	Journal of Cleaner Production	Ometto <i>et al.</i>	7,05	5,715	1,62
<i>Sustainable supply chain for collaborative manufacturing</i>	2011	Journal Manufacturing Technology Management	Amer <i>et al.</i>	7,05	1,750	0,648
<i>Collaboration between design and waste management: Can it help close the material loop?</i>	2013	Resources, Conservation & Recycling	Rahe	6,25	3,313	1,16
<i>Introducing the All Seeing Eye of Business: a model for understanding</i>	2013	Journal of Cleaner Production	Short <i>et al.</i>	7,05	5,715	1,62

Título Artigo	Ano Publ.	Journal	Autores	Valor (Regr)	JCR	SJR
<i>the nature, impact and potential uses of waste</i>						
<i>Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy</i>	2014	Journal of Cleaner Production	Zeng <i>et al.</i>	7,05	5,715	1,62
<i>A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines</i>	2015	Journal of Cleaner Production	Zaman <i>et al.</i>	7,05	5,715	1,62
<i>Reducing and reusing industrial scraps: a proposed method for industrial designers</i>	2015	Journal of Cleaner Production	Levi <i>et al.</i>	6,25	5,715	1,62
<i>Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case</i>	2016	Journal of Cleaner Production	Guarnieri <i>et al.</i>	7,05	5,715	1,62
<i>Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy</i>	2016	Journal of Cleaner Production	Ordoñez <i>et al.</i>	10,00	5,715	1,62
<i>Application of exergy-based approach for implementing design for reuse: The case of microwave oven</i>	2017	Journal of Cleaner Production	Giannetti <i>et al.</i>	7,05	5,715	1,62
<i>Remanufacturing strategies: A solution for WEEE problem</i>	2017	Journal of Cleaner Production	Li <i>et al.</i>	7,05	5,715	1,62
<i>Use to use – A user perspective on product circularity</i>	2019	Journal of Cleaner Production	Stromberg <i>et al.</i>	7,05	5,715	1,62

Fonte: O autor.

Na sequência, os 13 artigos foram analisados em sua totalidade, ou seja, a leitura completa do artigo, para explorar as abordagens propostas, suas contribuições e limitações em relação ao tema do desenvolvimento de produtos utilizando materiais descartados como matéria prima. A Tabela 10 apresenta os artigos em ordem cronológica de publicação e a análise crítica de suas contribuições e limitações científicas na área.

Tabela 10 - Resumo da Análise Crítica.

Artigo	Título	Ano	Contribuição	Limitação
1	An assessment of the recycling potential of materials based on environmental and economic factors; case study in South Korea	2009	O artigo mostra vários dados interessantes como o custo de reencaminhamento de cada tipo de matéria-prima (metal, papel, plástico), bem como vários fluxogramas interessantes sobre a reciclagem de alguns tipos de materiais.	Não fala nada sobre o reaproveitamento de resíduos para a produção de novos produtos, o artigo apresenta apenas o custo da reciclagem de alguns tipos de materiais, mas não mostra como colocar esses produtos novamente em uma linha de produção.
2	Eco design methods focused on remanufacturing	2009	Artigo com diversas informações sobre <i>eco design</i> que podem aumentar o nível de conhecimento deste assunto para a pesquisa. Além disso, existem bons <i>frameworks</i> que servirão de base para o estudo.	Não fala nada sobre o reaproveitamento de resíduos para a produção de novos produtos de forma detalhada e de fácil compreensão. Não mostra a reutilização dos próprios produtos e como criar novos a partir do <i>eco design</i> .
3	Sustainable supply chain for collaborative manufacturing	2011	Conceitos e fluxogramas muito interessantes que podem ser usados como base para esta pesquisa, principalmente os fluxogramas que mostram a cadeia de suprimentos sustentável e a tabela que mostra os 6Rs de sustentabilidade, o que cada um significa e como aplicá-los na cadeia de suprimentos.	Este artigo não deixa claro um fluxograma fácil de seguir para aplicar a reutilização de materiais para a produção de novos produtos desde a fase de design. Há apenas um bom entendimento e explicação dos 6Rs e como aplicá-los ao longo de uma cadeia produtiva.
4	Collaboration between design and waste management: Can it help close the material loop?	2013	Mostra ideias de produtos criados a partir da ideia de reaproveitamento, demonstrando ciclos econômicos fechados, onde o final do ciclo de vida passa a ser o início de um novo ciclo para outro produto. Além disso, mostra 5 fatores importantes que devem ser levados em consideração pelos designers na hora de fabricar produtos com foco sustentável.	Artigo dentro da linha de pesquisa selecionada pelo autor desta pesquisa, o autor do artigo apenas não fez um <i>framework</i> para padronizar o uso de materiais descartados para a criação de novos produtos.
5	Introducing the All-Seeing Eye of Business: a model for understanding the nature, impact and potential uses of waste	2013	Este trabalho apresenta uma metodologia de reaproveitamento de resíduos e redução de resíduos que pode auxiliar amplamente nesta pesquisa temática, fornecendo uma boa ideia de como minimizar o aumento da destinação de resíduos. Além disso, apresenta boas ideias para a redução de desperdícios na hora da produção, na linha de produção.	Não apresenta fluxograma de reaproveitamento de resíduos ou produção de novos a partir de resíduos descartados.

Artigo	Título	Ano	Contribuição	Limitação
6	Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy	2014	Conceitos de <i>Zero Waste</i> muito bem definidos e 2 fluxogramas detalhados de como aplicá-lo, tornando este artigo muito importante para esta pesquisa. Além disso, há imagens sobre economia circular que também ajudarão a aumentar o nível de conhecimento sobre o assunto.	O artigo tem como foco o Lixo Zero (<i>Zero Waste</i>) com diversas informações e fluxogramas que podem auxiliar neste assunto. Infelizmente, o artigo não apresenta nenhuma ideia de reaproveitamento de resíduos para produção de novos produtos, desde a concepção até o fim do ciclo de vida.
7	A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines	2015	Existem várias imagens, fluxogramas e gráficos interessantes que podem ajudar a descrever melhor o assunto desperdício zero.	Não fala nada sobre o reaproveitamento de resíduos para a produção de novos produtos, apenas na correta gestão dos resíduos sólidos a nível municipal (gestão de resíduos zero nas cidades).
8	Reducing and reusing industrial scraps: a proposed method for industrial designers	2015	Conceitos e fluxogramas interessantes que podem ser usados como base para explicar mais sobre o assunto abordado nesta pesquisa, utilizando principalmente as imagens de exemplos de produtos remanufaturados apresentados ao final do artigo.	O artigo não deixa claro um fluxograma de fácil entendimento para aplicar o reaproveitamento de materiais para a produção de novos produtos.
9	Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case	2016	Mostra a importância do engajamento de todos os envolvidos na produção de um determinado produto para torná-lo sustentável. Para garantir tal feito, todas as partes interessadas, desde os fornecedores até consumidores finais devem estar interligados. Além disso, que apresenta dados interessantes para serem utilizados como base neste estudo referente a cadeia de suprimentos sustentável e interligada.	Não possui um <i>framework</i> de fácil visualização e entendimento que permita aos usuários mais leigos entender e aplicá-lo para construir desde a fase de projeto um produto que é feito a partir de material reaproveitado (descartado).
10	Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy	2016	Conceitos e fluxogramas interessantes que podem ajudar o desenvolvimento da atual pesquisa com dados sobre a economia circular. Além disso, há exemplos de produtos remanufaturados (com a economia circular) no final do artigo, que também podem ser utilizados.	Este artigo não possui um fluxograma de fácil entendimento para aplicar o reaproveitamento de materiais para a produção de novos produtos, há apenas um bom entendimento e explicação da economia circular.

Artigo	Título	Ano	Contribuição	Limitação
11	Application of exergy-based approach for implementing design for reuse: The case of microwave oven	2017	O artigo contribui com uma metodologia de criação de <i>frameworks</i> denominada DSRM, muito interessante e que pode ser utilizada como base para explicar com mais detalhes o tema do atual estudo. A metodologia criada auxilia no design voltado para o reuso. Além disso, existe um fluxograma para desmontagem de produtos ao final de seu ciclo de vida que também pode ser utilizado neste artigo com base para desenvolvimento.	Foca muito em contas e fórmulas matemáticas baseadas na 2ª lei da termodinâmica e não explica mais facilmente e com imagens claras como é possível criar desde a fase de design produtos feitos a partir de matéria-prima já utilizada.
12	Remanufacturing strategies: A solution for WEEE problem	2017	Existem imagens de fluxogramas e gráficos que podem ser usados como exemplo para explicar com mais detalhes o tema proposto na atual pesquisa. Além disso, existe um fluxograma para separação de resíduos para remanufatura que também pode ser utilizado, além de um estudo de caso aplicado na empresa XEROX no Reino Unido, o qual pode servir de base para desenvolvimento para a pesquisa.	Apresenta informações interessantes, mas com foco exclusivo na remanufatura de lixo eletrônico, algo muito específico e complicado de inserir no tema de estudo atual. Não é apresentado nada voltado a uma aplicação genérica, somente detalhamento profundo sobre o lixo eletrônico.
13	Use to use – A user perspective on product circularity	2019	Conceitos e fluxogramas muito interessantes que podem ser utilizados para aumentar o nível de conhecimento sobre o retorno de produtos usados as linhas de produção, mostrando a perspectiva do usuário quanto à aquisição de produtos e seus próximos passos no final do ciclo de vida de um produto.	O artigo não apresenta um fluxograma claro e fácil de seguir para aplicar a reutilização de materiais para a produção de novos produtos desde a fase de design do produto.

Fonte: O autor.

3.2.2 Análise das referências citadas nos artigos relevantes

Essa última etapa focou na análise dos autores referenciados nos artigos selecionados para identificar os principais autores que pesquisam e tem impacto importante nesta área de estudo. Ao fim desta etapa de levantamento dos autores, chegou-se ao resultado de 1610 autores que foram avaliados de maneiras distintas através de atribuição de três tipos de valores:

- i) Valores de 1,00 até ∞ que representam a quantidade de vezes que os autores foram referenciados na sessão Referencias de cada artigo;
- ii) Valores de 0,00 até 0,20 para cada citação que o autor teve ao longo do corpo dos textos dos artigos analisados; e
- iii) Valores de 1,00 até ∞ que representam o número de diferentes artigos em que cada autor foi referenciado.

Para o valor “ii”, foi definido que se ao longo do texto de um artigo o mesmo autor for citado 2 vezes, é atribuído o valor de 0,1 e assim sucessivamente conforme descreve a Tabela 11 até o valor de 0,20. A partir de 5 vezes que um autor é citado ao longo do desenvolvimento de um artigo, é fixado o valor de 0,2.

Tabela 11 - Valores atribuídos à citação do autor ao longo do texto.

Número de Citações	Valor
2	0,1
3	0,15
4	0,18
≥5	0,2

Fonte: O autor.

A classificação dos autores mais relevantes para os temas de pesquisa e suas respectivas notas pode ser observado na Tabela 12. A soma do número de vezes em que o autor foi citado na lista de “**Referencias**” e do número de vezes que o autor é citado no corpo do texto (Tabela 11) é representada na coluna “**Nota**” da Tabela 12. Já a coluna “**Incidências**” mostra o número de diferentes artigos em que cada autor foi referenciado. O valor total de diferentes artigos em que cada autor foi referenciado (Coluna “**Incidências**” da Tabela 12) foi estabelecido como critério fundamental de

classificação para os respectivos níveis de relevância do autor sobre os temas da pesquisa.

Tabela 12 - Níveis de relevância dos autores para a pesquisa.

Autores	Nota	Incidências	Nível de Relevância
Li, J.	10,20	4,00	1º
Williams, I.D.	4,10	4,00	2º
Van Hemel, C.	4,00	4,00	3º
Zeng, X.	8,10	3,00	4º
Braungart, M.	5,28	3,00	5º
Stevels, A.	5,10	3,00	6º
Zhang, H.C./ H-C	4,10	3,00	7º
McDonough W.	4,00	3,00	8º
Sutherland, J.W.	4,00	3,00	
Sarkis, J.	4,00	3,00	
Outros Autores	<4,00	<3,00	Outros

Fonte: O autor.

Outro ponto importante a ser avaliado é que os autores que obtiveram notas superiores na somatória dos valores de referência e citações, podem não ser classificados como os pesquisadores mais relevantes para o tema em estudo. Um exemplo disso é o pesquisador Zeng X., pois apesar de ter obtido o valor de 8,10 na coluna “Nota”, foi referenciado somente em 3 artigos diferentes, ficando abaixo na tabela de classificação ao pesquisador Williams, I. D que obteve valor 4,10 na coluna “Nota”, mas foi referenciado em 4 artigos diferentes. Os autores que não atingiram o somatório > 4,00 na coluna “Nota” ou que não foram referenciados em pelo menos 3 artigos diferentes não foram considerados e não aparecem na Tabela 11.

Os autores Li J. e Williams I. D. podem ser considerados os autores mais significativos para o tema em estudo, pois ambos possuem referência em 4 dos 12 artigos selecionados, sendo Li J. o autor com maior impacto na área estudada obtendo valor de 10,20 e citações em 4 artigos diferentes.

3.3 DISCUSSÃO DO CAPÍTULO 3

Através da revisão Sistemática da Literatura e a Análise do conteúdo construídas neste capítulo, foi possível identificar quais as pesquisas relevantes neste meio de estudo além de permitir ao autor identificar as limitações das atuais pesquisas. Com a análise se nota uma escassez de métodos e abordagens de fácil entendimento que permitam conectar todas as etapas de um processo produtivo com a utilização de materiais reaproveitados, evitando o descarte de produtos. Além disso, se constata a

dificuldade de encontrar abordagens que sejam genéricas e permitam ser aplicadas em diferentes tipos de produtos. Com tais limitações, o autor pode utilizá-las para servir de base para a criação de uma nova abordagem.

Todo o processo de revisão sistemática da literatura e análise do conteúdo demonstra que há espaço para criação de soluções para minimizar o descarte prematuro de produtos através de sua reutilização. O estudo desenvolvido permitiu a criação de uma base teórica sólida, sendo fundamental no auxílio para criação de uma abordagem de ajuda ao desenvolvimento de produtos feitos a partir da reutilização de materiais que seriam descartados, que será explorado no próximo capítulo.

4 PROPOSTA DE UMA ABORDAGEM PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS BASEADO NA REUTILIZAÇÃO DE MATERIAIS

Com a crescente preocupação da população em relação ao ambiente e suas fontes primárias de recursos, a concepção e produção de produtos sustentáveis passa a ser mandatória em qualquer nação. As inovações em maquinário e tecnologia de ponta permitem que empresas apliquem cada vez mais novas formas de produção objetivando o máximo reaproveitamento de matéria prima, com mínimo de utilização dos recursos naturais primários. Ferramentas que auxiliem e conectem todos as etapas do processo produtivo para que sigam uma manufatura sustentável, principalmente com a reutilização de materiais se faz cada vez mais necessário. Inserido neste contexto, o presente capítulo explora a concepção de uma abordagem orientada para o desenvolvimento de produtos reutilizando materiais descartados, pensando em todo o processo produtivo desde sua fase de design até o fim do ciclo de vida do produto de forma sustentável. Com base nas limitações das pesquisas analisadas no Capítulo anterior foi possível projetar melhorias para que uma nova abordagem pudesse vir ao encontro das lacunas detectadas na análise das pesquisas relevantes.

Os estágios iniciais do desenvolvimento foram orientados pelo Modelo Unificado de Rozenfeld *et al.* (2006) por se tratar de um modelo com características que permitem sua adaptação a diversos tipos de produtos e por sua flexibilidade que possibilita inserir a reutilização de materiais descartados ao Processo de Desenvolvimento de novos Produtos (PDP).

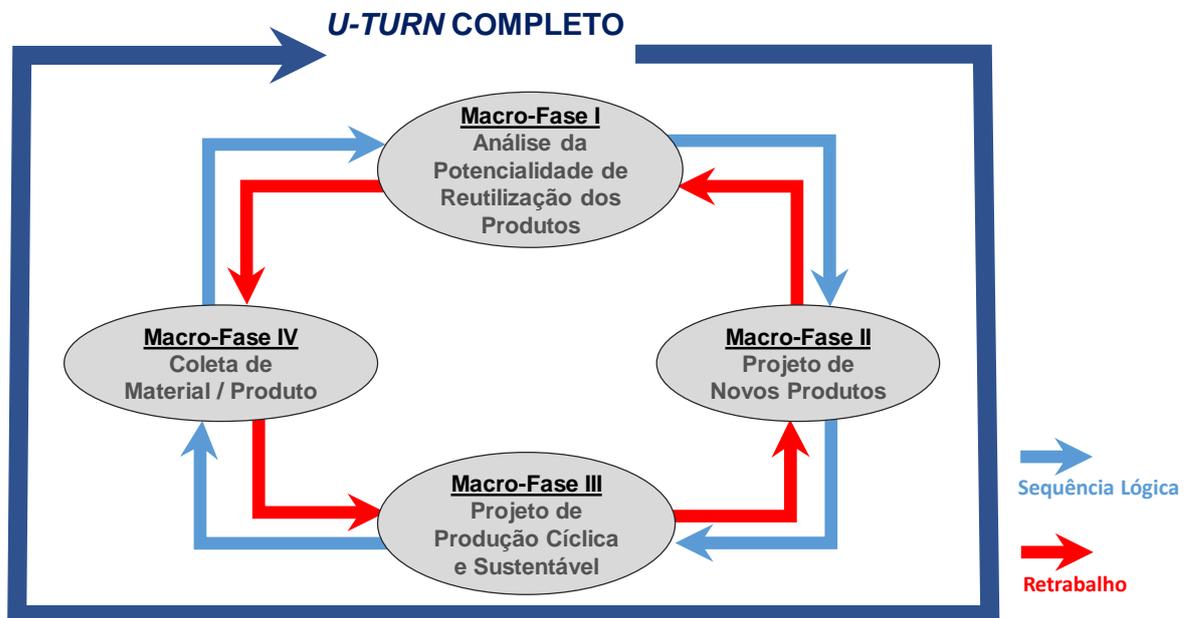
4.1 ABORDAGEM *U-TURN*

A identificação de limitações no processo de desenvolvimento de produtos reutilizando materiais descartados através da pesquisa bibliográfica apresentada no Capítulo anterior identificou a necessidade de criação de uma abordagem que permita de forma efetiva a inserção de materiais descartados como matéria prima no desenvolvimento de produtos sustentáveis. Assim sendo, a proposta de uma abordagem, aqui denominada *U-TURN*, visa estruturar de forma sustentável, o Processo de Desenvolvimento de Produtos utilizando materiais/produtos descartados como matéria-prima. O nome *U-TURN* foi inspirado nas regras de trânsito norte

americanas, onde *U-TURN* significa retorno feito por um veículo para voltar para a direção de onde veio, remetendo a ideia de uma ação circular, que é o conceito proposto pela abordagem desenvolvida, ou seja, de que um produto descartado no final de sua vida útil possa ser retornado e inserido como matéria prima no desenvolvimento de produtos sustentáveis.

A abordagem proposta consiste em 4 Macrofases, que são (Figura 16): **i) análise da potencialidade da reutilização do produto descartado;** **ii) design do novo produto;** **iii) design sustentável e produção cíclica;** e **iv) coleta e retorno do material/produto.** Cada Macrofase contém passos que mostram as diretrizes que devem ser seguidas pelos usuários. As 3 primeiras Macrofases são focadas nos Processos de Design e Manufatura, concentrando o máximo de reuso de material e aumentando o ciclo de vida do produto enquanto busca os processos de manufatura sustentáveis. A quarta Macrofase, é o processo de retorno do material/produto ao final de sua vida útil, focando na coleta dos produtos descartados pelos consumidores e em sua reinserção no ciclo de produção.

Figura 16 – Abordagem *U-TURN*.



Fonte: O autor.

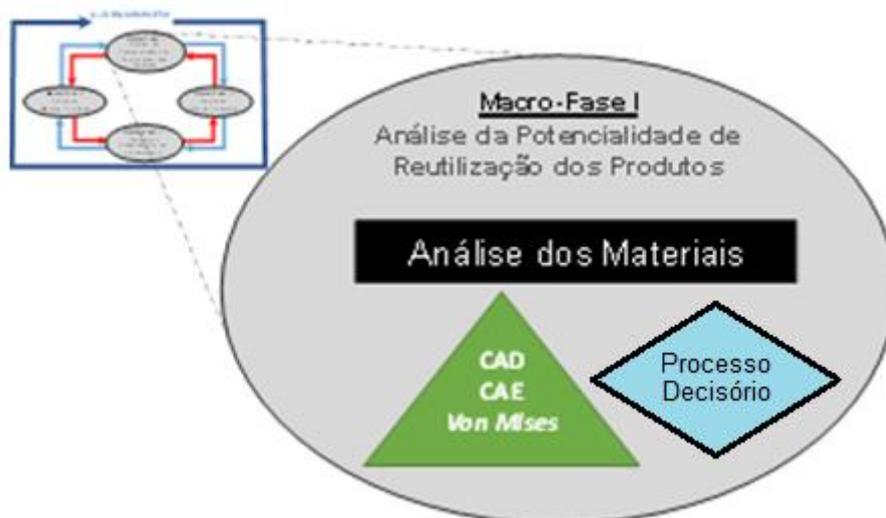
A seta azul escuro na parte exterior da Figura indica a completude da abordagem *U-TURN*. Cada elipse representa uma Macrofase, enquanto os escritos dentro das elipses representam as etapas dentro da macrofase. O fluxo de

desenvolvimento da *abordagem U-TURN* obedece a seqüência lógica das Macrofases I, II, III e IV e entre uma Macrofase e outra, as flechas indicam o fluxo correto a ser seguido pelo usuário: as flechas azuis claras são indicadores do progresso lógico da abordagem, e as flechas vermelhas indicam o fluxo se houver problemas em algum passo e a necessidade de retornar ao passo anterior, delimitado o passo do retrabalho. Na seqüência, as 4 Macrofases serão detalhadas apresentando todas as diretrizes necessárias que devem ser seguidas pelos usuários para atingir os objetivos de cada uma das macroetapas, detalhando as ferramentas de apoio que serão utilizadas em cada fase.

4.1.1 Macrofase I - Análise da Potencialidade de reutilização de produtos descartados

Inicialmente a abordagem *U-TURN* é constituída pela fase de identificação da potencialidade que cada material retornado tem para ser transformado em matéria prima constituinte de um novo produto (Figura 17). Através da análise dos materiais que foram devidamente transportados e segregados por meio de uma logística reversa eficiente, a primeira etapa do método identifica a qualidade dos materiais que foram recolhidos em termos de resistência, maleabilidade e aplicabilidade para o design e a manufatura de novos produtos.

Figura 17 – Macrofase I – Análise da Potencialidade de Reutilização dos Produto.



Os principais testes a que os materiais devem ser submetidos são referentes a tensão e resistência mecânica, pilares fundamentais para garantir que a reutilização seja eficiente ao introduzir tais materiais novamente na linha de produção como matéria prima. Os testes de tensão/resistência utilizam testes assistidos por softwares de Engenharia Assistida por Computador (CAE - *Computer-Aided Engineering*) e Projeto Assistido por Computador (CAD - *Computer-Aided Design*) que permitem a análise estrutural de uma peça, simulando e fazendo estudos de aspectos como estabilidade e força, que são fatores fundamentais para a Abordagem antes da manufatura. Nesta pesquisa será utilizado o módulo de análise pelo critério de “*Von Mises*” presente na maioria destes softwares, levando em consideração os conceitos de energia de distorção de um elemento, também definido como a energia necessária para que ocorra a mudança de formato de um elemento.

O critério de *Von Mises* é utilizado praticamente para qualquer tipo de material, inclusive materiais dúcteis, apresentando resultados mais acurados quando comparado com dados experimentais e, portanto, geralmente mais utilizado nas avaliações estruturais (NETO, 2008). O critério de *Von Mises* define que “um elemento estrutural (dúctil) irá falhar se a energia associada à mudança de forma de um corpo, submetido a um carregamento multiaxial, ultrapassar a energia de distorção de um corpo de prova submetido a um ensaio uniaxial de tração” (NETO *et al.*, 2008).

A tensão equivalente de *Von Mises*, pode ser calculada por:

Equação 3 - Equação da tensão equivalente de *Von Mises*.

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}}$$

Onde:

α_e – Tensão equivalente de *Von Mises*;

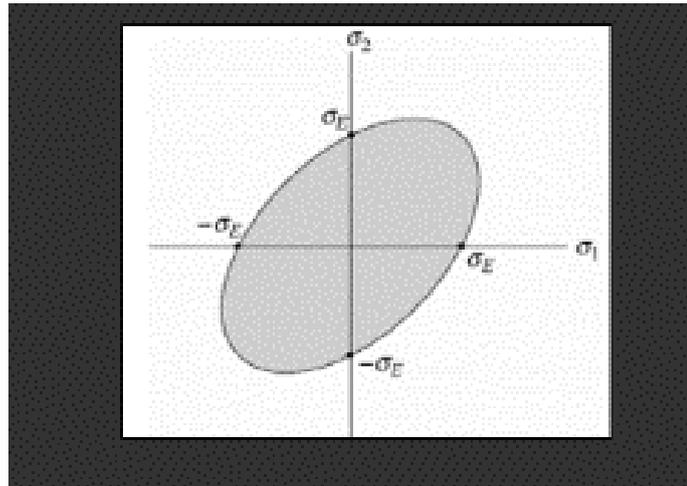
α_1 – Tensão máxima principal;

α_2 – Tensão média principal;

α_3 – Tensão mínima principal.

Graficamente, o critério de *Von Mises* pode ser representado conforme a equação da Figura 18.

Figura 18 – Gráfico da Equação de *Von Mises*.



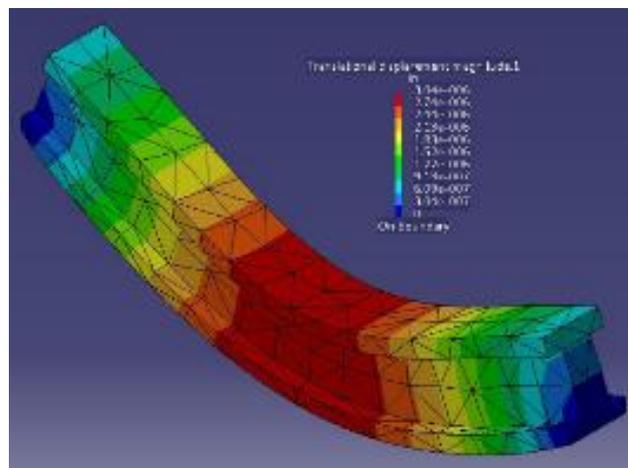
Fonte: Souza Neto *et al.* (2008).

Através de testes assistidos por softwares de *CAE*, é possível simular a resistência mecânica dos materiais por meio de ensaios de tensões, utilizando para isso um software *CAD* para a modelagem geométrica dos produtos. Desta forma, neste tipo de ambiente computacional, é possível fazer toda a modelagem geométrica de uma peça que posteriormente recebe a simulação dos testes de resistência mecânica no módulo de *CAE*. Então, o módulo de *CAE* tem como premissa utilizar os protótipos modelados geometricamente no módulo de *CAD* e aplicar esforços, podendo fazer os seguintes tipos de análises: estáticas, dinâmicas, térmicas, magnéticas, de fluidos, acústicas, de impacto e simulações, entre outras (TIZZARD, 1994). Desta forma, é possível simular e fazer estudos prévios da execução da fabricação dos produtos (fator fundamental para a Abordagem *U-TURN*). De acordo Azevedo, 2019, as vantagens de se utilizar o *CAE* em projeto de produtos são:

- i) O tempo e o custo de realização de um projeto serão menores, pois o melhoramento do produto e as suas possíveis correções podem ser realizadas de forma mais rápida e segura;
- ii) Pode-se corrigir e testar um projeto pelo software, evitando assim a construção de protótipos físicos;
- iii) Alterações podem ser feitas rapidamente e com baixo custo;
- iv) A realização de cálculos complexos na fase de engenharia por computador aumenta a produtividade, pois agilizam o processo devido a economia de tempo;
- v) A detecção de erros na fase de engenharia reduz o custo com correções.

Os softwares CATIA e ANSYS são líderes de mercado e os mais utilizados por diversos segmentos da indústria para resolver problemas de engenharia através do emprego de simulações CAE. Um exemplo de peça sendo submetida a testes de resistência é representado pela Figura 19. O quadro de cores a qual a peça está sendo definida representa as forças de tensão presente em cada segmento, sendo a região em vermelho o ponto de pico de concentração de forças de tensão e o local mais provável para uma ruptura.

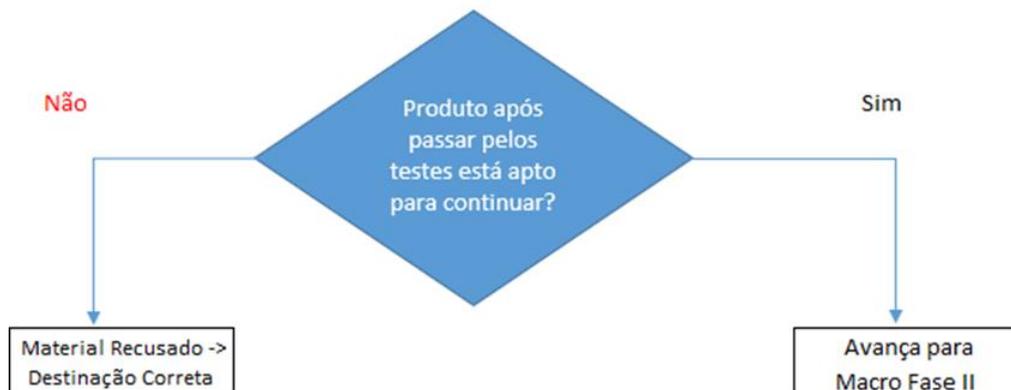
Figura 19 – Exemplo de CAE - elemento modelado no ambiente CATIA.



Fonte: CATIA V5 (2014).

A partir dos resultados dos testes de resistência e deslocamento detalhados anteriormente, os usuários da Abordagem *U-TURN* determinam, através de um processo decisório, o próximo passo do produto na linha de produção. O processo decisório é mostrado na Figura 20.

Figura 20 – Macrofase I – Processo decisório.



Fonte: O autor.

O material que apresenta potencialidade para ser reaproveitado (identificado como “sim” na Figura 20) prosseguirá para as próximas Macrofases da Abordagem como matéria prima para criação de novos produtos. O material que não apresentar potencialidade para ser reaproveitado (identificado como “não” na Figura 20) e, portanto, não prosseguir para as próximas Macrofases da Abordagem é enviado para o Setor de Reaproveitamento e é de responsabilidade da empresa que aplicará a abordagem *U-TURN* fazer a correta destinação desta amostra de material coletada para testes, garantindo um processo sustentável. Caso o material que foi recusado em sua potencialidade de reutilização (através dos testes de resistência e deformidade) possuir um alto valor agregado, é pertinente a sua passagem pela Abordagem, pois neste caso, o produto pode ser previamente desmontado e, somente a parte do produto em que se tem interesse passa pelos testes que determinam sua potencialidade de reaproveitamento e pelo processo decisório, que determinará seu prosseguimento ou não para as próximas Macrofases.

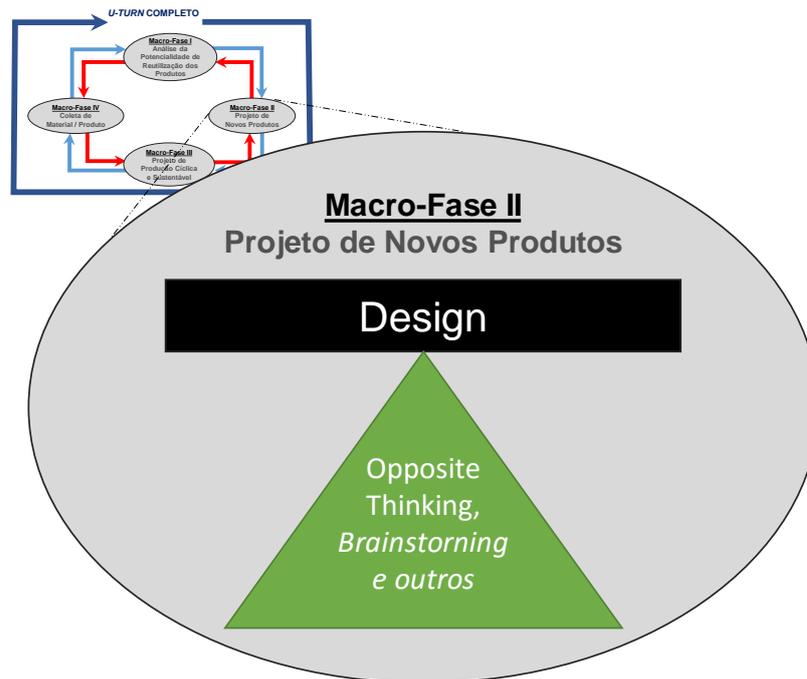
A pesquisa desenvolvida por Jinhui Li *et al.* (2017) foi utilizada como base para o desenvolvimento desta etapa, uma vez que propõe que os materiais devem ser analisados ao fim de seu ciclo de vida para que possam ser novamente utilizados, passando por conferências e estudos. Esta contribuição permitiu que fosse criado um sistema de conferências através de testes físicos (resistência, maleabilidade) que permitem ter maior certeza de como estes materiais descartados podem ser aplicados novamente na concepção de novos produtos. Contudo, entende-se que a abordagem apresentada por Jinhui Li *et al.* (2017) é genérica e isso pode ser considerado como uma limitação.

4.1.2 Macrofase II – Projeto do Novo Produto

A Macrofase II é responsável pela definição do *design* do novo produto que será fabricado utilizando os materiais selecionados e aprovados na Macrofase anterior, como mostra a Figura 21. O design do novo produto deve atender requisitos mínimos para garantir que este novo produto possa, no futuro, passar pela abordagem *U-TURN* novamente. Tais requisitos mínimos devem abranger:

- i) o design orientado a fácil montagem e desmontagem (*Design for Assembly and Disassembly* – DFA/DFD) e mínimas intervenções estruturais;
- ii) o foco na “sobrevida” dos produtos.

Figura 21 – Macrofase II – Projeto do Novo produto.



Fonte: O autor.

Com relação ao processo de montagem e desmontagem, os requisitos mínimos identificados devem garantir que o projeto do novo produto seja satisfatório para prosseguir para as outras Macrofases da Abordagem *U-TURN*. Com isso, o design orientado para um fácil processo de montagem e desmontagem deve permitir a redução do tempo de ciclo para transformar o antigo produto ou parte/partes dele em um novo material. Simples processos automatizados ou até mesmo manuais permitem desmontar e higienizar esse produto que passará a ser a matéria prima do novo processo produtivo. Além disso, o autor entende que o design da nova peça deve ser pensando de forma a ter o mínimo possível de interferências e mudanças estruturais, permitindo assim processos mais fáceis e de menor custo para produção de novos produtos remanufaturados.

Com relação a abrangência com foco na “sobrevida” dos produtos, ao desenvolver o novo produto, deve-se, desde a fase de concepção, ter claramente como objetivo a máxima utilização do material, isto é, pensar em como este produto pode ter “sobrevidas”. A ideia deste requisito é de estimular a equipe de projeto a desenvolver produtos que serão continuados, ou seja, um mesmo material servirá como base para 2, 3 ou até mais produtos. Pensando desta forma, um único material que antes seria facilmente descartado ao fim do ciclo de vida do primeiro produto,

agora poderá passar pelas fases da Abordagem *U-TURN* e terá sobrevividas, não sendo transportados até os locais de destino final (aterros sanitários), pelo menos sem antes ter um prolongamento considerável de seu tempo de vida útil.

Para auxiliar a equipe de projeto a atingir estes objetivos, nesta pesquisa, a abordagem *U-TURN* propõe como uma ferramenta de apoio as formas de desenvolvimento e canalização de ideias, conhecidas como o “*Brainstorming*”, “*Mind Map*”, entre outros. Cada ferramenta apresenta objetivos e conceitos próprios, mas todos convergem para um propósito em comum que seria a geração de novas ideias, pensando de forma sistematizada e canalizando a força de criação da equipe de projeto para atingir os objetivos propostos pela Abordagem *U-TURN* nesta Macrofase. A Tabela 13 mostra detalhes destas ferramentas de apoio.

Tabela 13 - Ferramentas de Gestão de Ideias.

Ferramenta	Autor	Ano	Conceito	Objetivo	Resumo
Brainstorming	Alex Faickney Osborn	1939	O seu conceito foi originalmente proposto para preencher a lacuna de criação existente em profissionais de marketing quando desenvolviam propagandas para seus clientes. Desta forma, foram feitas sessões em grupo para coletar listas de ideias sugeridas espontaneamente pelos participantes a fim de criar campanhas mais criativas e que atraísse mais clientes.	Possui como objetivo gerar o maior volume de novas ideias possível. É baseado em princípios como foco em quantidade e ausência de críticas às ideias dos participantes.	Ferramenta utilizada para criação do maior número possível de ideias sem desprezar nenhuma delas, através de reuniões (quanto mais participantes, mais rico será o resultado do Brainstorming).
Scamper	Robert Eberle	1977	O conceito da ferramenta já está embutido em seu nome - um acrônimo de sete termos: i) substituir; ii) combinar; iii) adaptar; iv) modificar; v) propor novos usos; vi) eliminar; e vii) "rearrumar". A busca pela criatividade consiste na reflexão coletiva dessas sete ações a fim de encontrar soluções para um problema apresentado previamente.	O propósito da ferramenta <i>Scamper</i> é estimular a criatividade e colocar em pauta assuntos que não seriam tratados, através da sequência das sete ações para criação e inovação de ideias.	Ferramenta utilizada na inovação dos processos, que ocorre através de 7 passos os quais estimulam novas ideias.
Mind Map	Tony Buzan	1995	Para tentar auxiliar a gestão de informações, de conhecimento e de capital intelectual, foi criado o diagrama de mapa mental, voltado para a compreensão e solução de problemas acadêmicos e empresariais, auxiliando também na memorização e aprendizado de alunos e usuários da ferramenta.	Os mapas mentais representam com o máximo de detalhes possível o relacionamento entre informações que normalmente são fragmentadas, difusas e pulverizadas no ambiente operacional, acadêmico ou corporativo. Trata-se de uma ferramenta para ilustrar ideias/conceitos, dando forma as ideias.	Ferramenta que organiza as ideias de maneira intuitiva, canalizando o pensamento e, portanto, facilita a gestão das informações.
Opposite Thinking	Albert Rothenberg	2012	A ferramenta se baseia em um passo a passo de 6 estágios. O conceito consiste em ao encontrar uma ideia, elencar por um time de pensadores pelo menos 2 ideias que sejam contrárias à ideia inicial, promovendo assim a ampla discussão e troca de informações entre os participantes para definição de todas as lacunas faltantes em cada ideia (tanto a original quanto as contrárias).	O objetivo desta ferramenta é, através da discussão entre os participantes, incrementar uma ideia original através da ampla troca de informações por um time que dará ideias contrárias a ideia original.	Estimular novas ideias e consolidá-las através da discussão com outros membros que possuem ideias contrárias a ideia/conceito originalmente proposto.

Fonte: O autor.

Na Abordagem proposta, a ferramenta “*Brainstorming*” foi sugerida como a primeira a ser aplicada por ser um conceito amplamente difundido e de fácil entendimento. Entretanto, ferramentas como o “*Scamper*” pode ser adicionada para identificar e sistematizar o novo produto sem esquecer de detalhes, principalmente em relação a produção. Já a aplicação da ferramenta “*Opposite Thinking*” no final desta etapa, contribui no sentido de evitar retrabalhos, uma vez que permite ampla discussão e troca de informações entre os participantes da equipe de design, enriquecendo o conceito original, pensando em todas as falhas que poderiam ocorrer no futuro. Dessa forma, através de ferramentas de gestão de ideias, o time de projeto canaliza as ideias abordadas e através de exclusões (como um funil de ideias), pode-se chegar ao conceito final aprovado por todos os participantes, levando em consideração os 2 objetivos dessa etapa, que são a Fácil montagem/desmontagem e o Foco na “sobrevida” dos produtos. As pesquisas que forneceram subsídios para o desenvolvimento desta etapa foram:

- i) *Ecodesign methods focused on remanufacturing*: além de apresentar ideias de design orientado para a remanufatura o artigo apresenta detalhadamente o conceito de Ecodesign. Através destas ideias de design é possível desenvolver mais detalhadamente como seriam os passos para garantir um design adequado para os novos produtos e quais ferramentas utilizar para este fim (OMETTO *et al*, 2009);
- ii) “*Collaboration between design and waste management: Can it help close the material loop*”: de produtos manufaturados a partir da ideia da reutilização, mostrando como o ciclo de vida final de um produto pode ser somente o começo de outro ciclo produtivo. Com isso, produtos que seriam descartados poderiam ser transformados em produtos completamente diferentes, sendo novamente inseridos nos processos produtivos. Desta maneira, a abordagem *U-TURN* poderia ser cíclica, através de um pensamento desde a fase de design do produto inicial de forma sustentável, já pensando em suas próximas utilizações no fim de seu primeiro ciclo de vida (RAHE, 2013)
- iii) *Application of exergy-based approach for implementing design for reuse: The case of microwave oven* - baseando-se na implementação de design orientado para a reutilização, o artigo apresenta não só um método de design, mas também exemplos de como melhorar a desmontagem de produtos para serem novamente utilizados. Esta pesquisa serviu como guia no processo de design focando na fácil

montagem/desmontagem dos produtos na hora da criação de seu design (BORSATO *et al*, 2017);

- iv) *Reducing and reusing industrial scraps: a proposed method for industrial designers* - o artigo enfatiza a importância da troca de informações entre diferentes áreas da empresa com a equipe de design para conseguir a criação de produtos sustentáveis. Na pesquisa também foram apresentados exemplos de produtos que foram transformados novamente em matéria prima, permitindo a compreensão de que somente uma ferramenta de apoio para o direcionamento de ideias não seria suficiente e, para garantir maior qualidade no design de produtos, a ferramenta do “*Opposite Thinking*” se torna indispensável ao processo (LEVI *et al*, 2015).

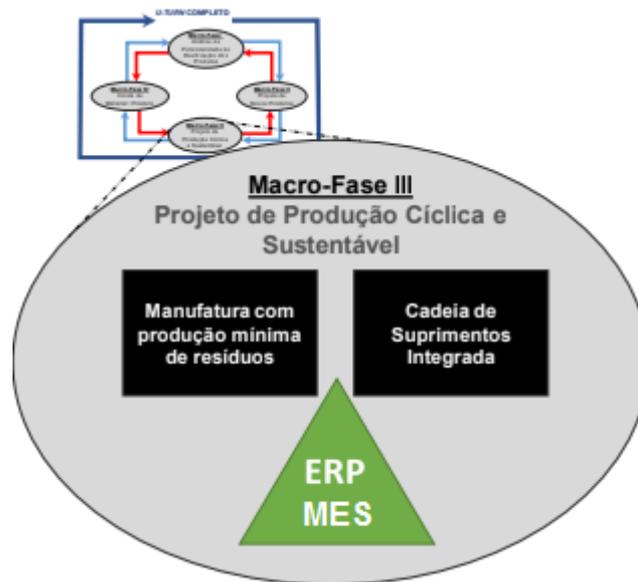
Assim, a elaboração da Macrofase II integrou os conhecimentos adquiridos nestes artigos para que o desenvolvimento de um novo produto leve em consideração os requisitos necessários para seu reaproveitamento como matéria prima depois do fim de seu ciclo de vida, evitando seu descarte.

4.1.3 Macrofase III - Projeto de Produção Cíclica e Sustentável

A Macrofase III refere-se ao desenvolvimento do projeto orientado para a fabricação de um novo produto, idealizando um processo produtivo sustentável e com o menor impacto ambiental possível, tendo como objetivo principal a geração mínima de resíduos dentro do processo produtivo. Outro objetivo que deve ser atingido com o projeto de produção é o desenvolvimento de um processo que permita conectar toda a Cadeia de Suprimento, desde a produção até o fim do ciclo de vida do produto e seu respectivo retorno (Logística Reversa), conforme ilustrado na Figura 22.

De acordo com os objetivos propostos nesta Macrofase, alguns pontos cruciais referentes aos processos produtivos na Abordagem *U-TURN* são explorados com maior profundidade nos itens referentes a manufatura com zero resíduo e a cadeia integrada de suprimentos, explorados a seguir.

Figura 22 – Macrofase III – Abordagem U-TURN.



Fonte: O autor.

4.1.3.1 Manufatura com resíduo zero

Para atingir a mínima produção de lixo ao longo de uma linha de produção é necessário, desde a fase do projeto da linha, que o time de desenvolvimento esteja com os objetivos claramente definidos. O primeiro passo para desenvolver o projeto de fabricação de qualquer produto é começar com um bom projeto da linha de produção, sendo a Análise P-V - a relação dos produtos (variedades) vs. Volumes (demanda produção) - uma das primeiras a serem feitas (FUSCO, 2003).

A análise P-V pode ajudar no desenvolvimento da estratégia de manufatura, encontrando o melhor tipo de layout de acordo com o tipo de produto e volume de produção. Dentre outros, as três principais relações para definir a estratégia são:

- i) Alto volume com baixa variedade: sugere-se linhas de produção de alta velocidade (layout por produto-linha);
- ii) Baixo volume com alta variedade: sugere-se um layout funcional (layout por processo);
- iii) Alta variedade com diferentes volumes para cada item: sugere-se a manufatura celular.

Altos e baixos volumes significam qual será a quantidade de produtos a serem fabricados, e podem ser medidos através da quantidade de produtos produzidos por minuto ou segundo, dependendo da complexidade de cada item. Já a variedade

refere-se ao grau de personalização que cada produto possa apresentar (FUSCO, 2003), por exemplo, um carro popular é um produto de alto volume com baixa variedade, pois apresenta pouca ou praticamente nenhuma alteração (variedade) entre um veículo e outro (alterando muitas vezes somente a cor) e de alto volume, já que serão produzidos diversos carros em curto espaço de tempo. Portanto, um veículo popular é fabricado em layout de linha por produto, conforme a Figura 23.

Figura 23 – Layout de Linha por produto.



Fonte: <https://www.strategyand.pwc.com/gx/en/insights/industry-trends/2019-automotive.html> (2019) – (acessado em 07 de setembro de 2020).

Já carros de luxo ou esportivos, como as marcas *Bugatti*, *Bentley*, *Rolls Royce*, *Ferrari*, *Lamborghini*, entre outras, são produtos com baixo volume e altíssima variedade, sendo fabricado muitas vezes até de forma artesanal. Portanto, produtos como estes necessitam de uma fabricação com layout por processos, conforme os exemplos da empresa *Lamborghini* ilustrados na Figura 24.

Figura 24 – Layout de Linha por Processos ou Funcional (Empresa *Lamborghini*).

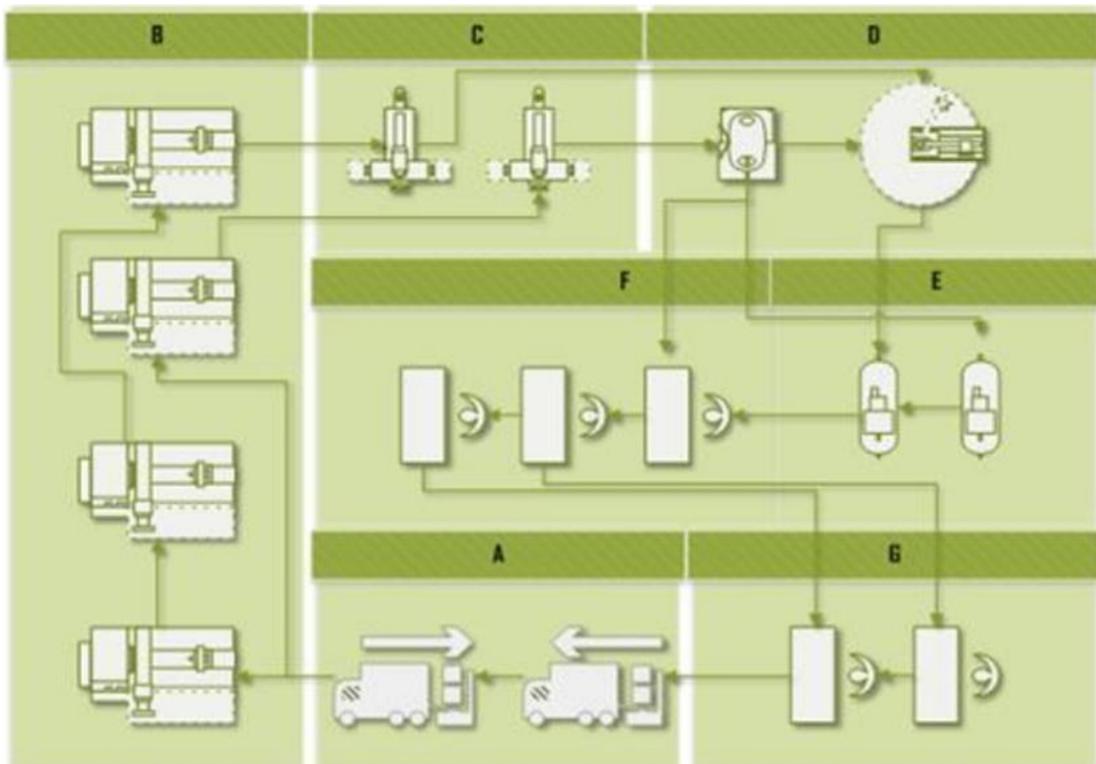


Fonte: <https://automonitor.sapo.pt/wp-content/uploads/2017/10/F%C3%A1brica-Lamborghini.jpg> - (acesso em 07 de setembro de 2020).

Nota-se pela imagem que neste tipo de linha as estações são feitas para que cada carro receba em sua posição as peças e demais itens, ou seja, os itens vão até o veículo e não ao contrário, caracterizando o sistema de produção com layout por processos.

Ainda há um outro tipo de arranjo físico da manufatura, conhecido como layout celular. Este tipo de fabricação se baseia no cooperativismo, ou seja, times de pessoas que formam grupos com relação às atividades de produção, dividindo-as nas etapas do processo produtivo, conforme exemplo da Figura 25. O modelo celular de produção apresenta algumas vantagens em relação aos demais layouts, como o aumento da qualidade dos produtos, aumento da produtividade, diminuição do tempo de ciclo por produto. Para a formação das células (estações fabris) todas as peças com características de processamento semelhantes devem ser identificadas, criando famílias de peças (FUSCO, 2003).

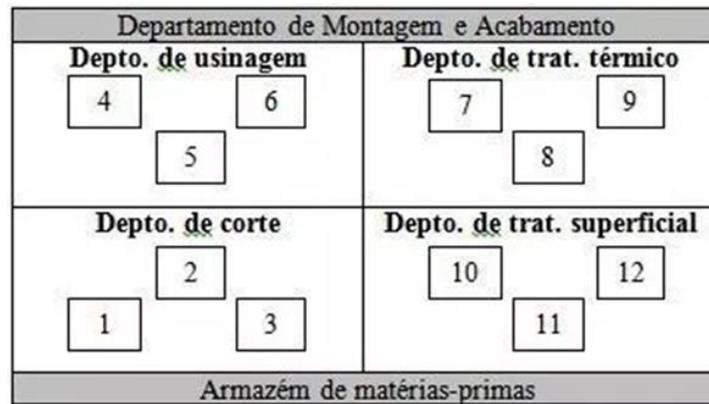
Figura 25 – Layout de Linha Celular – exemplo 01.



Fonte: Lima e Loos (2017).

As famílias de peças são processadas em conjunto, garantindo a maior produtividade e menor tempo de ciclo para cada produto. As células podem ser criadas para fabricar um produto inteiro ou partes de um produto, como mostra a Figura 26.

Figura 26 – Layout de Linha Celular – exemplo 02.



Fonte: Martins (2006).

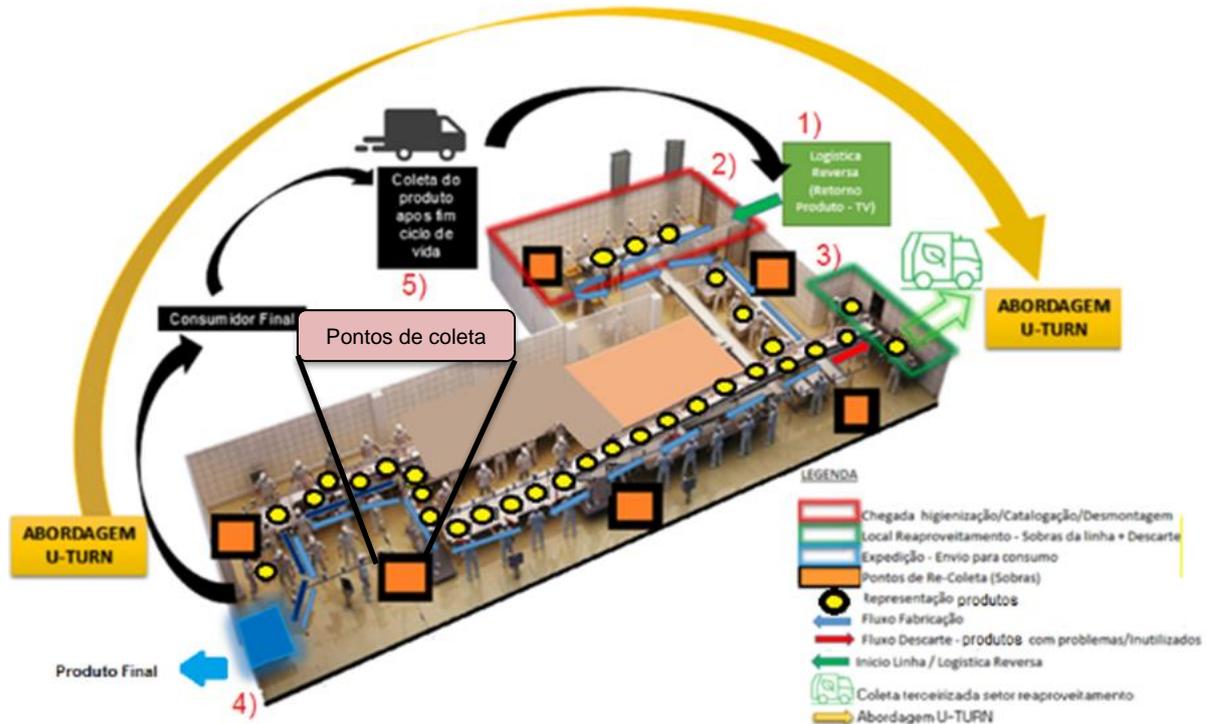
Neste exemplo, optou-se pela separação da linha por células em partes da produção, sendo um grupo responsável pela célula da usinagem de uma família de peças, um grupo para a célula do tratamento térmico, outro para o corte e assim por diante.

Como a Abordagem *U-TURN* tem como premissa a reutilização de materiais para confecção de novos produtos e muitos são de baixa complexidade e elevado volume de produção, a utilização do layout por produto, ou layout em linha para produção foi definido como padrão. O layout de produção em linha terá que sofrer pequenos ajustes na Abordagem proposta para que o desperdício de materiais seja mínimo ao longo da cadeia produtiva. Um exemplo de ajuste é a reutilização das sobras e cavacos que podem ser gerados nos processos produtivos. Ao longo do processo produtivo em linha, deve ser criado “pontos de coleta”, que são recipientes de grande volume que devem ter seu local determinado no arranjo físico da produção sempre no final de cada etapa, ou em um espaçamento fixo, como por exemplo a cada 20 metros, garantindo que nenhum refugo seja descartado e não seja aproveitado (Figura 27).

A distância entre um ponto e outro, caso não seja possível colocar após cada etapa produtiva, é fixa, mas o espaçamento pode ser diferente dependendo do tamanho do processo produtivo, pois quanto maior a linha, maior poderá ser o espaçamento, sendo o contrário verdadeiro. Para o pleno funcionamento da Abordagem, deve ser designado uma pessoa responsável pela coleta de todos os pontos, através de um carrinho estilo paleteira (plataforma), com pneus. A periodicidade de coleta depende do volume produtivo de cada linha, mas a passagem do

responsável deve ser escalonada de forma a ser sempre antes do completo preenchimento dos recipientes, garantindo que nenhum refugo seja desconsiderado

Figura 27 – Modelo genérico - Abordagem U-TURN.



Fonte: O autor.

O responsável deve encaminhar este veículo para as primeiras etapas produtivas, ou setor de reaproveitamento (Macrofase I), tornando o refugo da produção novamente a matéria prima ou ser corretamente destinado, passando pelos processos necessários para garantir a qualidade, como por exemplo a esterilização a vapor (caso algum refugo entre em contato com o chão, por exemplo) ou ser diretamente inserido novamente no processo produtivo. Desta forma, 100% do refugo produtivo volta para o processo ou é destinado às empresas parceiras, garantindo que não seja produzido resíduos ao longo da linha. Na Figura 27 é detalhado que os processos serão feitos sem automatização, ou seja, trabalho braçal. A idealização inicial foi feita neste formato pois o foco da aplicação da abordagem serão empresas de pequeno e médio porte, ou seja, se entende que serão empresas com poucos recursos financeiros e a aquisição de maquinários já no início do seu ciclo de vida ficaria inviável. Mas, não se descarta a possibilidade de que no futuro alguns processos sejam semiautomatizados, como a desmontagem ou a embalagem.

4.1.3.2 Cadeia integrada de suprimentos

O segundo objetivo proposto pela Abordagem nesta Macrofase é conseguir conectar de forma sistêmica todas as etapas da cadeia de produção de um produto fabricado a partir do descarte de produtos anteriores. Para atingir este objetivo, as ferramentas de apoio utilizadas serão o *Enterprise Resource Planning (ERP)*, ou Planejador de Recursos Empresariais e o *Manufacturing Execution System (MES)*, ou Sistema de Execução da Manufatura.

O ERP, como ilustrado na Figura 28, é um sistema de informações que integra todos os dados e processos de uma organização em um único sistema. A integração ocorre entre as áreas da empresa, isto é, entre os setores de finanças, contabilidade, recursos humanos, fabricação, marketing, vendas, compras. Há também a integração entre os sistemas que estão inseridos dentro de cada setor da empresa, como o sistema de processamento de transações, sistemas de informações gerenciais, sistemas de apoio a decisão, sistemas computadorizados de fabricação, entre outros (PADILHA, 2005). Para o mesmo autor, o ERP pode ser considerado como a espinha dorsal da empresa, um grande banco de dados que interage e se realimenta, uma arquitetura de transações que liga todas as funções de uma empresa, incluindo o processamento de pedidos (vendas), controle e gerenciamento de estoque, planejamento de produção, distribuição dos produtos, finanças e retorno dos produtos descartados, através da logística reversa.

Figura 28 – Sistema ERP - *Enterprise Resource Planning* – Planejamento Recursos Empresariais



Fonte: Adaptado de *Advanced* (2019).

Ao facilitar o gerenciamento do processo de produção, vendas e faturamento, a empresa volta seus esforços para outros itens também importantes, como um planejamento eficiente do negócio, diminuição de gastos e otimização de processos. É também com este tipo de sistema que a total integração da Cadeia de Suprimento torna-se possível, pois todos os agentes envolvidos no processo de produção estão interligados, conectando as ordens de produção, pagamentos, transporte e retorno à empresa dos materiais descartados em um único sistema. Além disso, com um único portal de informações para todos os envolvidos, a informação deve fluir de forma mais fácil e rápida, garantido menor tempo de processamento entre a entrada do pedido até a entrega do produto. Aliado a esta rapidez no processo é possível também que erros ao longo da linha, como por exemplo a falta de estoque, sejam facilmente identificados e corrigidos antes de gerar qualquer problema ao fluxo de produção e comercialização. Segundo Padilha (2005), algumas das vantagens para utilização do ERP são:

- Aumento da qualidade dos produtos e eficácia dos processos;
- Maior visualização de ações visando a redução de custos;
- Eliminação da utilização de controles manuais de produção e estoque;
- Otimização do fluxo da informação dentro da organização (agilidade);
- Redução no Lead time (tempo de processamento das peças);
- Redução de estoque;
- Automatização de atividades, reduzindo custos;
- Maior e melhor controle das operações da empresa.

Entretanto, não se trata de um sistema perfeito, há também desvantagens, algumas delas segundo Padilha (2005) são:

- Altos custos que muitas vezes não comprovam a relação custo/benefício;
- Dependência do fornecedor do sistema de ERP;
- Torna os módulos dependentes uns dos outros, cada departamento depende das informações do módulo anterior. Logo, as informações têm que ser constantemente atualizadas e estarem corretas;
- O seu fornecedor do sistema pode descontinuar a sua versão de ERP sem aviso prévio.

Com um sistema de ERP conectado à Abordagem *U-TURN*, é possível garantir que toda a cadeia produtiva esteja conectada e que nenhuma etapa possa estar em desacordo com a premissa básica da Abordagem, ou seja, ser um processo altamente sustentável, reduzindo a quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários. É preciso analisar detalhadamente cada empresa que aplicará a Abordagem desenvolvida para garantir que o uso do ERP seja estruturado de forma eficaz, já que uma de suas desvantagens é seu custo. Trata-se de uma ferramenta cara, que se for subtilizada pela empresa, acabará onerando desnecessariamente e poderá gerar prejuízos financeiros irreparáveis.

Já o MES (Sistema de Execução da Manufatura) é uma ferramenta de controle da produção aplicada no chão-de-fábrica que permite monitorar os processos produtivos em tempo real, fornecendo informações para tomada de decisão com foco na otimização operacional. O MES está ligado diretamente com a área de Tecnologia da Informação (TI) das empresas, alimentado com dados obtidos em tempo real nos pontos chaves dos processos produtivos e transmitidos através do sistema integrado de comunicação digital da empresa (*internet*). Ou seja, O MES é uma ferramenta criada a partir do avanço do setor de Tecnologia da Informação (TI) (KLETTI, 2007).

O objetivo principal do MES é monitorar a execução dos processos produtivos diretamente no chão-de-fábrica e em tempo real, integrando o planejamento das demandas de produção (ERP) com o controle gerencial da empresa, sendo uma forma de conector entre o planejado e a execução das demandas, como mostra a Figura 29 (SHIRASUNA, 2008).

Figura 29 - MES – Sistema de Execução da Manufatura.



Fonte: Adaptado de PERIN, 2017.

O MES trabalha relacionado a diversas atividades dentro da produção (chão de fábrica), tais como: controle de execução das ordens de produção, auxílio ao fluxo de materiais, auxílio no controle da qualidade, controle de matéria-prima, auxílio na padronização das operações, auxílio na programação e acompanhamento de manutenções, entre outros. O sistema funciona de forma totalmente integrada com o ERP da empresa, trabalhando de maneira complementar, sendo considerado um componente do ERP. Ou seja, com os dois sistemas funcionando de forma simultânea em uma empresa, o controle e integração de toda a cadeia produtiva se torna mais ágil e eficaz (KLETTI, 2007).

Segundo Salatiel (2008), os potenciais benefícios com a aplicação do MES são:

- melhoria nos prazos de entrega - diminuição ou melhor assertividade nas datas;
- redução do tempo de produção – otimizações operacionais;
- redução de inventário em processo – foco na produção enxuta;
- melhoria no desempenho dos recursos – foco na minimização do uso de recursos;
- informação em tempo real sobre as ordens de produção – integração com a parte de T.I das empresas – coleta dos dados de forma automatizada;
- melhora da qualidade das decisões – mais dados com maior assertividade sendo direcionados aos gestores da empresa para tomada de decisão;
- redução de custo – diminuição estoque intermediário, otimizações operacionais;
- elimina e ou reduz controles em papel – 100% digital e integrado;
- melhora da qualidade – auxílio no controle de qualidade através da análise em tempo real dos dados produtivos.

Entretanto, a metodologia MES apresenta algumas limitações e desvantagens, como por exemplo:

- Alto custo de investimento;
- Requer conhecimentos específicos para parametrizações (Maquinários, TI);
- Requer interface com ERP – integração mínima necessária;
- Requer investimentos em TI;

- Requer treinamentos em capacitação de funcionários (OEE, indicadores, ferramentas da qualidade, finanças);
- Requer apoio da alta administração;
- Requer auditoria;

Portanto o MES é projetado para integrar os dados da operação com o ERP e garantir um gerenciamento mais eficiente, possibilitando a tomada de decisão com base em informações mais confiáveis e em menor espaço de tempo. Sistemas como o MES permitem a análise contínua das condições dos equipamentos e maquinários, disponibilizando informações do produto em todos os pontos do processo produtivo em tempo real, sendo junto com o ERP, um sistema fundamental para garantir a excelência nos processos produtivos e integração de toda a cadeia de suprimentos (KLETTI, 2007).

A principal etapa de toda a Cadeia de Suprimento para a Abordagem *U-TURN* é o retorno do material à empresa, ou seja, quando o produto fabricado chegar ao fim de seu ciclo de vida, é necessário que ele retorne para o processo produtivo. O ERP juntamente com seu módulo de controle produtivo denominado MÊS auxiliam a garantir este sistema, mas como o retorno de materiais é uma etapa complexa e de extrema importância para a completude da Abordagem, foi determinada uma Macrofase denominada logística reversa que é explorada no próximo item.

Portanto, o objetivo da terceira Macrofase da Abordagem *U-TURN* é identificar qual o melhor modelo de fabricação dos produtos feitos à base de materiais descartados, atingindo aos 2 objetivos propostos nesta Macrofase: a) manufatura com resíduo zero; e b) a cadeia integrada de suprimentos. Através da correta escolha do layout da produção, aliada aos pontos de coleta ao longo da linha, o primeiro objetivo deve ser alcançado. Utilizando a ferramenta do ERP, todos os envolvidos na cadeia produtiva estarão conectados, desde a fase inicial de análise da matéria prima até o ciclo final do produto e seu retorno, espera-se atingir o segundo objetivo proposto.

Os artigos utilizados como base para o desenvolvimento desta Macrofase foram: “*Sustainable supply chain for collaborative manufacturing* (AMER *et al.*, 2011); “*Introducing the All Seeing Eye of Business: a model for understanding the nature, impact and potential uses of waste* (SHORT *et.al*, 2013); “*Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis*

methodology: A Brazilian Case (LEVINO *et al.*, 2016); e “*Remanufacturing strategies: A solution for WEEE problem* (LI *et al.*, 2017).

No primeiro artigo os autores explicam em detalhes como se comporta uma cadeia de suprimentos sustentável, explanando como funciona os 6Rs da sustentabilidade ao longo da cadeia. Entretanto, o artigo não apresenta como poderia ser o relacionamento entre diferentes *stakeholders* ao longo da cadeia para torná-la sustentável. Baseado nesta limitação, a Abordagem *U-TURN* desenvolvida nesta pesquisa propõe parceria com empresas terceirizadas, principalmente para coleta e possível comercialização dos resíduos que são enviados ao setor de descarte.

A partir do referencial do segundo artigo que explora a diminuição da geração de resíduos ao longo das etapas produtivas dos produtos, o processo de produção da Abordagem proposta foi desenvolvido tendo como base algumas diretrizes propostas por Short Tim *et al.* (2013) acrescentando, por exemplo, locais de armazenamento temporário em cada subestação da fase de produção, garantindo 100% de rastreabilidade de todos os resíduos gerados.

A terceira publicação demonstra uma abordagem mais detalhada de como se comporta uma cadeia de suprimentos sustentável, enfatizando como todos os *stakeholders* envolvidos devem estar engajados para que toda a cadeia consiga se tornar sustentável, porém a pesquisa foi focada somente em produtos eletrônicos.

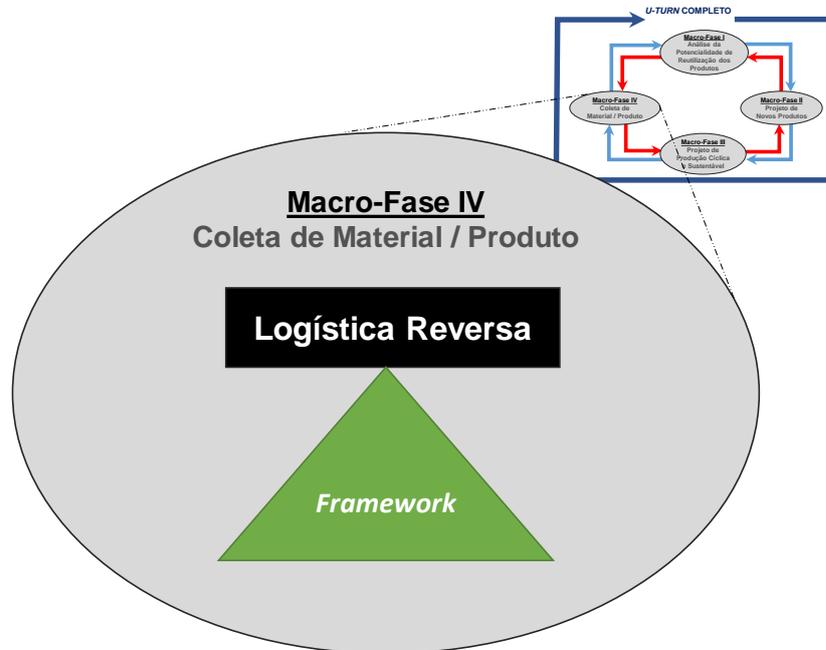
Por fim, a quarta pesquisa propôs que os materiais devem ser analisados ao fim de seu ciclo de vida para que possam novamente serem utilizados. Entretanto a pesquisa foca muito na produção e remanufatura somente de produtos eletrônicos. Tendo estas pesquisas como referência, a Abordagem *U-TURN* desenvolvida propõe uma visão mais abrangente, onde empresas interessadas em sua utilização possam aplicá-la em qualquer tipo de material descartado. É importante salientar que o artigo, “*Remanufacturing Strategies: A solution for WEEE problem*” serviu como base para construção de duas Macro-fases, isto é, tanto na 1ª como a 3ª Macro-fases, se mostrando como uma pesquisa relevante no processo de concepção da Abordagem *U-TURN*.

4.1.4 Macrofase IV – Coleta de Material/ Produto

Na Macrofase IV (Figura 30), o produto/material descartado pelos consumidores no final de sua vida útil deve ser coletado, transportado, segregado, desmontado e higienizado através de uma logística reversa eficiente para ser inserido

novamente no ciclo produtivo da Abordagem *U-TURN*. Essa Macrofase é de extrema importância, pois dentro da Abordagem *U-TURN* esta etapa compreende ao mesmo tempo o fim do ciclo de vida de um produto e o início de um novo processo produtivo reutilizando resíduos, fechando o processo circular proposto nesta pesquisa.

Figura 30 – Macrofase IV – Abordagem *U-TURN*.



Fonte: O autor.

4.1.4.1 Logística reversa – *Framework* (3W1H)

Para auxiliar nesta importante Macrofase foi utilizado como ferramenta de apoio o *framework* de logística reversa desenvolvido por Brito and Dekker (2004), adaptando a Metodologia dos 3W1H para a realidade da Abordagem *U-TURN*. A aplicação da Metodologia 3W1H foi possível desenvolver nesta Macrofase uma ferramenta para auxiliar a tarefa de retorno dos produtos às empresas que os fabricaram no fim de seus ciclos de vida. Resumidamente, para uma logística reversa eficiente o uso das 4 perguntas, denominada assim de 3W1H (Why, What, Who e How) permite identificar os passos chaves do processo:

- **Why** (*Por quê*) *retornar produtos* - deve-se examinar os motivos para o retorno dos produtos, não só em seu ciclo de vida final, mas entender quais outras situações o fluxo reverso pode ocorrer;
- **What** (*O que*) *está sendo devolvido* - deve-se descrever todas as características do produto a fim de identificar a melhor forma de retorná-lo;

- **How (Como)** a *Logística Reversa* funcionará - após os 2 questionamentos anteriores, é possível identificar e elencar quais os melhores métodos do fluxo de retorno;
- **Who (Quem)** está executando a *logística reversa* – é preciso identificar todos os envolvidos com o processo do fluxo de retorno, como é a empresa geradora e como é o consumidor final daquele produto que passará pelo fluxo de retorno.

Com relação ao “Por quê” (*Why*), uma empresa pode fazer o fluxo de retorno de produtos nos seguintes casos: i) porque podem lucrar com isso; ii) porque precisam fazer isso (normalmente forçados por alguma lei); e iii) porque “se sentem” socialmente motivados a fazê-lo. Para o desenvolvimento da Abordagem *U-TURN* considerou-se somente os casos “i” e “ii”, ou seja, que as empresas que optarem por utilizar a Abordagem proposta farão a logística reversa, pois diminuirão a quantidade de resíduos descartados e, conseqüentemente, podem obter lucro com tal operação, já que sua matéria prima será proveniente do descarte de produtos.

No questionamento do “O que” (*What*), deve-se questionar o que realmente está sendo descartado ou devolvido. Para tanto, há 3 características dos produtos que são relevantes: i) composição; ii) fator de deterioração; e iii) padrão de uso. Com relação a composição, o importante a ser levantado em conta é o número de componentes e materiais de cada produto. Não apenas o número, mas também a forma como os materiais e componentes estão reunidos, pois com estas informações é possível ter uma ideia preliminar de como serão os processos de desmontagem, higienização e classificação. O levantamento destas informações é fundamental, principalmente se for constatado a presença de materiais perigosos, já que eles necessitam de processos especiais para transporte, manuseio e descontaminação. Para a Abordagem *U-TURN* a composição é tratada de forma isolada, sendo todos os componentes dos produtos separados em caixas personalizadas para passar pelas demais etapas da abordagem.

Do ponto de vista da deterioração, é necessário que seja feito um estudo sobre as características de deterioração dos produtos que eventualmente podem causar mau funcionamento do produto, mas também determinar se há funcionalidade suficiente para fazer um uso adicional do mesmo, sem necessitar passar por grandes intervenções ou uso de novas matérias-primas. No caso da Abordagem desenvolvida, a primeira Macrofase do processo ficará responsável por garantir a aplicabilidade deste produto descartado como matéria prima para fabricação de um novo produto.

O último critério a ser analisado é o padrão de uso do produto por seu consumidor, com relação à localização, intensidade e duração do uso. Além disso, o tipo de usuário também é relevante, se é um indivíduo ou uma instituição (uso em massa). Tais fatores impactam na execução da logística reversa exigindo diferentes locais para coleta ou diferentes graus de esforço do usuário final (por exemplo, levar para um ponto de coleta ou ter seu produto coletado em seu endereço sem esforços).

Já em relação ao “Como” (*How*), é feita a logística reversa. É fundamental que a recuperação (coleta) do material seja somente uma das atividades do processo. Trata-se da mais significativa e mais abordada fase da logística reversa, entretanto, é comum não levar em consideração outras atividades de igual importância antes da recuperação como a inspeção, segregação, higienização e classificação, para aí sim entrar no processo da recuperação do material. A fase de coleta faz referência a como estes produtos serão coletados do consumidor final e entregues à empresa produtora de novos produtos. Esta é uma das fases mais críticas da logística reversa e, para a Abordagem *U-TURN*, é de extrema importância, pois será necessário criar um canal amplo e de fácil acesso para que o consumidor entregue os produtos ou tenha-os coletados em casa, caso contrário, o consumidor poderá simplesmente descartá-lo no lixo comum impossibilitando o processo da logística reversa. Dessa forma, além de possuir locais fixos para receber estes materiais, como caixas receptoras em mercados, metrô e locais de grande fluxo de pessoas, as empresas devem investir na coleta “porta a porta” dos resíduos.

É importante a implementação de um canal que permita ao consumidor informar o fabricante que deseja se desfazer do produto e, à empresa (através de frota própria ou terceirizada) fazer a coleta nas casas de forma gratuita. Outra opção de coleta que diminuiria custos é a criação de rotas fixas espalhadas pela cidade para cada dia da semana. A informação sobre a rota, dia de coleta e horários seriam oferecidos pela empresa aos clientes na hora da compra, através de um manual de Instruções, e/ou através do seu SAC. Para os clientes que decidirem levar diretamente aos pontos de coleta fixos (caixas receptoras – Figura 31), a empresa pode fazer uso do incentivo monetário, ou seja, aplicar percentual de desconto na compra de novos produtos de acordo com a quantidade de materiais devolvidos.

Figura 31 – Exemplos de Tipos de Retorno de Produtos.



Fonte: O autor.

Os processos de inspeção, seleção, higienização e classificação devem ser feitos na empresa transformadora. Finalizado estas etapas, o produto/material selecionado inicia o processo de desenvolvimento de um novo produto sustentável através da Abordagem *U-TURN*, ou caso seja um produto fabricado através *Framework* proposto continuará no processo de desenvolvimento circular que a abordagem proposta oferece.

Com relação a “Quem” (*Who*) no sentido de identificar todos os atores responsáveis e atuantes em um processo de logística reversa, existem 3 tipos de participantes, que são:

- i) Atores da cadeia de suprimentos avançados (como fabricantes, atacadista e varejista);
- ii) Agentes especializados em cadeias reversas (como especialistas em reciclagem, empresas de coleta de resíduos);
- iii) Atores oportunistas (como cooperativas de reciclagem) – oportunistas no sentido de utilizarem a logística reversa como oportunidade de negócio e sustento.

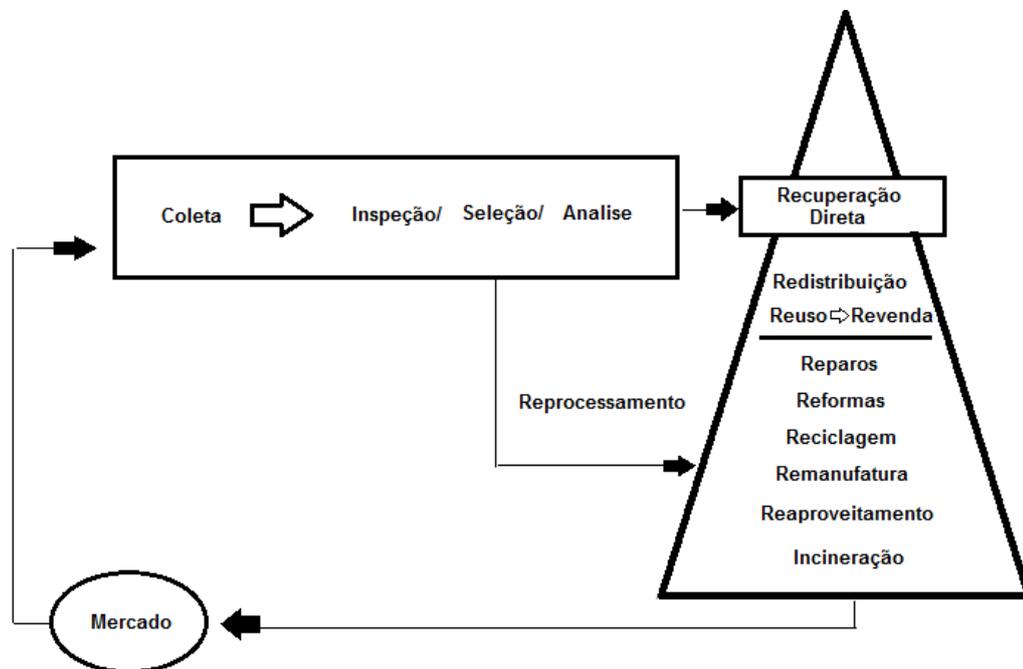
Cada ator tem objetivos diferentes; um fabricante pode fazer a logística reversa para diminuir seus custos com matéria prima, ou porque há alguma lei municipal que o obrigue. Já uma cooperativa pode fazer a logística reversa apenas para vender os produtos e gerar renda para sustentar as famílias que as constitui.

Como a abordagem *U-TURN* objetiva a aplicação em empresas que queiram reutilizar materiais para criação produtos, os responsáveis pela logística reversa serão atores da cadeia de suprimentos avançados, mais especificamente empresas

transformadoras, respeitando o fluxo da logística reversa adaptado da pesquisa de Brito and Dekker (Figura 32).

Diante do exposto, a última Macrofase assegura o retorno dos produtos ao processo produtivo de forma eficaz, com maior número possível de produtos sendo reaproveitados e inseridos novamente no ciclo produtivo através da aplicação do *Framework* proposto, aumentando a “sobrevida” do produto/material e retirando dos aterros quantidades significativas de resíduos, bem como diminuindo as quantidades de matérias primas extraídas diretamente da natureza.

Figura 32 – Processo de Logística Reversa.



Fonte: Adaptado de Brito and Dekker (2004).

O desenvolvimento desta fase foi norteado pelas seguintes pesquisas:

- i) “*An assessment of the recycling potential of materials based on environmental and economic factors: case study in South Korea*” (PARK *et al.*, 2009), que mostra os custos que cada tipo de matéria prima possui para retornar aos sistemas produtivos, fornecendo ideias de como fazer este transporte reverso à linha de produção;
- ii) “*Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy*” (ORDOÑEZ *et al.*, 2016), que detalha o funcionamento da economia circular, demonstrando produtos reais que foram remanufaturados e que antes seriam simplesmente descartados. O foco da

pesquisa é a economia circular, entretanto há explicações sobre como retornar os produtos às linhas de produção, através das rotas de recuperação, sendo esta contribuição relevante para a construção da Abordagem proposta no presente estudo;

- iii) “*Minimizing the increasing solid waste through waste strategy*” (ZENG *et al.*, 2014), que explora o funcionamento do conceito de zero waste e detalha 2 flowcharts para melhor entendimento. Além disso, explica a economia circular, fornecendo subsídios para o melhor entendimento do fluxo de retorno de produtos, incentivando monetariamente os usuários. A pesquisa, no entanto, focou somente na implementação da ideia do zero waste com o lixo municipal de cidades;
- iv) “*A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines*” (ZAMAN *et al.*, 2015), que detalha os conceitos do zero waste e demonstra como fazer a gestão para que a metodologia seja corretamente aplicada, porém como o artigo anterior, é focado somente na aplicação da metodologia para cidades e não para empresas ou produtos;
- v) “*Use to use – A user perspective on product circularity*” (STROMBERG *et al.*, 2019), que demonstra como é a perspectiva de um usuário sobre aquisição de produtos e seu respectivo descarte. A pesquisa ilustra como deve ser o ciclo de toda a cadeia produtiva para a reutilização de produtos, inclusive sugerindo ideias para facilitar a captação dos produtos que seriam descartados pelos usuários, incentivando a reciclagem e conseqüentemente a remanufatura. Esta pesquisa, teve especial relevância para o detalhamento e sintetização da melhor forma de captação de materiais para serem novamente inseridos na cadeia produtiva.

A abordagem *U-TURN* foi apresentada de maneira conceitual e assegura que o processo de desenvolvimento de produtos seja orientado para a sustentabilidade, propondo uma abordagem que compreende de forma mais ampla e detalhada a reutilização de materiais descartados como matéria prima para a fabricação de novos produtos sustentáveis. No próximo Capítulo serão explorados casos experimentais para corroborar a proposta da Abordagem *U-TURN*.

5 APLICAÇÃO DA ABORDAGEM *U-TURN* PROPOSTA POR MEIO DE CASOS EXPERIMENTAIS

Conforme detalhado no referencial teórico, o objetivo da abordagem será conectar os produtos que estão no seu fim de ciclo de vida com novos processos produtivos, sendo estes produtos descartados sendo utilizados como matéria prima para confecção de novos produtos. Além disso, o foco do estudo será na reutilização de materiais que são considerados caso fossem descartados como resíduos do tipo sólido urbano de classe II, ou seja, resíduos produzidos em residências e que teriam impacto ambiental negativo caso fossem descartados no ambiente. Dentro deste nicho de produtos, foram apresentados na sequência 4 casos experimentais de produtos escolhidos de forma aleatória para demonstrar o funcionamento da Abordagem *U-TURN* proposta e discutida conceitualmente no Capítulo 4.

5.1. CASO EXPERIMENTAL NUMERO 01 – TELEVISOR TIPO LED

Este experimento consistiu na aplicação de todas as Macrofases da Abordagem *U-TURN* na concepção e desenvolvimento de um produto sustentável utilizando o reaproveitamento de material oriundo do descarte de uma televisão LED de 32 polegadas (Figura 33).

Figura 33 - Exemplo da TV LED de 32" utilizada no caso experimental.



Fonte: O autor.

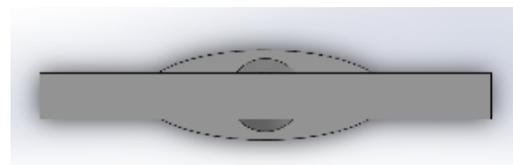
5.1.1. Análise da potencialidade de reutilização de produtos descartados - Macrofase I

Para garantir que o produto selecionado atenda aos requisitos mínimos de resistência foi utilizado o critério de *Von Mises* do Módulo CAE do *Software SolidWorks*, aplicando os testes de resistência e deformidade (ensaio denominado de teste de deslocamento estático). Este tipo de experimento foi escolhido porque permite simular o comportamento do produto ao ser acionado por forças constantes aplicadas em suas faces, conseguindo em um mesmo ensaio definir a resistência dos materiais e também seu grau de deformidade quando aplicado distintas forças em sua geometria. Apesar de não levar em consideração quedas e forças de impacto, este teste é o que melhor representa as forças que este material pode receber ao passar pelo processo de remanufatura. Para a aplicação dos testes, o produto - uma TV LED 32" da marca Philco, modelo PH16D10DB - foi modelado no Módulo CAD do *Software SolidWorks* utilizando as medidas reais fornecidos pelo fabricante:

- Tela: Altura 45,7 cm x Largura 74,3 cm;
- Tela + Gabinete (caixa proteção): Altura 49,7 cm x Largura 78,3 cm x Espessura 7,6 cm;
- Base: Altura 3,9 cm x Espessura 14,4 cm - Raio 7,2 cm e amplitude angular de 120°;
- Material: Poliestireno de Alto Impacto – OS (alto impacto).

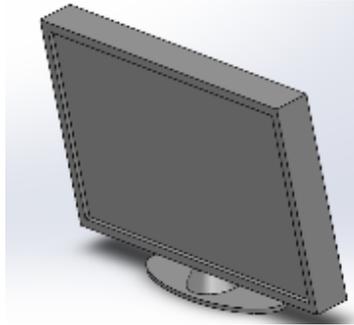
Segundo Costa (2007), o material recomendado e amplamente utilizado pelas empresas na fabricação de eletrodomésticos em geral, peças de máquinas ou automóveis, gabinetes de rádios, ar-condicionado, televisores, entre outros, é o Poliestireno (PS) de alto impacto (resistente ao calor). Portanto, para os testes aplicados no software, o produto foi modelado geometricamente utilizando-se este tipo de material. A Figura 34 ilustra as vistas frontal, superior e geral do produto modelado no CAD.

Figura 34 – Vistas do produto modelado no CAD.



(b) Vista Superior.

(a) Vista Frontal do produto.

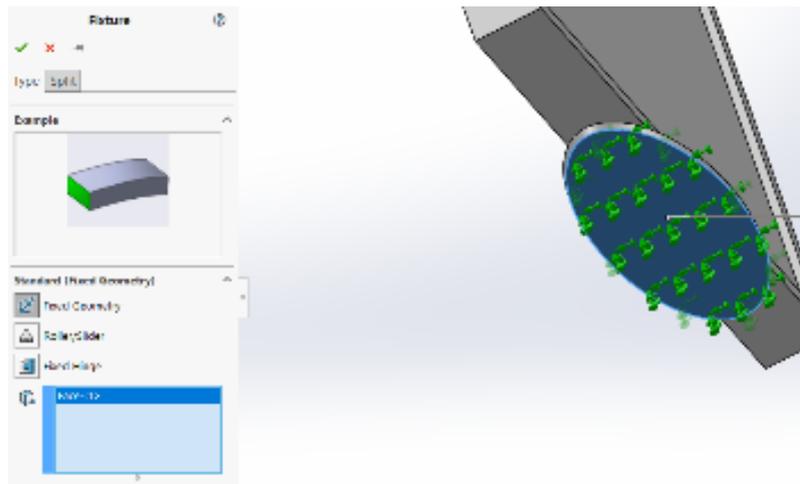


(c) Vista Geral do produto.

Fonte: O autor.

Com o produto modelado geometricamente no ambiente *CAD*, a próxima etapa foi a análise da potencialidade de sua reutilização através do teste de deslocamento estático. O ponto de fixação (local onde são inseridas as forças) foi definido como sendo a base da TV (a parte inferior), pois trata-se da posição padrão utilizada pela maioria dos consumidores. Esta é, também, a posição padrão (com base em contato com o solo e o gabinete fixo acima da base) em que os televisores coletados serão entregues no início do processo produtivo e passarão pela retirada das peças na desmontagem. A Figura 35 apresenta o ponto de fixação na parte inferior do televisor definido para os testes.

Figura 35 – Ponto de Fixação – Base da TV de LED.



Fonte: O autor.

Para identificar a potencialidade de resistência e deformação do produto levou-se em consideração, para mensuração das forças a serem aplicadas, a própria massa do produto, ou seja, segundo o fabricante em torno de 9 kg. Adotando a aceleração

da gravidade com valor aproximado em módulo de $10,0 \text{ m/s}^2$, se tem inicialmente que a força de seu próprio peso possui o valor de 90 N (Newtons). Portanto, a partir deste valor inicial foi possível executar os testes e, para comparação do comportamento do produto foram utilizados valores múltiplos de seu próprio peso, isto é, forças com 3 e 12 vezes mais intensidade que seu próprio peso, o que resultou em forças de 270N e 1080N, respectivamente.

Para os testes, entendeu-se que o esforço sofrido pelo produto na linha de desmontagem é no máximo em 2 locais distintos, simultaneamente. Portanto, no software foi definido o local da aplicação de 2 forças com mesmo módulo e ao mesmo tempo, mas em 2 direções distintas, uma perpendicular à outra, nos seguintes locais:

- a) uma força na parte traseira do gabinete - região que sofre a maior força de incidência na hora da desmontagem, já que é neste local que se encontram todos os pontos de abertura para acesso aos componentes eletrônicos contidos no televisor;
- b) uma força em uma das laterais do gabinete - representando a força de contrabalanceamento do equipamento para receber as forças de desmontagem na parte traseira, ou seja, na desmontagem é preciso segurar em uma das laterais para equilibrar o equipamento enquanto é aplicado as forças na parte traseira.

Os ensaios foram feitos somente para a parte exterior do gabinete do televisor, pois os componentes eletrônicos internos não sofrerão forças significativas para serem desmontados ou montados em novos produtos. Entende-se que, como são componentes frágeis e não estruturais do produto, qualquer novo produto a ser fabricado demandará cuidados e aplicação de forças mínimas para não os danificar, e, portanto, optou-se pela não realização de testes de resistência nestes materiais.

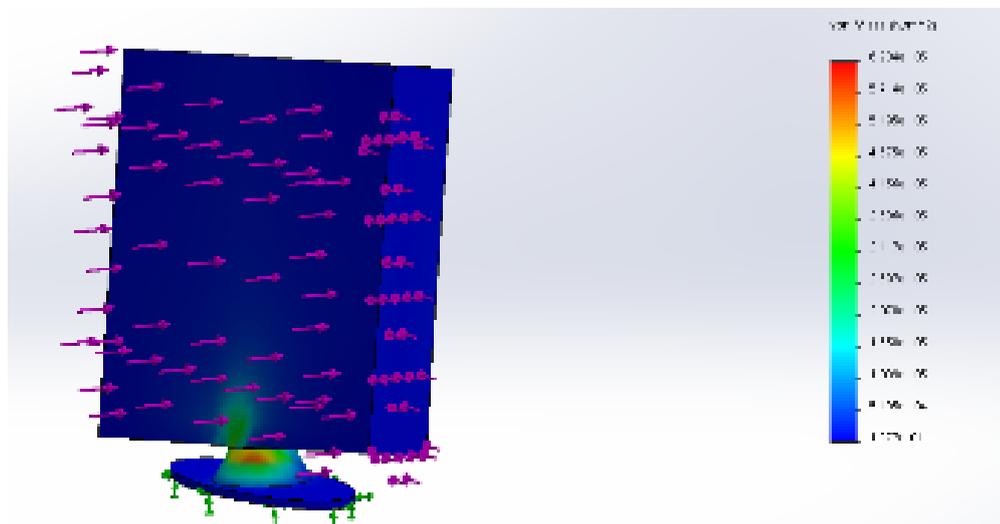
5.1.1.1 Aplicação de 90 N de força ao produto - Teste 01

Para a análise dos resultados dos testes foi utilizada a escala de cores presente no teste de *Von Mises* do Módulo *CAE*, onde em um extremo da escala a cor azul escuro representa a não deformidade ou deslocamento do produto e, no outro extremo, a cor vermelha representa a deformidade ou deslocamento máximo que causaria ruptura no material.

A Figura 36 apresenta o teste de resistência e deformidade realizado no ambiente *CAE* para uma força de 90 N aplicada no gabinete do produto. Como é observado na Figura, o produto ao passar pela aplicação da primeira força de 90 N

não tem muitos impactos em seu gabinete, entretanto no ponto de fixação entre a base e o gabinete haveria uma significativa deformidade, que chega a $6,2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Tal valor não gera uma ruptura no material, pois segundo Coutinho et al. (2007), o material Poliestireno (PS) de alto impacto resistente ao calor pode sofrer ações de até 31 Mpa (*Megapascal*) conforme mostrado na Figura 37, que convertido para N/m^2 (Newtons por metro quadrado) resulta em $3,1 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ e que, portanto, não caracterizaria a ruptura. Contudo, o valor encontrado deixa o material levemente sensibilizado e que neste caso, isto ocorre no ponto de fixação entre a base e o gabinete.

Figura 36 – Teste de *Von Mises* com aplicação de 90 N – Deformidade.



Fonte: O autor.

Figura 37 - Tensão de Ruptura do poliestireno de alto impacto.

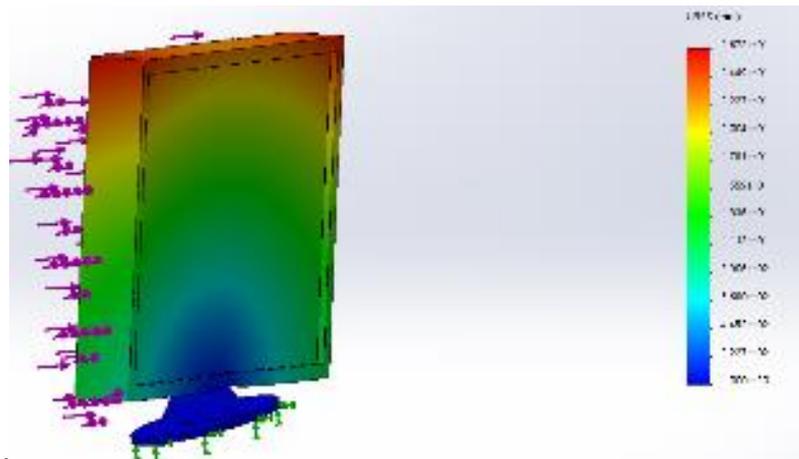
PS	
Tensão de Ruptura (MPa)	31 ± 3
Módulo de Young (MPa)	1111 ± 72
Elongação (%)	$6 \pm 0,2$

Fonte: Coutinho et al. (2007).

Em relação ao deslocamento, que significa o grau de torção que o produto sofre e representa como o produto se comporta fisicamente ao ser aplicado as forças propostas. A aplicação das forças perpendiculares de 90 N sobre o gabinete do televisor resultou em um deslocamento máximo de 0,27 mm no topo do gabinete.

Como mostra a Figura 38, tal deslocamento é capaz de movimentar levemente a base de fixação em relação ao gabinete, mas sem causar rupturas. Já o topo do gabinete sofre um impacto leve, sendo projetado para frente em 0,27 milímetros, mas ainda sem causar dano significativo à peça e sendo quase impossível observá-lo a olho nu.

Figura 38 – Teste de *Von Mises* com aplicação de 90 N – Deslocamento.

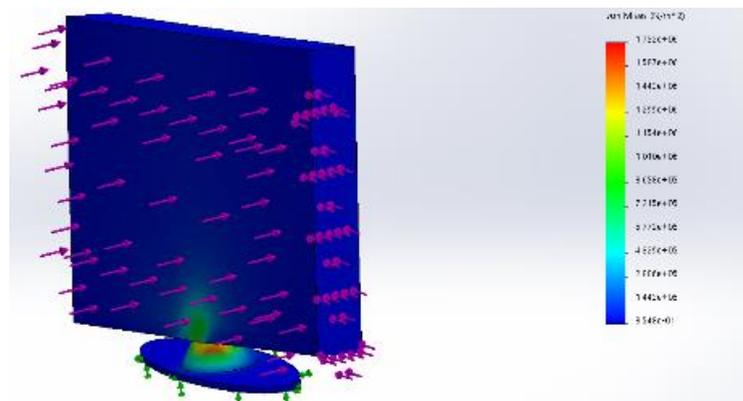


Fonte: O autor.

5.1.1.2 Aplicação de 270 N de força ao produto - Teste 02

Para este teste foi utilizado o valor de 3 vezes o peso do produto, isto é, uma força de 270 N. As forças continuaram incidindo no produto da mesma forma, ou seja, 2 forças perpendiculares e de mesma intensidade incididas novamente uma na parte traseira do gabinete e a outra na parte lateral, tomando o cuidado para serem os mesmos locais da aplicação da força anterior, permitindo uma comparação entre os testes. A Figura 38 apresenta os resultados da aplicação do teste em ambiente CAE.

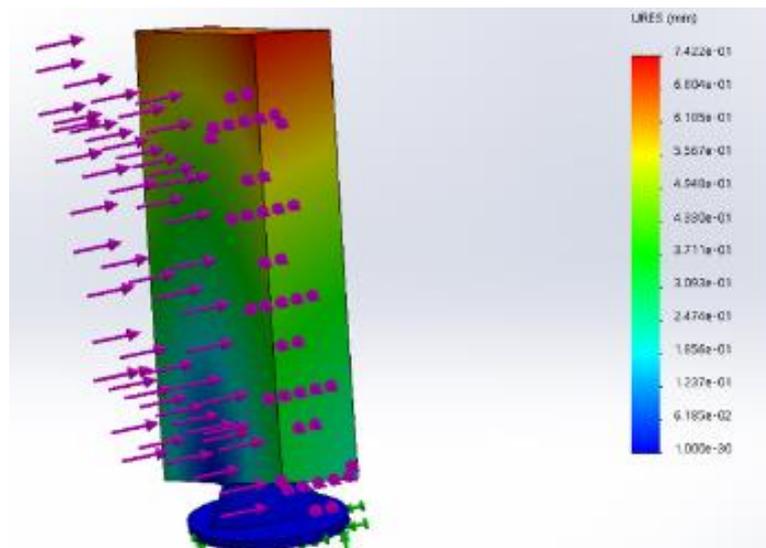
Figura 39 Teste de *Von Mises* com aplicação de 270 N – Deformidade.



Fonte: O autor.

Para os testes com 270 N, houve uma deformidade maior no ponto de fixação entre a base o gabinete como pode ser observado na Figura 39. Segundo este teste de *Von Mises* o produto ao passar pela aplicação de uma força de 270 N não tem novamente impactos negativos, mas no ponto de fixação entre a base e o gabinete ocorre uma deformidade máxima de $1,7 \cdot 10^6$ N/m². Esse valor, como o do teste anterior, não gera uma ruptura no material, entretanto, deixa o material ainda mais sensibilizado, ou seja, no ponto de fixação entre a base e o gabinete não ocorre rupturas na hora do teste, mas se fossem aplicadas outras forças de forma constante e consecutivas, possivelmente o produto poderia sofrer quebra neste ponto em específico. O deslocamento do material com a aplicação da força com intensidade de 270 N é mostrado na Figura 40.

Figura 40 – Teste de *Von Mises* com aplicação de 270 N – Deslocamento.



Fonte: O autor.

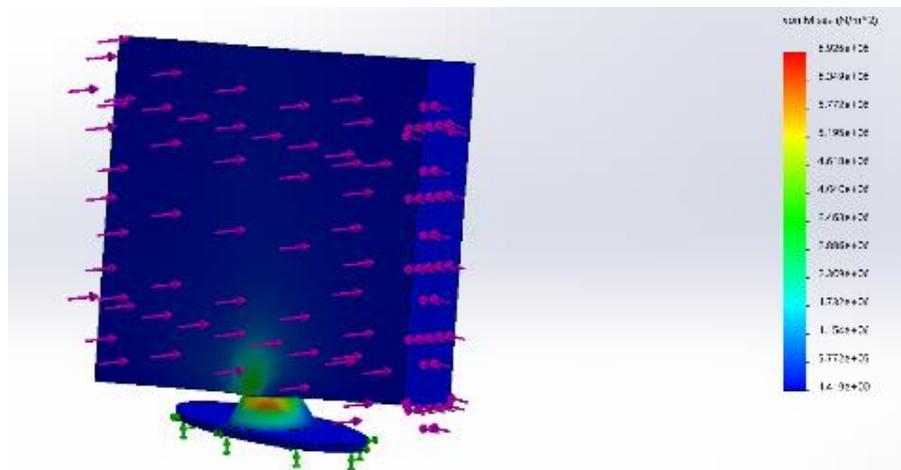
A aplicação das forças perpendiculares de 270 N sobre o gabinete do televisor resultou um deslocamento máximo de 0,74 mm, novamente no topo do gabinete. Como mostra a Figura 40, novamente tal deslocamento é capaz de movimentar a base de fixação com relação ao gabinete, mas sem causar nenhum tipo de ruptura. Já o topo do gabinete novamente é o ponto que sofre o maior deslocamento, mesmo assim gerando um impacto leve, sendo projetado para frente somente 0,74 mm. Esse deslocamento, como no caso anterior, não causa dano significativo na peça e continua sendo impossível observá-lo a olho nu.

5.1.1.3 Aplicação de 1080 N de força ao produto - Teste 03

Neste teste foi aplicado uma força de 12 vezes o peso do produto, ou seja, 1080 N (considerando sempre $g = 10 \text{ m/s}^2$), e com as mesmas duas forças perpendiculares e de mesma intensidade incididas novamente na parte traseira do gabinete e a na parte lateral, tomando o cuidado para serem os mesmos locais das aplicações dos testes anteriores.

A Figura 41 mostra os resultados obtidos com a aplicação de 1080 N no produto. Neste teste houve deformidade significativa no ponto de conexão da base com o gabinete, apresentando uma deformidade máxima de $6,9 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ neste ponto. A peça não apresentou ruptura, mas este ponto ficou sensibilizado e, caso outras forças de mesma intensidade fossem aplicadas novamente, a probabilidade deste ponto em específico não suportar e entrar em ruptura é alta. O restante do gabinete se manteve sem grandes impactos em relação a sua deformidade, ficando em torno de $5,7 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ e não apresentando riscos de ruptura.

Figura 41 - Teste de *Von Mises* com aplicação de 1080 N – Deformidade

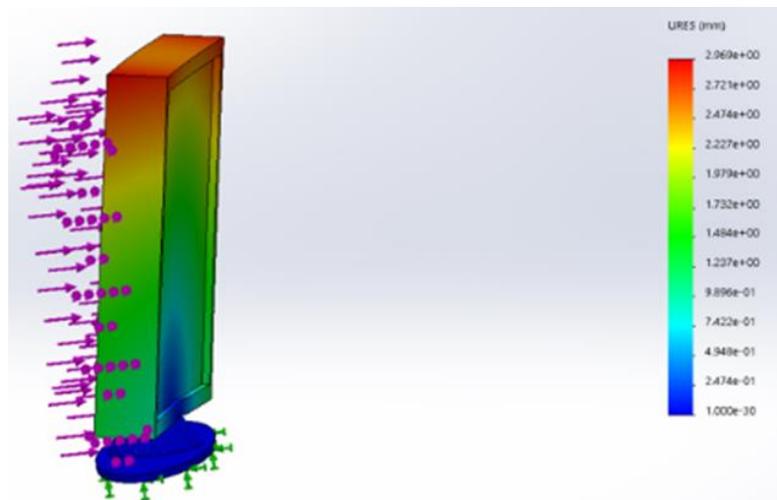


Fonte: O autor.

Diferentemente dos 2 testes anteriores onde somente a parte mais frágil sofreu ações elásticas (base fixação), neste teste, o topo do gabinete também sofreu deformidades significativas que pode resultar em uma possível ruptura no material, já que o valor estático máximo que o material PS de alto impacto pode sofrer é de $3,1 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ (Figura 37). Portanto, ao aplicar o teste de forças com 1080 N, no topo do gabinete a peça provavelmente sofre pequenas rupturas instantâneas e, caso novas forças de mesma intensidade fossem aplicadas na sequência, o produto sofreria

seguramente ruptura total neste ponto em específico. O deslocamento máximo neste ponto chegou a 29,7 mm, um aumento de 97% no deslocamento da peça ao se comparar com o teste de forças aplicadas com intensidade de 270 N. Como mostra a Figura 42, tal deslocamento é capaz de deformar o gabinete logo após o ponto de fixação entre a base e o gabinete, o que gera rupturas neste ponto e deforma geometricamente o topo do gabinete em suas 2 laterais. Isso fragiliza significativamente o gabinete do televisor, podendo surgir até novas trincas e estilhaçamento.

Figura 42 – Teste de *Von Mises* com aplicação de 1080 N - Deslocamento.



Fonte: O autor.

5.1.1.4 Discussão dos 3 testes (90, 270 e 1080 N)

Em resumo, a aplicação das forças de 90 e 270 N respectivamente, não causam deformações significativas no produto, entretanto, ao aplicar forças de 1080 N a peça sofre sérias deformações em sua geometria com um deslocamento de 29,7 mm, ficando muito próximo do ponto máximo estático de deformação para tipo de material. Considerando os valores máximos para ruptura de 31 Mpa ou $3,1 \cdot 10^7$ N/m² do PS, o material não sofre quebra na aplicação da força de 1080 N na primeira vez. Porém, como ficou muito próximo ao valor de limite máximo, a peça fica seriamente fragilizada a partir de uma segunda aplicação de forças desta intensidade, e na eminência de ruptura imediata do produto. A Tabela 14 mostra o resumo dos 3 testes pelos quais o produto foi submetido no ambiente de simulação de deformações do *software SolidWorks*.

Tabela 14 - Resumo dos Testes de simulação aplicados ao produto no *SolidWorks*.

Testes de Simulação no <i>SolidWorks</i>				
Força Aplicada	Testes de Von Mises	Deslocamento	Ruptura do Material	Estado do Produto
90 N	$6,2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$	0,27 mm	Não	Ok
270 N	$1,7 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$	0,74 mm	Não	Ok
1080 N	$6,9 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$	29,70 mm	Não, porém no limite	Em eminência de ruptura

Fonte: O autor.

As análises dos resultados das imagens e dados obtidos na simulação mostram que o produto selecionado para o experimento tem potencial para a reutilização, uma vez que aplicando esforços de baixa e média magnitude o material tende a permanecer sem ruptura.

O próximo passo da Abordagem é o processo decisório que define o prosseguimento do material para a segunda Macrofase ou não. Com base nos resultados dos testes obtidos, o produto analisado possui resistência e pode seguir para as próximas etapas da abordagem, não necessitando o seu descarte. Porém deve-se ter cuidado e atenção para identificar o melhor uso para este produto, já que se for submetido a esforços maiores dos que os testados em ambiente virtual (acima de 1080 N), o produto teria rupturas ficando inutilizado. Dito isso, os testes mostraram que o produto tem potencial para ser reaproveitado com sucesso em outros processos produtivos, tornando-se, portanto, matéria prima para o desenvolvimento de um produto sustentável. Vale ressaltar que as informações obtidas nos testes aplicados devem ser levadas em consideração pelo time de desenvolvimento do novo produto da próxima Macrofase da Abordagem proposta, que será explorada no próximo item.

5.1.2 Projeto de novo produto - Macrofase II

Nesta Macrofase, as informações de deformações e rupturas do material provenientes da macrofase anterior são fundamentais para a definição da reutilização ideal desta matéria prima no projeto de um novo produto. O projeto do novo produto deve atender à requisitos mínimos voltados à: i) fácil montagem/desmontagem; e ii) foco na “sobrevida” dos produtos. Para atender a estes requisitos é proposto que todos os envolvidos nos processos de desenvolvimento e remanufatura participem do processo criativo através do gerenciamento de ideias, objetivando um consenso do

melhor design para cada matéria prima que será reutilizada. Para este caso experimental foram utilizadas 2 ferramentas de gerenciamento de ideias, o “*Brainstorming*” seguido pelo “*Opposite Thinking*” como mostra a Tabela 15.

Tabela 15 - Ferramentas gestão de ideias – Objetivos com o exemplo TV LED.

Ferramenta	Objetivo
<i>Brainstorming</i>	Encontrar o design ideal para utilização de TVS LED descartadas, feitas a partir de plástico tipo poliestireno (PS), respeitando os limites máximos de esforços detalhados na etapa 01 do método. Além disso, o produto deve atender a 2 requisitos mínimos de design: a) ser de fácil montagem/desmontagem e b) ter foco em sua máxima reutilização "sobrevida", evitando ao máximo seu descarte.
<i>Opposite Thinking</i>	Validar as ideias propostas na fase de Brainstorming através do pensamento oposto, descobrindo possíveis falhas do projeto inicial.

Fonte: O autor.

A estruturação e detalhamento desenvolvidos pela equipe de projeto (Tabelas 16 e 17/) para definir qual é a melhor aplicação da matéria prima do televisor na construção de um novo produto é mostrada na Tabela 16, onde uma primeira ideia é analisada nas etapas de *Brainstorming* e *Opposite Thinking*. Todos os envolvidos no processo devem participar das reuniões de projeto, já que muitas ideias apresentadas na fase de Brainstorming são reprovadas ao passar pelos questionamentos feitos pelo *Opposite Thinking*, principalmente quando há pessoas de diferentes áreas participando do processo (*designers*, operários da linha, prováveis consumidores finais).

A primeira aplicação das ferramentas apresentou uma ideia que perante o Brainstorming parecia ser válida, com a reutilização de boa parte dos componentes do televisor. Entretanto, a ideia ao ser analisada pela ferramenta do *Opposite Thinking* mostrou que vários pontos fundamentais para a criação do novo produto não foram respeitados, uma vez que não foi considerado, por exemplo, a máxima sobrevivência do material. Ao transformar o gabinete do televisor em uma churrasqueira portátil, sua vida útil é consideravelmente diminuída, não podendo ser reutilizado uma segunda vez e, portanto, não atendendo ao segundo objetivo da Macrofase (foco na sobrevivência). Portanto, a ideia da churrasqueira portátil não atendeu aos requisitos de design e foi descartada. É importante salientar que este exemplo foi idealizado para forçar uma resposta negativa, demonstrando como a ferramenta se comporta quando isso ocorre, recorrendo a novas ideias até que uma seja aceita como design para o novo produto.

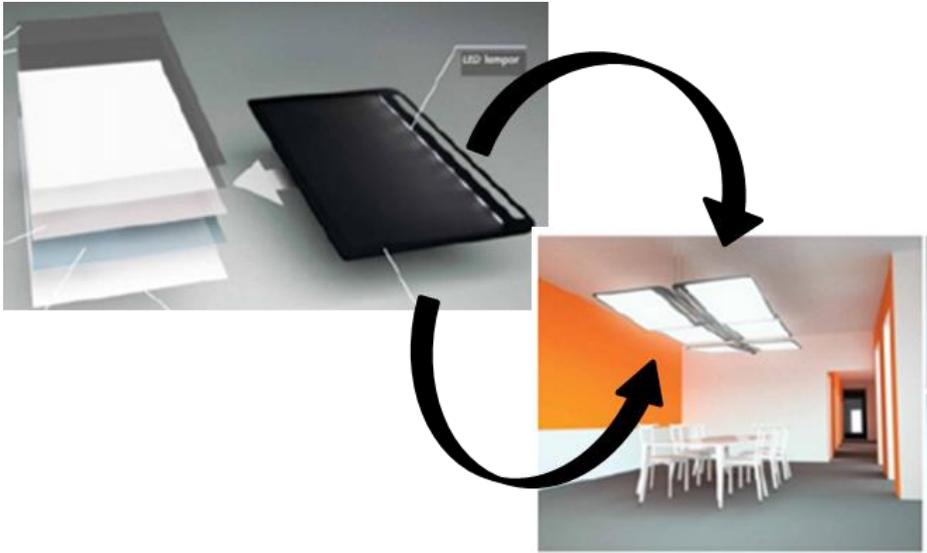
Tabela 16 - Processo criativo 01 do novo produto a partir da TV LED.

Ferramenta	Ideia 01 – Processo Criativo	
<p>Brainstorming</p>	<p>A Equipe de projeto ao analisar os fatores propostos para o desenvolvimento do novo produto, chegou em uma primeira ideia: Transformar o televisor LED em uma churrasqueira portátil, retirando os módulos eletrônicos de dentro do produto, deixando somente o gabinete e a tela, que é feita de uma liga de polímeros. A desmontagem não resultaria em grandes esforços aplicados, ficando dentro dos valores máximos aceitos de deformação e deslocamento. A própria tela seria a "porta" de abertura da churrasqueira, sendo incididos feixes nas partes laterais do gabinete permitindo a fácil abertura desta nova porta. Este novo produto continuaria extremamente fácil de montar e com uma desmontagem também facilitada, para permitir o uso novamente deste produto em outras aplicações ao final de sua vida útil. Além disso, o novo produto é fácil de transportar, já que se trata de um material leve e que não toma muito espaço no transporte, por se tratar de um televisor de 32'.</p>	
<p>Opposite Thinking</p>	<p>Após a ideia ser desenvolvida pelo processo de Brainstorming, a segunda etapa será utilizar a ferramenta <i>Opposite Thinking</i>, com o objetivo de pensar de maneira contrária a primeira ideia, para visualizar todos as possíveis falhas do projeto. Ao analisar o produto criado na fase anterior, a equipe encontrou as seguintes falhas:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Somente o gabinete do televisor poderia ser utilizado como matéria prima, nenhum dos componentes eletrônicos internos seriam reutilizados com esta ideia; b) Mesmo o gabinete sendo feito de Poliestireno de alto impacto, temperaturas muito elevadas, como a brasa criada pelo carvão, danificariam o gabinete em poucos minutos, derretendo-o por completo; c) O plástico Poliestireno ao ser levemente queimado pela brasa do carvão começaria a soltar fumaça extremamente prejudicial à saúde, a qual seria inalada pelos usuários e também acabaria contaminando a carne feita na churrasqueira; d) Como o gabinete seria inutilizado após uma única utilização por parte dos usuários, a segunda premissa proposta de que o design deve ter foco na máxima reutilização não é respeitada, sendo, portanto, o principal motivo para que esta ideia não seja validada. 	

Fonte: O autor.

A segunda rodada de ideias foi realizada utilizando-se das mesmas ferramentas de gestão de ideias. A Tabela 17 apresenta o resultado deste processo criativo.

Tabela 17 - Processo criativo 02 do novo produto TV LED Idea 02.

Ferramenta	Ideia 02 – Processo Criativo	
<p>Brainstorming</p>	<p>Nesta etapa a equipe de desenvolvimento ao analisar as falhas apresentadas no primeiro processo criativo e reforçando os objetivos dessa macrofase, observou-se que após intensas reuniões, de transformar o televisor LED em um lustre, retirando alguns componentes eletrônicos de dentro do produto, com a finalidade de ser fixado no teto de residências/escritórios/industrias. A desmontagem não resultaria em grandes esforços aplicados, ficando dentro dos valores máximos aceitos de deformação. A fiação e alguns componentes ainda seriam reutilizados para conectarem e permitirem a passagem da corrente elétrica proveniente das residências/escritórios até a placa de LED do próprio televisor, o qual possui grande poder de iluminação. Seria também um produto fácil de montar/desmontar, permitindo sua utilização em outras aplicações no final de sua vida útil, como por exemplo este lustre poderia ser ainda transformado em painel para colocação de folhas de Raio-X em hospitais e clínicas cirúrgicas. Assim, a segunda ideia tem como objetivo a máxima reutilização de materiais, usando vários componentes do televisor, inclusive alguns módulos eletrônicos internos para fabricação de um novo produto sustentável.</p>	

Ferramenta	Ideia 02 – Processo Criativo	
<p>Opposite Thinking</p>	<p>Ao analisar o produto criado na fase anterior aplicando a ferramenta <i>Opposite Thinking</i>, a equipe de desenvolvimento apresentou as seguintes considerações:</p> <p>a) praticamente todo o televisor seria reaproveitado ao aplicar esta ideia, com seu gabinete, tela e componentes eletrônicos sendo reutilizados no novo produto. Satisfazendo, portanto, um dos objetivos da abordagem proposta;</p> <p>b) O novo produto é um lustre fixo, portanto a natureza de operação do produto não seria muito diferente de sua concepção inicial, não apresentando desgaste prematuro do produto. Além disso, ao reutilizar grande parte do produto original, este novo produto atende a outro objetivo proposto nesta pesquisa;</p> <p>c) não haveria nenhum impacto nocivo a saúde dos usuários ao utilizar este novo produto em residências ou empresas, já que a luminária não produz nenhum tipo de gás, líquido ou resíduo de qualquer tipo que seja prejudicial à saúde e seria fixada no teto dos locais;</p> <p>d) como trata-se de um novo produto que não teria desgaste prematuro das partes já reaproveitadas do televisor, esta luminária com certeza seria um produto que poderia ser novamente utilizado, dando vida a um terceiro produto, atendendo a mais um objetivo proposto pela abordagem proposta;</p> <p>e) por fim, o produto seria facilmente montado e desmontado, dentro dos parâmetros máximos de força que poderia ser aplicada sem criar rupturas no material. Ao criar uma luminária com o televisor de LED, sua montagem e desmontagem seria pensada de forma a facilitar estes processos, garantindo a sobrevivência do produto. Portanto, atingindo todos os objetivos propostos pela abordagem <i>U-TURN</i>.</p>	

A segunda aplicação de geração das ideias resultou, na fase de *Brainstorming*, na idealização da construção de uma luminária proveniente do televisor LED estudado. Tanto seu gabinete como alguns de seus componentes eletrônicos são recuperados e, portanto, dão vida a um novo produto e evitando o descarte do televisor já em sua primeira vida útil. Na fase do *Opposite Thinking* foram analisados todos os objetivos propostos pela abordagem *U-TURN* e ficou confirmado que o novo produto respeita esses objetivos, sendo aprovado para as próximas etapas do processo de fabricação. Para este experimento, as rodadas de processo criativo não tiveram continuidade, mas em produtos mais complexos pode ser necessário mais rodadas de gestão de ideias para se chegar a uma definição ou até mesmo definições dos novos produtos, passando tanto pelo *Brainstorming* como principalmente pelo *Opposite Thinking*.

Nesta Macrofase foi definido o projeto do novo produto - uma luminária fixa para uso em residências, escritórios e indústrias, utilizando o gabinete do televisor e alguns de seus componentes eletrônicos. A aplicação do *framework* da abordagem facilita a análise do cumprimento dos requisitos de desenvolvimento e manufatura. Neste caso experimental ficou claro que o produto aprovado atende os requisitos dessa Macrofase de projetar um produto levando em consideração os requisitos: i) facilitar a montagem e desmontagem; e ii) manter o foco na “sobrevida” dos produtos, além disso, atende também aos requisitos encontrados na primeira Macrofase de não aplicar forças na montagem ou desmontagem iguais ou superiores a 1080 N, o que provocaria uma possível ruptura no material. Pode-se dizer que, a aplicação do *framework* da Abordagem permite um processo de concepção de produto mais integrado e conciso, uma vez que propõe a participação de todos os *stakeholders* no processo criativo, facilitando a análise dos requisitos de desenvolvimento e manufatura, e dessa forma, diminuindo assim o tempo e custo de desenvolvimento e manufatura.

5.1.3 Projeto de produção cíclica e sustentável - Macrofase III

O projeto orientado para a fabricação deste novo produto, conforme explicado anteriormente, deve ser idealizado de forma sustentável e com o menor impacto ambiental possível, tendo como meta principal a geração mínima de resíduos dentro da linha de produção aliada a um processo que permita conectar toda a Cadeia de

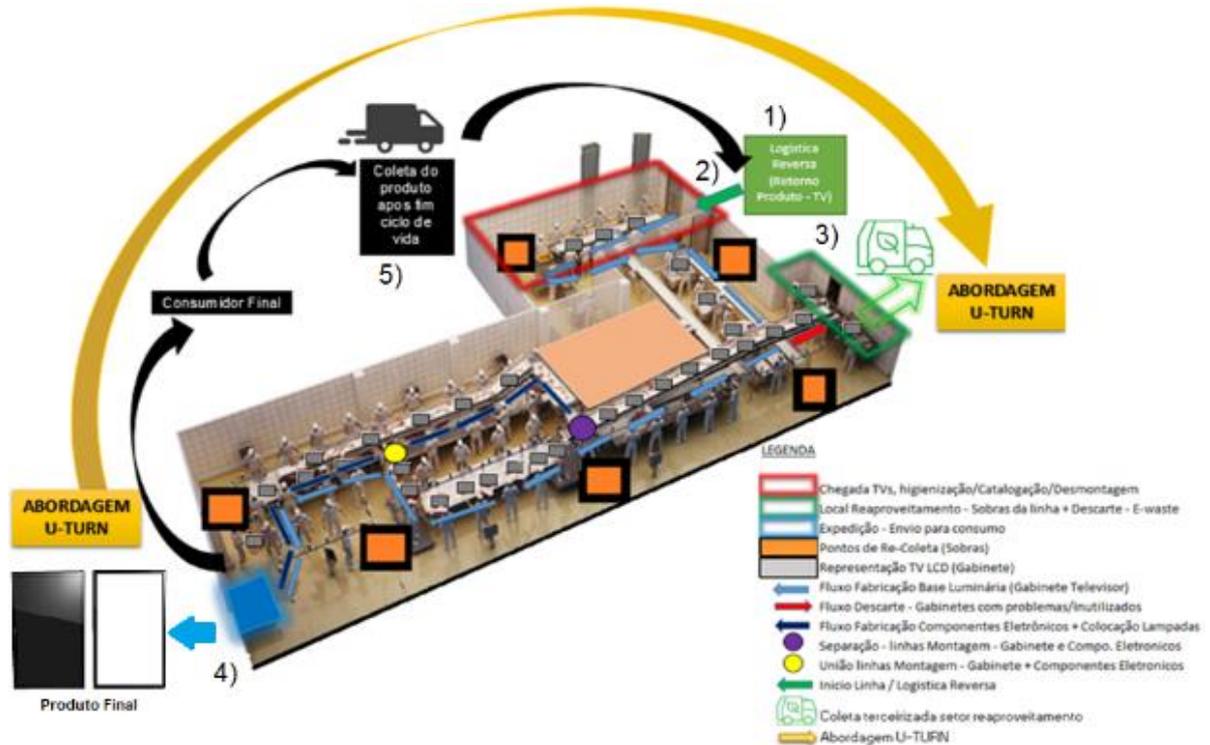
Suprimentos, desde a produção até o fim do ciclo de vida do produto e seu respectivo retorno (Logística Reversa).

Assim, para gerar o mínimo de resíduos dentro da linha de fabricação para o produto aprovado na Macrofase anterior, optou-se pela aplicação da metodologia da Análise P-V, pois pode ajudar no desenvolvimento da estratégia de manufatura, encontrando o melhor tipo de layout de acordo com o tipo de produto e volume de produção. Neste caso experimental, onde um televisor foi transformado em uma luminária, o produto pode ser considerado popular e com baixa variedade, pois apresenta pouca alteração (variedade) entre o gabinete de um televisor LED e a luminária (de dimensões semelhantes). Dependendo do volume de peças disponíveis, poderá ser produzido diversas luminárias em curto espaço de tempo. Portanto, a melhor opção de layout de fabricação para a luminária feita a partir de material descartado é o layout de linha por produto, utilizando linhas de produção de alta velocidade.

Definido o melhor layout de fabricação, o próximo passo foi desenvolver um layout fabril específico para este tipo de produto, objetivando a máxima produção com o mínimo desperdício possível de material. A Figura 43 mostra o layout adequado à fabricação das luminárias provenientes dos televisores LED de 32". Na figura, a seta verde representa a primeira etapa do processo, o recebimento dos televisores LED que foram coletados em variados pontos e enviados a esta planta através de uma sólida metodologia de logística reversa (1). A segunda etapa é executada no setor de recepção dos materiais representado por um quadrado na cor vermelha (2). Nesta etapa, de extrema importância, todos os televisores são analisados manualmente para garantir que podem ser novamente utilizados e se forem considerados aptos para prosseguirem no processo produtivo, todos os gabinetes devem ser higienizados, garantindo assim qualidade estética ao novo produto e segurança para os operadores.

A sequência de produção deve seguir as setas identificadas pela cor azul, que representam todas as estações de trabalho que o produto passa até ser liberado para a comercialização.

Figura 43 – Layout da Linha de Produção das luminárias - (TV LED).



Fonte: Adaptado de *Soldmak Company* (2019).

Após a etapa da separação entre quais componentes são utilizáveis e quais serão rejeitados e encaminhados ao setor de reaproveitamento (3), os gabinetes juntamente com seus componentes eletrônicos continuaram pela esteira até o ponto demarcado por um círculo roxo. Neste ponto há uma divisão da linha, sendo trabalhado em paralelo as 2 partes do produto: uma nova linha, representada por setas azul escuro, é responsável somente pela conferência da fiação e testes nos componentes eletrônico que será reaproveitado, neste caso, o refletor, a placa da fonte e inversor; e outra linha, representadas por setas azul claro, ficaria responsável pela organização interna do gabinete e retirada do acrílico da tela de LED, ficando pronta para receber os componentes eletrônicos. Todos os demais componentes não são reaproveitados e devem ser encaminhados ao setor de reaproveitamento que é identificado por um retângulo verde (3). Na sequência, os componentes passam pela última etapa de montagem da linha, que é a união do gabinete com os componentes eletrônicos que já foram montados, sendo necessário somente um encaixe. A união das duas linhas de montagem e, conseqüentemente, o início da montagem da luminária pode ser identificado na pelo círculo pequeno de cor amarela na Figura 42.

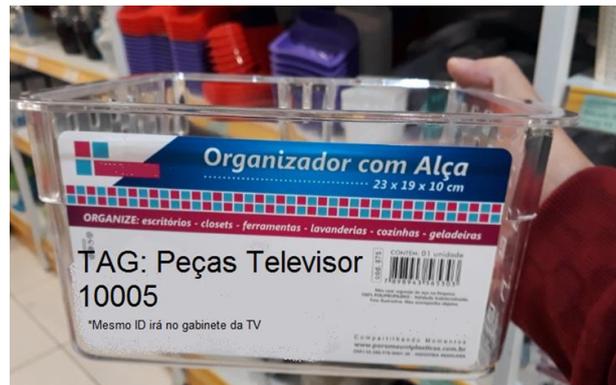
A última etapa do processo é denominada de Expedição, representada na Figura por um quadrado na cor azul (4). Nesta etapa, os produtos passam por testes para garantir sua qualidade, principalmente em relação ao funcionamento das lâmpadas e finalmente estão prontos para serem comercializados. Os produtos são embalados e separados para serem colocados nos veículos que farão o transporte até o destino, sendo lojas varejistas ou até mesmos clientes finais. Caso, ao longo da linha ocorram quebras ou erros produtivos que resultem na inutilização do produto para comercialização, deverão ser descartados em pontos de coleta ao longo da linha, representados na Figura 42 por quadrados em laranja com as bordas em preto. Os produtos descartados nestes pontos devem ser coletados diariamente por um funcionário e encaminhados ao setor de reaproveitamento.

O fluxo dos televisores rejeitados para esta linha de produção segue a seta vermelha sendo encaminhados para o setor de reaproveitamento que é identificado por um retângulo verde (3). Os televisores, bem como os gabinetes e componentes eletrônico que não são reaproveitados são encaminhados por esteiras até local de reaproveitamento e encaminhados para serem utilizados em outras funcionalidades. Estes rejeitos que ficam no setor de reaproveitamento são caracterizados como lixo eletrônico e podem ter diversas outras aplicações, podendo ser utilizados por vários locais de reciclagem de materiais, como por exemplo, os fios internos encapados são feitos em sua grande maioria de Cobre (Cu), material que possui um alto valor agregado e que interessa a muitas recicladoras de lixo eletrônico. Dessa forma, os materiais que não são utilizados ao longo da linha de produção da luminária, são encaminhados para empresas parceiras que farão a coleta, desmontagem e comercialização, garantindo que nada seja descartado de forma errônea. Neste ponto da linha deve haver uma porta para o depósito de todos estes materiais, que são retirados a cada 2 dias por uma empresa de reaproveitamento de resíduos eletrônicos.

Durante o processo de desmontagem, logo após a higienização do produto, todas as peças internas (os componentes eletrônicos) devem ser colocadas em caixas organizadoras, apresentando um código (TAG) referente ao número de cada televisor, que é também colocado no gabinete para identificação, conforme mostra a Figura 44. Estas caixas organizadoras podem também receber alguns componentes que farão parte da montagem do produto final, mas neste caso experimental, a caixa recebe apenas os componentes eletrônicos. TAG é uma palavra-chave ou termo atribuído a uma informação (como registro de banco de dados de um arquivo de computador).

Este tipo de metadados ajuda a descrever um item e permite que ele seja encontrado novamente ao se navegar ou pesquisar de forma fácil e precisa, mesmo com grande quantidade de dados gerados ao longo do tempo (histórico) e ao mesmo tempo (*TAGs* simultâneas).

Figura 44 – Caixas organizadoras dos componentes eletrônicos – TAG.



Fonte: O autor.

Após o fim do ciclo produtivo da transformação de televisor em luminária, estas caixas organizadoras que servem para identificar e catalogar as peças e gabinetes de cada televisor são novamente utilizadas, sendo retirado somente a etiqueta que contém o número de identificação (*TAG*) e levadas novamente ao início do ciclo produtivo. Desta forma, é somente necessário a colocação de uma nova etiqueta identificadora na caixa de organização e ela passa a ser utilizada novamente sem gerar nenhum desperdício ou descarte desnecessário de materiais.

Com a catalogação de todos os televisores que chegam ao processo produtivo através das *TAGs*, o sistema de gerenciamento de produção é facilitado, já que em cada setor/etapa produtiva as caixas organizadoras e os gabinetes são checados eletronicamente e é possível localizá-los em tempo real. Desta forma, o sistema apresenta informações sobre todos os televisores que entraram no processo produtivo, todas as luminárias que saíram e todos os componentes que foram descartados como lixo eletrônico e foram encaminhados ao setor de reaproveitamento.

Para tornar este acompanhamento mais otimizado e preciso, no início de cada etapa do processo produtivo será instalado um *scanner* de código de barras (Figura 45). Assim, toda vez que a caixa organizadora juntamente com o gabinete do televisor

chegar em qualquer etapa produtiva, o funcionário de cada posto faz a leitura no *scanner* do código de barras constante na etiqueta (*TAG*) e, desta forma, é possível verificar o estágio de fabricação de cada televisor que será transformado em luminárias.

Figura 45 – *Scanner* de Código de barras.



Fonte: O autor.

As informações relevantes dos televisores como o tipo do televisor, horário de chegada, condições do aparelho após a higienização, entre outras devem ser cadastradas, após a higienização, através de um sistema eletrônico, como o software da ForSoft (Figura 46). Após este cadastro, são emitidas etiquetas identificadoras (*TAGs*) automáticas (códigos), que são impressas e colocadas tanto no gabinete como na caixa organizadora.

Figura 46 – Exemplo de cadastro do produto (TV LED) em software ERP.

The screenshot displays the 'Lançamentos Vendas - Vendas' window in an ERP system. The interface includes several data entry fields and a table for product registration details.

Fields:

- Código: 00000000.000
- Cliente: [Empty]
- Repres. 1: [Empty]
- Repres. 2: [Empty]
- Port./Doc: [Empty]
- Pgto/Desc: [Empty]
- PedRep: [Empty]
- PedCli: [Empty]
- Comis1: 0,00
- Comis2: 0,00
- Vendor: [Empty]
- Fórmula: [Empty]
- Emissão: //
- Digitação: //
- Aprov.: //
- Faturam.: //
- Exped.: //
- Saída: //

Situação: Cancelada, Reprovada, Sem Aprovaç, Recusada, Aberta, Perdeu Aprov, Aprovada, Faturada, A Liberar, Pendente.

Table:

#	Tipo Item	Código	Descrição do Item	UnVid	Cód.Comb.	Combinação	Linha	CódTpOpe	Qtd.
[Empty rows]									

Summary: Valor Merc: 0,00; Valor Total: 0,00; Dt. Base.: //

Parcelas Table:

Parcela	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4	Parcela 5	Parcela 6	Parcela 7	Parcela 8
Parcelas								
Dias								
Vencimentos								
Valores								
W. IPI								
Emp. Dist.								

Fonte: ForSoft, 2020.

Utilizando esta metodologia de controle em tempo real, ao abrir a tela do sistema de ERP é possível identificar a quantidade de peças em cada etapa produtiva, além de acompanhar todas as entradas de matéria prima e saída de produtos finalizados. A Figura 47 mostra o layout do sistema ERP da empresa ForSoft para a área de PCP (Planejamento e Controle da Produção), onde é possível identificar as quantidades de produção, quais televisores já foram iniciados no processo, qual a data de chegada do televisor, a data de saída da luminária finalizada e várias outras informações que podem ser modificadas de acordo com a necessidade de cada sistema produtivo.

Figura 47 – Exemplo de Controle de ERP – Planejamento e Controle Produção – Panorama geral

Fonte: ForSoft, 2020.

Dessa forma, o tempo de ciclo de produção de cada peça e seu *lead time* é apresentando eletronicamente, podendo ser acompanhando pelos gestores e programadores da produção da empresa que podem fazer intervenções quando necessário para atender uma maior demanda ou diminuir a capacidade produtiva em casos de diminuição.

O mesmo controle ocorre para os gabinetes e componentes eletrônicos que foram rejeitados e não continuam na linha de produção e são encaminhados ao setor

de reaproveitamento. Assim que chegam no setor, ao passar pelo *scanner*, estas peças são automaticamente baixadas do estoque da empresa, já que serão comercializadas com parceiros conforme detalhado anteriormente. Para continuar com o controle e rastreabilidade de todos os componentes ao longo de toda cadeia produtiva, deve-se negociar com a empresa parceira que fará a coleta dos resíduos eletrônicos o envio de relatórios semanais com as quantidades de produtos coletados e qual o destino dado a cada material, se foram novamente comercializados ou se foram transformados em outros produtos.

No outro extremo da linha de produção, também há o controle do produto finalizado para comercialização e saída para o destino final. Neste caso experimental, o produto a ser comercializado é uma luminária pronta para ser instalada, fabricada com mínimo de resíduos ao longo de sua linha de produção e com grande apego ecológico por ser um produto 100% remanufaturado. A Figura 48 ilustra o produto final modelado no ambiente CAD do *SolidWorks* e a Figura 49 (detalhes a e b) mostra uma representação de aplicação em ambiente.

Figura 48 – Vista produto final – Lustre Apagado – Fixação teto.



Fonte: O autor.

Figura 49 – Produto final – Aplicação Ambiente.



(a)



(b)

Fonte: O autor.

Ao final do ciclo produtivo, o novo produto com apelo sustentável confeccionado pode ser distribuído para seus consumidores finais. Além de sua

pegada ecológica que permite mais uma sobrevivida para um produto que seria precocemente descartado, o consumidor conta ainda com um design moderno e que pode ser tranquilamente utilizado em vários ambientes, tendo uma aplicação fortemente recomendada para indústrias e escritórios (devido a seu tipo de design mais formal e quadrangular, além do maior tamanho – 32 polegadas).

Para auxiliar ainda mais seu poder de venda, a nova luminária pode trazer economia de energia para o consumidor. Segundo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO, 2017), um televisor LED marca Philco com este tamanho, em média produz cerca de 39 Watts (W) de potência por hora em seu regime normal de funcionamento e 33,9 Watts (W) de potência por hora ao ser configurado para trabalhar no modo economia de energia. O modo economia de energia altera parâmetros de som e diminuiu a intensidade de cores do televisor. Como o objetivo é somente iluminar ambientes com a cor padrão branca na totalidade da tela, o modo de economia de energia pode ser utilizado e não atrapalha no desempenho da função luminária. Portanto, para prosseguir com os cálculos, se considerou o consumo do televisor com o modo economia de energia ativado.

Considerando para fins de simulação que a luminária esteja instalada em uma empresa, usa todo dia este aparelho por cerca de 10 horas, ter-se-á ao longo de 1 mês o montante de 220 horas, ou seja, cerca de 22 dias úteis (de segunda a sexta) multiplicado por 10 horas por dia. Segundo Helerbrock (2019), o consumo total medido em Wh (Watts por hora) parte da fórmula: $P \times t$, ou seja, potência vezes o tempo total, temos para este exemplo o seguinte cenário:

$$\text{Consumo total} = P \times t = 33,9 \times 220;$$

$$\text{Consumo total} = 7458 \text{ Wh.}$$

O preço da tarifa de energia com impostos usualmente é medido em KWh, ou seja, Quilo Watt Hora. Para este exemplo, portanto, temos o montante gasto no mês de 7,458 KWh, arredondando para duas casas decimais, temos o valor final de consumo mensal de 7,46 KWh ao mês.

Para descobrir o valor projetado que seria gasto no mês, a fórmula é representada por: $C \times Ta$, isto é, (C) = consumo total mensal multiplicado por (Ta) tarifa aplicada pela distribuidora de energia (HELERBROCK, 2019). Importante salientar que em países grandes, como é o caso do Brasil, há diferentes distribuidoras de energia espalhadas por todo o território nacional, sendo cada uma delas responsável pela mensuração do preço a ser cobrado, já que os impostos incididos

na cobrança variam entre os estados. Em outras palavras, cada região do país tem um valor distinto a ser cobrado de seu consumidor pela energia consumida.

Considerando que o consumidor final esteja localizado no Paraná, a Companhia Paranaense de Energia (COPEL, 2020) pratica os preços de R\$ 0,418 por KWh consumido, já com os impostos incididos, valor este atualizado em junho de 2020 (considerando uma faixa de consumo entre 31 a 100 KWh por mês). Portanto, para este caso, o consumidor que adquirir a luminária e deixar ligada durante todo o mês cerca de 10 horas por dia, gastará R\$ 3,12 de energia, conforme é descrito pela fórmula do gasto mensal (HELERBROCK, 2019):

$$\text{Gasto total mês} = C \times Ta = 7,46 \text{ KWh} \times \text{R\$ } 0,418 \text{ por KWh}$$

$$\text{Gasto total mês} = 7,46 \times 0,418$$

$$\text{Gasto total mês} = \text{R\$ } 3,12$$

Para deixar mais claro como a luminária desenvolvida possui potencial de economia de energia, se faz necessário a comparação com outro tipo de fonte luminosa. Para este comparativo, utilizou-se uma única lâmpada incandescente de 40 W de potência e para ser imparcial, foi considerado a mesma quantidade de hora mensal (220 horas) de uso e o mesmo valor da tarifa praticada pela Copel (R\$ 0,418 / KWh). Como a lâmpada possui 40 W de potência produzida por hora, utilizando-se as mesmas fórmulas descritas anteriormente, ao longo de um mês com utilização de 10 horas diárias se tem um consumo total de 8800 Wh, ou, 8,80 KWh.

Considerando o mesmo valor da tarifa, o resultado do gasto mensal com uma única lâmpada incandescente de 40 W é de R\$ 3,67. Portanto ao utilizar a luminária sustentável feita a partir de um televisor LED descartado como fonte luminosa em um ambiente, o consumidor final ainda tem uma economia de 17,6% no seu gasto mensal com energia.

Fechando o ciclo sustentável de produção e distribuição deste produto, é importante salientar que as embalagens utilizadas para a expedição e comercialização das luminárias prontas devem ser feitas de papelão reciclado. Estas embalagens serão fornecidas pela mesma empresa que faz a coleta dos rejeitos eletrônicos através de uma parceria financeira, já que o valor agregado do produto que será cedido ao parceiro é significativo (fios de cobre, plásticos poliestireno).

As embalagens, devidamente certificadas de que são feitas de material reciclado traz economia para a empresa, uma vez que não há custo para a destinação

de seus descartes bem como com aquisição das embalagens. A Figura 50 mostra um exemplo de embalagem feita com material reciclado.

Figura 50 – Exemplo de embalagens feitas de papelão reciclado.



Fonte: O autor.

Nesta Macrofase o objetivo da identificação do melhor layout de fabricação foi explorado. Para tanto, alguns ajustes foram concebidos nos modelos padrões de fabricação para este caso estudado, inserindo pontos importantes para garantir a sustentabilidade do processo produtivo, como a estação de reaproveitamento e os pontos de descarte/coleta ao longo da linha. Além disso, a utilização da ferramenta do ERP faz com que todos os envolvidos na cadeia produtiva estejam conectados, desde a fase inicial de análise e higienização da matéria prima, passando pelo credenciamento e acompanhamento da empresa terceira responsável pelo reaproveitamento dos componentes eletrônicos, até o ciclo de vida final do produto e seu retorno ao sistema produtivo. Todas estas ações sendo feitas em conjunto faz com que o processo produtivo tenha, portanto, a produção do mínimo possível de resíduos e ao mesmo tempo que constrói uma cadeia integrada de suprimentos, garantindo que todos os *stackholders* do processo estejam engajados com a ideia da máxima reutilização e mínimo descarte.

5.1.4 Coleta de produto/material - Macrofase IV

O produto nesta Macrofase está com seu consumidor final e após seu ciclo de vida útil precisa ser descartado. O processo de retorno do produto já utilizado para uma nova cadeia produtiva precisa ser detalhado em uma macrofase específica, pois o autor entende que esta fase é a mais importante para que a abordagem *U-TURN* proposta tenha seus objetivos contemplados. Por ser uma abordagem circular, esta

Macrofase alimenta a primeira Macrofase do processo produtivo da luminária, que no final da sua vida útil alimentará novamente Macrofase de Logística Reversa, por tantas vezes quanto o material a ser aproveitado nos novos produtos esteja apto para a remanufatura.

Conforme detalhado conceitualmente no Capítulo 4, nesta Macrofase o *framework* com a metodologia dos 3W1H sobre logística reversa é utilizado para assegurar o máximo reuso de materiais e quando aplicado no caso experimental temos o seguinte cenário:

- **Why** (Por quê) retornar produtos: neste caso, o retorno dos televisores é de extrema importância, pois são utilizados como matéria-prima para construção de luminárias, sendo indispensáveis ao projeto. Além disso, o principal objetivo é evitar que este produto seja destinado a aterros através da criação de novos produtos.

Para esta questão, o autor defende que uma empresa só fará o fluxo de retorno de produtos em 3 casos: i) porque podem lucrar com isso; ii) porque precisam (forçados por alguma lei); e iii) porque “se sentem” socialmente motivados a fazê-lo. Para o desenvolvimento da abordagem *U-TURN* e a aplicação no caso neste experimental, as empresas transformadoras que optarem por utilizar a Abordagem proposta em sua fabricação devem fazer a logística reversa, pois diminuiriam a quantidade de resíduos descartados e, conseqüentemente, obteriam lucros com tal operação. Dessa forma, neste caso experimental as empresas fariam o fluxo de retorno de acordo com as opções “i” e “iii”.

- **What** (O que) está sendo devolvido: são televisores do tipo LED (com diodos de emissão de luz por trás da tela) com alta capacidade iluminativa. Para o efeito desejado do novo produto (luminárias), o único limitante é que os televisores LED devem ter gabinetes de até no máximo 32 polegadas. Esta premissa foi implementada, pois gabinetes de tamanhos maiores podem complicar a instalação da luminária em residências e outros locais que podem receber este produto;

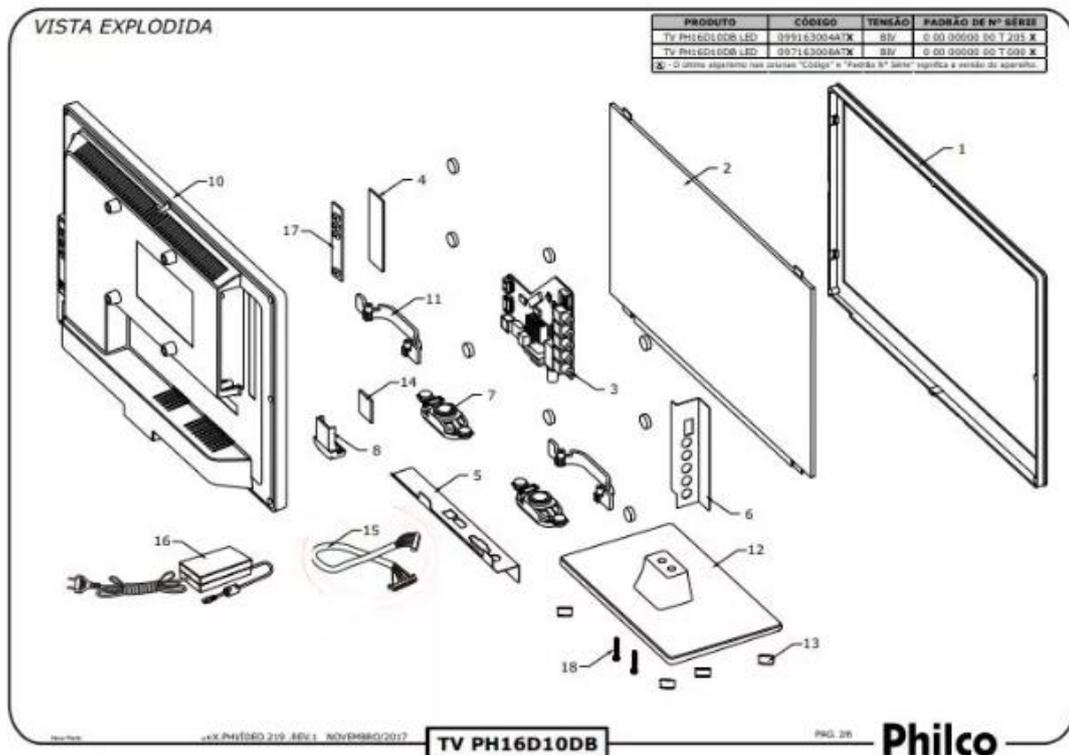
Nessa questão, é necessário o detalhamento do produto que está sendo retornado quanto às características que são relevantes: i) Composição; ii) Fator de

Deterioração; e iii) Padrão de uso. Com relação a composição, o importante é o número de componentes e materiais de cada produto. Além disso, a forma como os materiais e componentes estão conectados é importante, pois com estas informações é possível ter uma ideia preliminar de como serão os processos de desmontagem, higienização e classificação. A Figura 50 mostra um exemplo de composição de um televisor LED de 32" da marca Philco, modelo PH16D10DB, similar ao utilizado no caso experimental.

Como pode ser observado na Figura 51 o produto apresenta 18 peças encaixadas para formar o televisor como um só componente. São 2 peças que formam a tela, 1 gabinete, 2 componentes para fiação e cabeamento externo e o restante de todas as peças fazem parte dos conjuntos de fixação do gabinete com os componentes internos e do gabinete com a base de fixação.

Do ponto de vista da deterioração, a Abordagem *U-TURN* proposta foca principalmente na parte de estudo da resistência dos gabinetes, através dos testes de esforços de *Von Mises*, feitos em ambiente CAD. Na primeira Macrofase são vistos as forças e as resistências a que os gabinetes podem ser submetidos, comprovando a usabilidade dos televisores para criação das luminárias.

Figura 51 – Vista Explodida – Televisor LED 32" – Philco (Philco Manual).



Fonte: Manual online Philco modelo PH16D10DB (2018).

O último critério a ser analisado é o padrão de uso do produto por seu consumidor final, com relação à:

- **Localização** - os televisores de LED possuem um preço um pouco acima dos demais por apresentar uma tecnologia mais avançada quando comparado com televisores LCD, por exemplo. Por este motivo, o nicho de mercado é encontrado com maior aglomeração em grandes centros urbanos, onde a oferta é maior e acaba viabilizando o comércio destes televisores;
- **Intensidade** - o uso é variável para este tipo de produto. Existem estudos que mostram que quanto maior o índice de alfabetização e maior a renda familiar total, menor é o tempo exposto a programas televisionados, portanto menor a intensidade de uso por parte do usuário. Já o contrário é verdadeiro, sendo países subdesenvolvidos os que mais assistem televisão, como é o caso dos brasileiros, que ficam em média cerca de 4:50 em frente aos televisores por dia (TERRA, 2017). É importante salientar que esta é a média para qualquer tipo de aparelho, entretanto como o foco do trabalho são televisores tipo LED, esta média é sensivelmente menor, já que como mostra o perfil do consumidor, o tipo de público alvo passa menos tempo com o televisor ligado;
- **Durabilidade** - Um televisor LED possui vida útil entre 40 a 90 mil horas de funcionamento, o que é impactado por alguns fatores como marca, modelo, posição de fixação, qualidade da transmissão de energia elétrica da região, cuidados básicos por parte do usuário, entre outros. Convertendo pelo tempo médio de funcionamento em várias regiões do mundo, se acredita que a durabilidade normal de televisores de LED seja em torno de 5 anos (CCM,2019);
- **Tipo de Usuário** - Como apresenta um valor acima das demais tecnologias disponíveis para televisores, as classes B, A e A+ possuem maior abrangência de compra, contudo, devido ao crédito facilitado em alguns países em desenvolvimento, classes mais simples estão fazendo a compra destes eletroeletrônicos cada vez em maior número. Trata-se de um produto que apresenta suas vendas com quase sua totalidade de pessoas físicas, já que com a criação dos computadores pessoais e retroprojetores, a aquisição de televisores está perdendo cada vez mais espaço nos meios empresariais e locais de trabalho. Segundo a Samsung (2018), o perfil de consumidor dos televisores vem sofrendo alterações nos últimos anos, mas o que ainda não mudou é a principal motivação para compra de televisores LED: tamanho da tela, com 78% da motivação de

compra. Este fator fica à frente de vários outros fatores importantes, como o próprio preço (71%) e a tecnologia disponível ao usuário, com 77% da força de motivação. Tais fatores impactam diretamente na logística reversa, exigindo diferentes abordagens para garantir o retorno dos produtos aos processos produtivos, com qualidade e pensando de forma sustentável.

- **Who** (Quem) está executando a logística reversa: os envolvidos neste produto em específico são: i) o consumidor, que adquiriu um televisor tipo LED de até 32 polegadas e por algum motivo descarta este produto, seja por estar quebrado, queimado, ou simplesmente porque precisa de um televisor maior ou mais moderno. ii) a empresa transformadora, que é responsável por transformar os televisores em novos produtos, fazendo toda a gestão da linha a fim de garantir novos produtos de qualidade, pensando em todo o processo de forma sustentável e gerando o mínimo possível de resíduos ao longo da sua linha de transformação. iii) empresas produtoras dos televisores: tais empresas podem auxiliar neste retorno dos televisores, principalmente com o transporte. No caso de televisores com defeitos e que não possam ser utilizados pelas empresas, as empresas produtoras podem encaminhar até as empresas transformadoras. Para finalizar, um dos *stakeholders* mais importantes do processo são os parceiros iv) empresas transformadoras que fazem o reaproveitamento de fios, gabinetes, componentes eletrônicos, entre outros, que não serão utilizados na linha de transformação da TV para luminárias. Essas empresas também são responsáveis por garantir as embalagens de papelão reciclados para que as luminárias sejam transportadas e comercializadas até o consumidor final.

A classificação de Brito na Dekker identifica todos os responsáveis e atuantes em um processo de logística reversa em 3 tipos de participantes: atores da cadeia de suprimentos avançados (como fabricantes, atacadista e varejista), agentes especializados em cadeias reversas (como especialistas em reciclagem, empresas de coleta de resíduos) e atores oportunistas (como cooperativas de reciclagem) – oportunistas no sentido de utilizarem a logística reversa como oportunidade de negócio e sustento. Na Abordagem *U-TURN* e sua aplicação em televisores que são transformados em luminárias, os *stakeholders* presentes são classificados como atores da cadeia de suprimentos avançados.

O setor de reaproveitamento detalhado na Macrofase III tem como parceiras as empresas de reciclagem de lixo eletrônico e de papelão, portanto, nesta parte em específico, esta empresa parceira será um agente especializado em cadeia reversa, por se tratar de uma empresa de reciclagem. Entretanto, como é um *stakeholder* não diretamente envolvido na fabricação das luminárias e sim um terceirizado, pode-se determinar que praticamente todo o processo apresenta somente atores da cadeia de suprimentos avançados.

- **How** (Como) a Logística Reversa funcionará: para este caso dos televisores, para a Abordagem *U-TURN* funcionar satisfatoriamente se entende que é preciso que o usuário tenha a devolução do produto facilitada, com coletas em sua residência ou em locais de fácil acesso, como supermercados.

Em relação ao “Como” (*How*), para a Abordagem *U-TURN*, a etapa de coleta dos produtos no final de seu ciclo de vida é a principal atividade a ser levada em consideração para conseguir uma logística reversa eficaz. Como estes produtos serão entregues do consumidor final à empresa produtora, é igualmente fundamental para que os novos produtos possam ser fabricados de forma eficaz, uma vez que se não forem coletados televisores com o mínimo de funcionalidade ou gabinetes íntegros, não será possível a fabricação da luminária.

Para que esta etapa seja realizada de forma satisfatória, o autor propõe que as empresas fabricantes dos televisores invistam em canais de comunicação com seu consumidor final, a fim de estreitar laços e garantir que os produtos que chegam ao seu ciclo final de vida sejam retornados. Caso as empresas fabricantes dos televisores não queiram fazer este tipo de abordagem, as próprias empresas transformadoras (que utilizarão a Abordagem *U-TURN* para fabricação) podem fazer esta aproximação, já que os custos com este tipo de comunicação são transformados em investimentos, pois a matéria prima para a fabricação de luminárias será doada ou “comprada” a custos baixos, caso os consumidores façam o correto destino de seus televisores.

Além de possuir locais fixos para receber estes materiais, como caixas receptoras em mercados, lojas de eletrônicos, grandes centros comerciais e locais de grande fluxo de pessoas, as empresas devem investir na coleta “porta a porta” dos materiais, ou seja, através de um canal de 0800 o consumidor pode ligar para a empresa e informar que deseja se desfazer do produto. Para este caso experimental, este tipo de aproximação é ainda mais importante, pois hoje em países subdesenvolvidos (como é o caso do Brasil), o lixo eletrônico ainda é pouco explorado

e reaproveitado, por este motivo muitos usuários quando tem um produto eletrônico, como um televisor danificado ou que precise de substituição, simplesmente não sabem o que fazer e muitas vezes descarta-os no próprio lixo comum de sua cidade.

A empresa através de sua frota própria ou terceirizada deve fazer a coleta nas casas dos clientes, sem cobrar nada por isso. A Figura 52 mostra um exemplo de veículo coletor. Outra opção, para diminuir custos, é a criação de rotas fixas espalhadas pela cidade para cada dia da semana, a informação sobre a rota, dia de coleta e horários seriam oferecidos pela empresa aos clientes na hora da compra através do Manual de Instruções e/ou através do seu SAC.

Para os clientes que decidirem levar diretamente nos pontos de coleta (caixas receptoras – Figura 53), a empresa pode fazer uso do incentivo monetário, ou seja, aplicar percentual de desconto na compra de novos produtos de acordo com a quantidade de materiais devolvidos, ou ainda, de acordo com a qualidade dos produtos retornados.

Figura 52 – Exemplo de veículos de coleta.



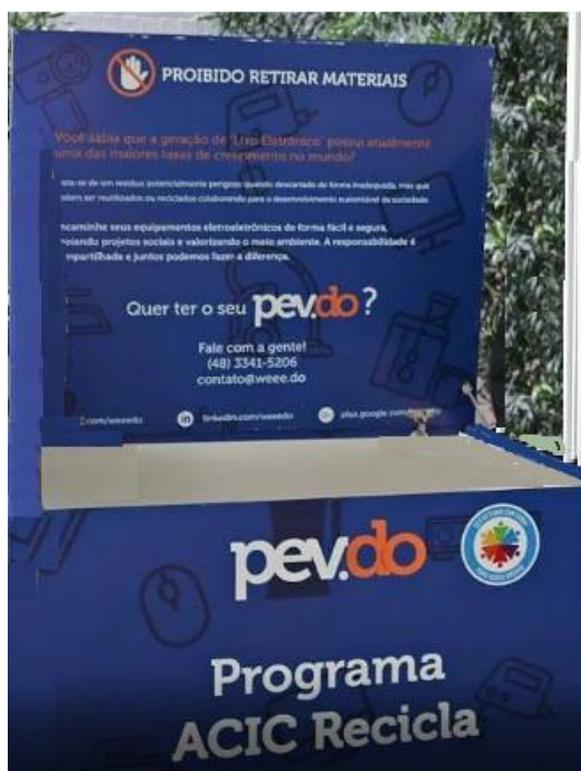
Fonte: O autor.

Caso os televisores não possuam seu gabinete danificado ou com boa parte dos componentes eletrônicos funcionando satisfatoriamente, o desconto poderia ser proporcional a integridade do produto retornado. Este tipo de abordagem já funciona com operadores de telefonia móvel, para a troca de smartphones é dado um percentual de desconto em cima do novo aparelho dependendo do estado em que o antigo smartphone está sendo entregue pelo consumidor para troca.

Um exemplo que pode ser seguido é o da Prefeitura de Criciúma (cidade do Estado de Santa Catarina, Brasil), que junto com iniciativa privada implantou os pontos de recolhimento denominados “pev.do”. A Associação Empresarial de Criciúma (Acic) instalou 70 pontos de entrega voluntaria (Pevs) para resíduos eletrônicos em pontos estratégicos da cidade, recebendo qualquer tipo de produto eletrônico conforme a Figura 52 (FORQUILINHA, 2019).

A ideia adotada pela Abordagem *U-TURN* é algo bem semelhante ao “pev.do” de Criciúma, entretanto o foco será somente o recebimento de televisores do tipo LED, já que para caso experimental detalhado pelo autor somente este produto seria reutilizado. Outra mudança é que estes pontos e toda a divulgação do processo é feito pela iniciativa privada, pelas empresas fabricantes ou transformadoras. Parcerias com o poder público sempre são bem-vindas e, dependerá apenas do interesse neste tipo de projeto.

Figura 53 – Exemplo de Pontos de entrega voluntária – Criciúma SC.



Fonte: Forquilha (2019).

É importante salientar que a etapa da recuperação do material é somente uma das atividades do processo da logística reversa. Trata-se da mais significativa e mais abordada etapa, entretanto outras atividades de igual importância, como a

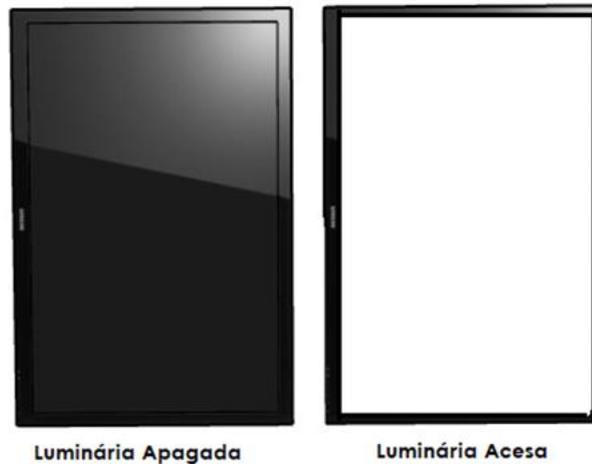
recuperação, inspeção, segregação, higienização e classificação, devem ser levadas em consideração para fechar o looping de retorno dos produtos aos processos produtivos. Contudo, como já foi dito, a etapa da Logística Reversa está diretamente ligada com a primeira etapa da Abordagem *U-TURN* e ambas as etapas possuem atividades em comum que são a inspeção, higienização e catalogação dos produtos na chegada à planta de fabricação. Por ser uma abordagem circular, esta macrofase alimenta a primeira macrofase no final da vida útil do produto fabricado alimentará novamente Macrofase de Logística Reversa, desde que o material descartado seja considerado apto para reaproveitamento.

Portanto, o objetivo desta última Macrofase é garantir que grande parte dos televisores que chegam ao fim de seu ciclo de vida e que seriam descartados, retornem para as empresas que, utilizando a Abordagem *U-TURN*, desenvolvam e fabriquem as luminárias, e que por sua vez, as luminárias quando chegam ao fim de sua vida útil também sejam coletadas e entrem no processo produtivo de um novo produto, assegurando mais um ciclo de vida a produtos que seriam simplesmente descartados. A última etapa da Abordagem *U-TURN* garante o fluxo correto de retorno de televisores tipo LED para aplicação na fabricação de luminárias para casas, escritórios, indústrias e comércios, bem como das luminárias quando for o caso, com um número grande de produtos sendo inseridos e reusados em um novo ciclo de produção sustentável.

5.2. CASO EXPERIMENTAL NUMERO 02 – LUMINARIA DE TETO

O segundo experimento consistiu na aplicação de todas as fases da Abordagem *U-TURN* proposta na concepção e desenvolvimento de um novo produto após o fim do ciclo de vida da luminária (Figura 54) que foi feita a partir de televisores tipo LED descartados (na primeira passagem pela abordagem). Este caso experimental corrobora a premissa da Abordagem desenvolvida de que um produto pode retornar ao ciclo produtivo através da aplicação da Abordagem *U-TURN* quantas vezes estiver apto para reutilização, permitindo, dessa forma, que um só produto possua o potencial de várias sobrevidas, evitando seu descarte prematuro.

Figura 54 - Exemplo de luminária desenvolvida pela abordagem *U-TURN*.



Fonte: O autor.

5.2.1. Análise da potencialidade de reutilização de produtos descartados - Macrofase I

Neste caso, como o produto é o mesmo reutilizado no desenvolvimento da luminária do caso experimental 01 (Televisor Led que foi transformado em luminária), a análise de potencialidade para reutilização torna-se desnecessária, uma vez que para este caso experimental parte-se do pressuposto de que se trata da mesma empresa transformadora que desenvolveu a luminária e que, portanto, tem em seus arquivos os dados dos testes realizados no material (PS de alto impacto) e da sua aprovação para a Macrofase II. Caso o desenvolvimento e aplicação da Abordagem proposta seja feita por uma empresa diferente, os testes são necessários e imprescindíveis, pois o conhecimento dos valores máximos de resistência que este tipo de material (PS) pode suportar define se o material descartado pode ou não ser inserido novamente no processo produtivo, tornando, assim, imperativo a aplicação da primeira Macrofase da Abordagem.

O teste de potencialidade executado anteriormente foi feito utilizando-se o critério de *Von Mises* do Módulo CAE do *Software SolidWorks*, com testes de resistência e deformidade (ensaio denominado de teste de deslocamento estático). Este tipo de experimento foi escolhido porque permite simular o comportamento do produto ao ser acionado por forças constantes aplicadas em suas faces, conseguindo em um mesmo ensaio definir a resistência dos materiais e também seu grau de deformidade quando aplicado distintas forças em sua geometria.

Neste caso experimental foi utilizado os resultados dos testes de potencialidade de reaproveitamento de material e do processo decisório da Macrofase I do caso experimental anterior, uma vez que foi considerado que o material e a empresa são os mesmos. Dessa forma, o produto possui resistência e foi aprovado para seguir para as próximas etapas da abordagem, não necessitando seu descarte.

5.2.2 Projeto de novo produto - Macrofase II

Nesta etapa, o projeto do novo produto deve atender à requisitos mínimos voltados a: i) fácil montagem/desmontagem; e ii) foco na “sobrevida” dos produtos. Para atender a estes requisitos, a abordagem propõe que sejam feitas reuniões com os envolvidos nos processos de desenvolvimento e remanufatura aplicando ferramentas de gerenciamento de ideias, objetivando um consenso do melhor design para o novo produto que será feito a partir da luminária fixa. Para este segundo caso experimental, novamente foram utilizadas as 2 ferramentas de gerenciamento de ideias: o “*Brainstorming*” seguido pelo “*Opposite Thinking*”. A Tabela 18 detalha as ferramentas de gestão de ideias para o exemplo da luminária fixa.

Tabela 18 - Ferramentas gestão de ideias - Objetivos com o exemplo da luminária fixa.

Ferramenta	Objetivo
<i>Brainstorming</i>	Encontrar o design ideal para utilização de luminárias descartadas, feitas a partir de plástico tipo poliestireno (PS), respeitando os limites máximos de esforços (1080 N). Além disso, o produto deve atender a 2 requisitos mínimos de design: a) ser de fácil montagem/desmontagem e b) ter foco em sua máxima reutilização "sobrevida", evitando ao máximo seu descarte.
<i>Opposite Thinking</i>	Validar as ideias propostas na fase de <i>Brainstorming</i> através do pensamento oposto, descobrindo possíveis falhas do projeto inicial.

Fonte: O autor.

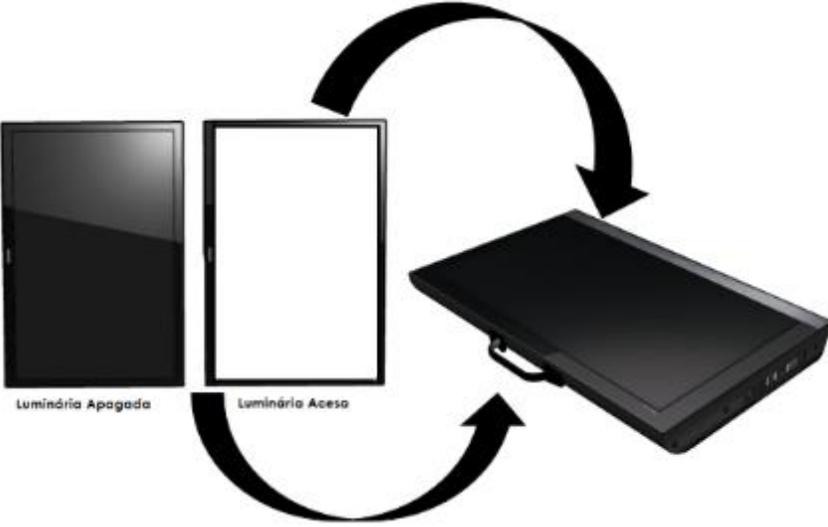
Na sequência, as ideias apresentadas na fase de *Brainstorming* são analisadas por todos os envolvidos no processo de fabricação do novo produto através da ferramenta *Opposite Thinking*, onde muitas ideias podem ser reprovadas por haver diferentes áreas participando do processo (designers, operários da linha, prováveis consumidores finais).

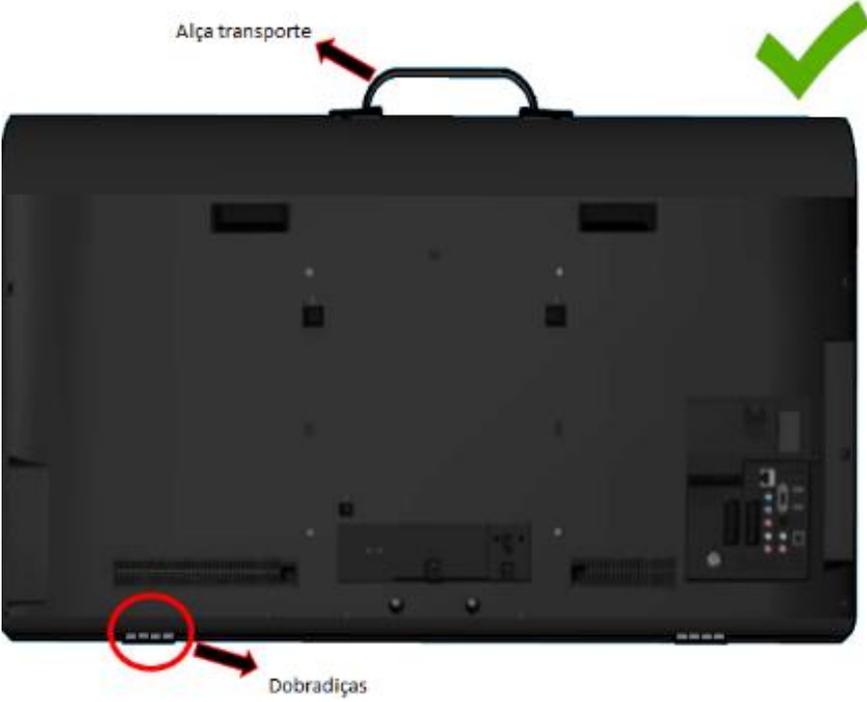
No final deste processo criativo, o design escolhido para o novo produto foi a concepção de uma pasta para projetos arquitetônicos. Com poucas intervenções estruturais no gabinete (base) da luminária criada, é possível a criação de uma pasta,

que devido a seu tamanho, permite que sejam armazenadas folhas de projetos em diferentes tamanhos, como A2, A3 e o próprio tamanho A1 (papel mais comum utilizado na área de arquitetura e que devem ser dobradas para serem armazenada de maneira correta no interior da pasta)). Portanto, através da aplicação das duas ferramentas de canalização de ideias foi definido o design a ser seguido para criação do novo produto através da aplicação da abordagem *U-TURN*.

A Tabela 19 detalha o processo criativo do novo produto fabricado a partir da luminária descartada.

Tabela 19 - Processo criativo do novo produto a partir da Luminária LED.

	Ferramenta	Ideia escolhida – Processo Criativo
Brainstorming	<p>Nesta etapa a equipe de desenvolvimento analisou todas as falhas apresentadas nas demais ideias sugeridas no processo criativo (<i>Brainstorming</i>) e reforçando os 2 objetivos dessa macrofase, observou-se que após intensas reuniões, o lustre de teto poderia ter todos seus componentes eletrônicos retirados de dentro do produto com a finalidade de criar uma pasta arquivo para projetos. A desmontagem não resultaria em grandes esforços aplicados, ficando dentro dos valores máximos aceitos de deformação. A fiação e todos os componentes internos seriam retirados por completo, sendo um processo produtivo ainda mais fácil. Seria também um produto fácil de montar/desmontar, sendo somente adicionado dobradiças na parte inferior do gabinete para permitir a abertura/fechamento da pasta. Portanto isso ainda permite sua utilização em outras aplicações no final de sua vida útil. Assim, a ideia escolhida tem como objetivo a máxima reutilização de materiais, usando boa parte dos componentes da luminária atual (base/gabinete).</p>	 <p>The diagram illustrates the creative process for a new product derived from an LED luminaire. It features three main visual elements: a dark rectangular panel labeled 'Luminária Apagada' (Luminária Off), a white rectangular panel labeled 'Luminária Acesa' (Luminária On), and a 3D perspective view of the luminaire with its cover open. Two curved arrows form a cycle: one arrow points from the 'Luminária Apagada' panel to the 'Luminária Acesa' panel, and another arrow points from the 3D perspective view back to the 'Luminária Acesa' panel.</p>

Ferramenta	Ideia escolhida – Processo Criativo
<p data-bbox="286 703 430 774">Opposite Thinking</p> <p data-bbox="501 217 1245 304">Ao analisar o produto criado na fase anterior aplicando a ferramenta <i>Opposite Thinking</i>, a equipe de desenvolvimento apresentou as seguintes considerações:</p> <p data-bbox="501 309 1245 520">a) Boa parte da luminária seria reaproveitada ao aplicar esta ideia, com seu gabinete (base) e tela sendo reutilizados no novo produto. Os componentes eletrônicos terão que ser encaminhados para o setor de reaproveitamento, mas por ter alto valor agregado, facilmente pode ser feita parceria com empresas recicladoras deste tipo de material. Portanto, satisfazendo um dos objetivos da abordagem proposta;</p> <p data-bbox="501 525 1245 735">b) O novo produto é uma pasta para projetos, não apresentando nenhum componente eletrônico que possa estragar e diminuir a vida útil do produto. Trata-se agora apenas de um produto de Poliestireno de alto impacto, com grande durabilidade e que pode ter uma grande sobre vida. Além disso, ao reutilizar grande parte do produto original, este novo produto atende a outro objetivo proposto nesta pesquisa;</p> <p data-bbox="501 740 1245 858">c) não haveria nenhum impacto nocivo a saúde dos usuários ao utilizar este novo produto diariamente para guardar projetos, já que a pasta não produz nenhum tipo de gás, líquido ou resíduo de qualquer tipo que seja prejudicial à saúde;</p> <p data-bbox="501 863 1245 1042">d) como trata-se de um novo produto que não teria desgaste prematuro das partes já reaproveitadas da luminária, a pasta criada com certeza seria um produto que poderia ser novamente utilizado, dando vida a um quarto produto, atendendo a mais um objetivo proposto pela abordagem <i>U-TURN</i>;</p> <p data-bbox="501 1046 1245 1257">e) por fim, o produto seria facilmente montado e desmontado, dentro dos parâmetros máximos de força que poderia ser aplicada sem criar rupturas no material. Ao criar uma pasta com a luminária LED, sua montagem e desmontagem seria pensada de forma a facilitar estes processos, garantindo a sobrevida do produto. Portanto, atingindo todos os objetivos propostos pela abordagem <i>U-TURN</i>.</p>	 <p data-bbox="1444 411 1585 432">Alça transporte</p> <p data-bbox="1541 1066 1637 1086">Dobradiças</p>

Fonte: O autor.

Neste exemplo, as ideias que foram descartadas não foram representadas em tabela, porém várias sugestões passaram pelas 2 ferramentas de gestão de ideias, como, por exemplo, a opção de transformar as luminárias descartadas em aquários para peixes de pequeno porte. Esta ideia foi rejeitada pelo “*Opposite Thinking*” pois a estrutura do gabinete não é 100% estanque, o que resultaria em vazamentos de água e inutilização para possíveis novas aplicações, já que o material PS de alto impacto não possui vida útil longa quando em contato constante com líquidos (água doce ou salgada). Além disso, os produtos eletrônicos mesmo que totalmente retirados do gabinete do televisor podem causar algum tipo de contaminação, o que resultaria na morte prematura dos peixes.

Nesta Macrofase, através das ferramentas de gestão de ideias foi possível definir o projeto para um novo produto - uma pasta para arquivamento de projetos de diferentes finalidades, a partir das Luminárias LED. Esta pasta tem capacidade para armazenar folhas de tamanhos maiores, como A2 a A3 ou até mesmo folhas A1, como de projetos arquitetônicos, onde é preciso uma pasta grande para armazenar projetos físicos. A aplicação do *framework* da abordagem facilita a análise do cumprimento dos requisitos de desenvolvimento e manufatura. Neste caso experimental ficou claro que o produto aprovado atende os requisitos dessa Macrofase de projetar um produto levando em consideração os requisitos: i) facilitar a montagem e desmontagem; e ii) manter o foco na “sobrevida” dos produtos. O novo produto atendeu também aos requisitos encontrados na primeira Macrofase que era não aplicar forças na montagem ou desmontagem que resultassem em forças iguais ou superiores a 1080 N, o que provocaria uma possível ruptura no material. Neste caso experimental, como o anterior, mostra que a aplicação do *framework* da Abordagem permite um processo de concepção de produto mais integrado e conciso, uma vez que propõe a participação de todos os *stakeholders* no processo criativo, facilitando a análise dos requisitos de desenvolvimento e manufatura, e dessa forma, diminui o tempo e custo de fabricação do produto.

5.2.3 Projeto de produção cíclica e sustentável - Macrofase III

Como no experimento 1, o projeto de fabricação deste novo produto deve ser idealizado de forma sustentável e com o menor impacto ambiental possível, tendo como meta principal a geração mínima de resíduos dentro da linha de produção, aliada

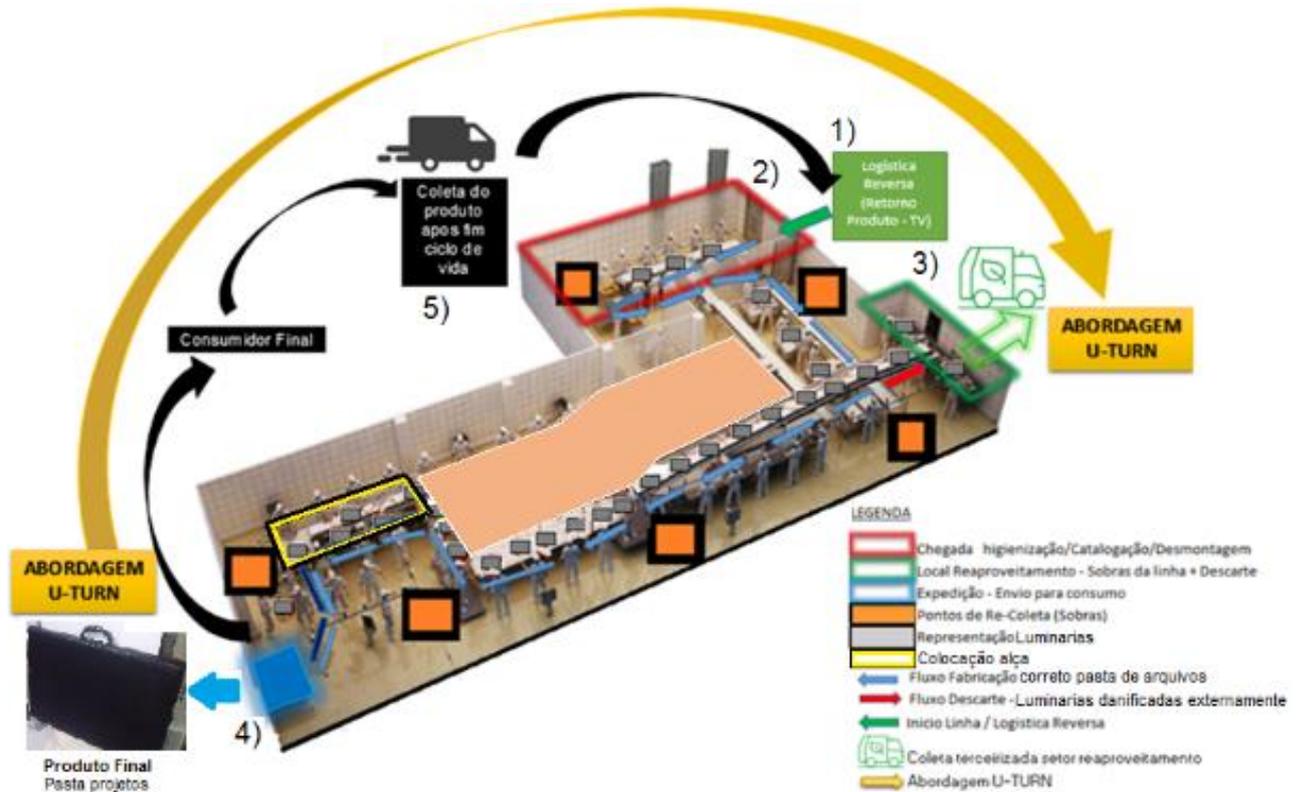
a um processo que permita conectar toda a Cadeia de Suprimentos, desde a produção até o fim do ciclo de vida do produto e seu respectivo retorno (Logística Reversa).

Ao aplicar a análise P-V neste caso experimental, o produto - uma pasta de arquivo produzida a partir de uma luminária fixa - pode ser considerado popular e com baixa variedade, pois apresenta pouca alteração (variedade) entre o gabinete de uma luminária e a pasta (de dimensões semelhantes). Dependendo do volume de peças disponíveis, pode ser produzido diversas pastas em curto espaço de tempo. Portanto, o novo produto (pasta de arquivo) tem como melhor opção para sua fabricação o *layout* em linha por produto, utilizando linhas de produção de alta velocidade.

Definido o melhor layout de fabricação, o próximo passo foi desenvolver um layout fabril específico para este tipo de produto, objetivando a máxima produção com o mínimo desperdício possível de material. A Figura 55 mostra o layout adequado à fabricação das pastas de arquivo feitas a partir das luminárias fixas. Na Figura, a seta verde representa a primeira etapa do processo, o recebimento das luminárias que foram obtidas através da metodologia de logística reversa (1). A segunda etapa será executada no setor de recepção dos materiais representado por um quadrado na cor vermelha (2). Nesta etapa, todas as luminárias são analisadas manualmente para garantir que podem ser reutilizadas e se forem consideradas aptas para prosseguirem no processo produtivo, todas as luminárias devem ser minuciosamente higienizadas tanto na parte externa como interna, garantindo assim qualidade estética e segurança sanitária ao novo produto.

A sequência de produção é representada pelas setas identificadas pela cor azul, que representam todas as estações de trabalho que o produto precisará passar até ser liberado para a comercialização. Após a etapa de separação (2) entre quais luminárias que são reaproveitáveis e quais serão encaminhados ao setor de reaproveitamento (3), os componentes eletrônicos internos são retirados de dentro da luminária ao longo da linha de produção. Estes componentes eletrônicos são colocados nos pontos de coleta (quadrados laranjas com borda preta), sendo recolhidos periodicamente pelos funcionários e encaminhados ao setor de reaproveitamento para comercialização e destinação correta.

Figura 55 - Layout em Linha - Produção das pastas arquivo.



Fonte: Adaptado de *Soldmak Company* (2019).

O fluxo das luminárias rejeitadas e que não poderão continuar nesta linha de produção segue a seta vermelha sendo encaminhadas para o setor de reaproveitamento que é identificado na Figura 55 por um retângulo verde (3). Estes rejeitos que ficam no setor de reaproveitamento são caracterizados como lixo eletrônico e podem ter diversas outras aplicações, podendo ser utilizados por vários locais de reciclagem de materiais, como por exemplo, os fios internos encapados são feitos em sua grande maioria de Cobre (Cu), material que possui um alto valor agregado e que interessa a muitas recicladoras de lixo eletrônico. Neste ponto da linha (3) deve haver um depósito para todos estes materiais rejeitados e que devem ser retirados a cada 2 dias por uma empresa de reaproveitamento de resíduos eletrônicos.

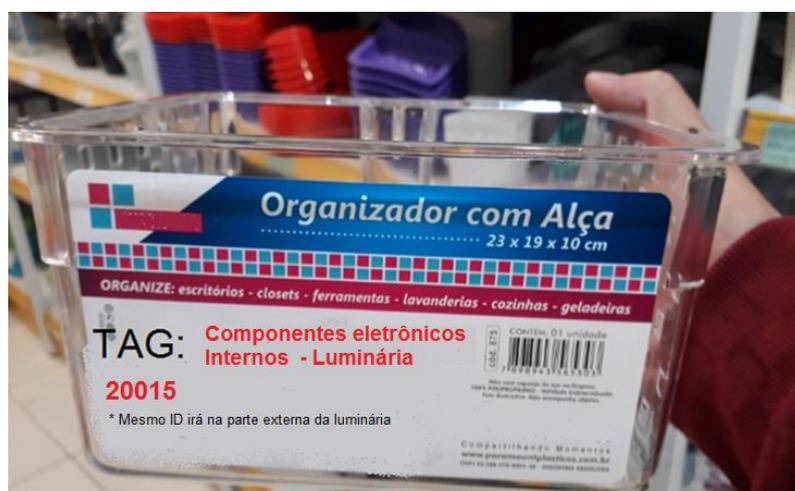
Na penúltima etapa de produção é feita a colocação da alça na parte superior e as dobradiças na parte inferior da antiga luminária (gabinete de televisor), permitindo que os usuários da pasta consigam abrir o produto para uma correta armazenagem (representado na Figura 55 por um quadrado amarelo com borda preta). As alças serão de plástico reaproveitado através de processos como a própria sinterização, provenientes de parcerias com empresas de reciclagem, isto é, ocorre a empresa

transformadora troca os fios de cobres, painel de LED, entre outros, pelas alças e caixas de papelão reciclável para a embalagem do produto fornecidas pelas empresas parceiras. Neste caso experimental, as únicas peças que precisam ser adquiridas são as dobradiças, que são fundamentais para o funcionamento adequado do produto e que devido ao seu grau de complexidade, torna-se inviável sua produção através de processos de reaproveitamento ou reciclagem.

A última etapa do processo produtivo é denominada de Expedição, representada na Figura por um quadrado na cor azul (4). Nesta etapa, os produtos passam por testes para garantir sua qualidade, principalmente em relação ao funcionamento das dobradiças e alças terceirizadas. Finalmente, se os produtos estão prontos para serem comercializados, são embalados e separados para serem colocados nos veículos que farão o transporte até o destino, sendo lojas de papelaria, mercados, shoppings ou até mesmos clientes finais. Se ao longo da linha ocorrerem quebras ou erros produtivos que resultem na inutilização do produto para comercialização, estes deverão ser descartados nos pontos de coleta ao longo da linha.

Durante o processo de desmontagem, logo após a higienização do produto, os componentes eletrônicos de maior tamanho e fácil desmontagem (como o painel de LED interno) são separados e colocados em caixas organizadoras, apresentando um código (TAG) referente ao número de cada luminária, conforme mostra a Figura 56. Os demais componentes eletrônicos mais complexos serão retirados ao longo da linha de produção.

Figura 56 – Caixas organizadoras dos componentes eletrônicos – TAG.



Fonte: O autor.

As caixas organizadoras acompanharão os componentes até o fim da linha de produção, porém, neste caso, os componentes eletrônicos são levados somente até o setor de reaproveitamento, onde são descartados. As caixas organizadoras continuam sendo utilizadas ao longo da linha, já que após saírem do setor de reaproveitamento, cada caixa organizadora receberá 1 *Kit* completo para montagem composto de 2 dobradiças e 1 alça.

Com a catalogação de todas as luminárias que chegam ao processo produtivo através das *TAGs*, o sistema de gerenciamento de produção é facilitado, já que em cada setor/etapa produtiva o código é checado eletronicamente e é possível localizá-los em tempo real. Como no caso experimental anterior, no início de cada etapa do processo produtivo existe um *scanner* de código de barras que possibilita a verificação do estágio de fabricação de cada luminária que está sendo transformada. Além disso é possível fazer todo o controle de estoque das dobradiças e alças utilizadas nos *kits* de montagem.

As informações relevantes das luminárias devem ser cadastradas após a higienização através de um sistema eletrônico de *ERP*, como o software da *ForSoft*, e emitidas as etiquetas identificadoras (*TAGs*) automáticas (códigos), que serão impressas e colocadas na luminária e na caixa organizadora para controle da expedição de materiais para reaproveitamento.

Utilizando esta metodologia de controle em tempo real, ao abrir a tela do sistema de *ERP* é possível identificar a quantidade de peças em cada etapa produtiva, além de acompanhar todas as entradas de matéria prima e saída de produtos finalizados para venda/destinação correta. Dessa forma, o tempo de ciclo de produção de cada peça e seu *lead time* é apresentando eletronicamente, podendo ser acompanhando pelos gestores e programadores da produção da empresa. Para continuar com o controle e rastreabilidade de todos os componentes ao longo de toda cadeia produtiva, a empresa parceira que faz a coleta dos resíduos eletrônicos e envia relatórios semanais com as quantidades de produtos coletados e qual o destino dado a cada material, se foram novamente comercializados ou se foram transformados em outros produtos.

O produto final, uma pasta de arquivo para folhas de tamanhos maiores, foi fabricado com mínimo de resíduos ao longo de sua linha de produção e com grande apego ecológico, já que se trata de um produto 100% remanufaturados. A Figura 57 mostra o produto final modelado em software arquitetônico denominado *Sketchup*.

Figura 57 – Pasta para armazenamento de arquivos (produto final – Pasta modelada em software arquitetônico *Sketchup*).



Fonte: O autor.

A Figura 58 ilustra o produto modelado no ambiente CAD do *SolidWorks* e os detalhes “a” e “b” ilustram 2 exemplos de representação de aplicação em um ambiente de escritório.

Figura 58 - Produto final – Aplicação em ambiente de escritório.



(a)



(b)

Fonte: O autor.

Ao final do ciclo produtivo, o novo produto com apelo sustentável confeccionado pode ser distribuído para seus consumidores finais. Além de sua pegada ecológica que permite mais uma sobrevivência para um produto que seria

precocemente descartado, o consumidor conta ainda com um design diferenciado e que pode ser utilizado por diferentes profissionais para diferentes aplicações, mas com foco pré-planejado em projetos arquitetônicos.

Deve-se salientar que este produto não concorre diretamente com produtos produzidos em massa, já que por não apresentar grandes volumes de produção, muitos custos de oportunidade não são alcançados. Todavia, ao utilizar a parte externa da luminária como base para a criação da pasta de projetos, é possível entregar ao consumidor final um produto mais resistente, com pouco peso e, partindo do pressuposto que a empresa seja a mesma que fará os 2 novos produtos provenientes dos televisores, dependendo do volume de produção e por não possuir custos com aquisição de matéria prima, pode-se dizer que sua expansão para outras fatias de mercado seria viável.

A Abordagem proposta foca na promoção do desenvolvimento sustentável, dessa forma, este produto foi desenvolvido para um público-alvo consciente dos problemas ambientais e com viés de consumo responsável, e que está disposto a possuir um produto ambientalmente correto independente se seu valor é um pouco maior do que um novo.

5.2.4 Coleta de produto/material - Macrofase IV

O produto nesta Macrofase está com seu consumidor final e após seu ciclo de vida útil precisa ser descartado. A abordagem circular dessa proposta significa que esta Macrofase alimenta a primeira Macrofase do processo produtivo das pastas através da coleta das luminárias ao final de sua vida útil. Aplicando a metodologia dos 3W1H neste caso experimental tem-se o seguinte cenário:

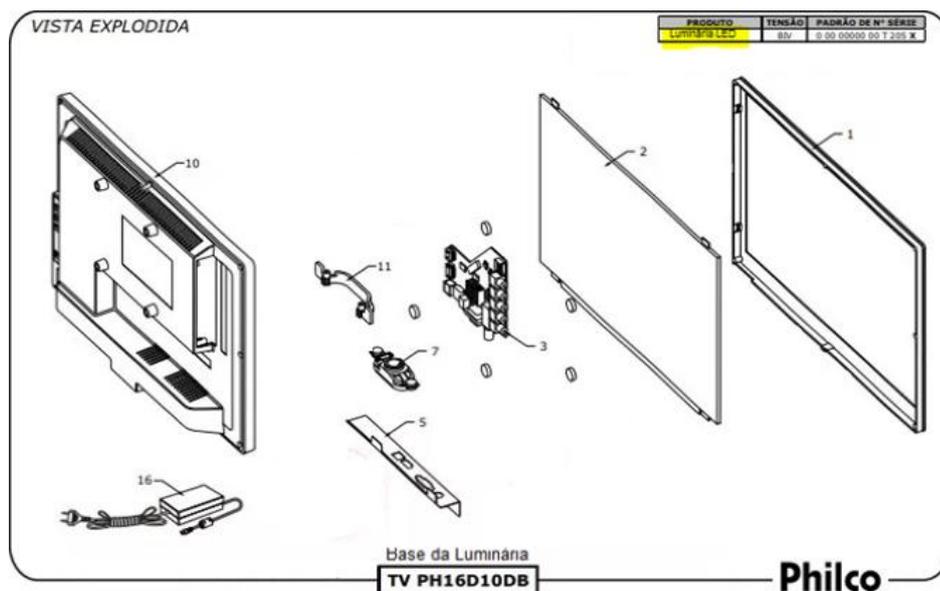
- **Why** (Por quê) retornar produtos: o retorno das luminárias é de extrema importância, serão a matéria-prima para construção da pasta arquivos, sendo indispensáveis ao projeto. Além disso, o principal objetivo é evitar que as luminárias sejam destinadas a aterros;
- **What** (O que) está sendo devolvido: são luminárias LED (com diodos de emissão de luz por trás da tela) com alta capacidade iluminativa. Para o efeito desejado do novo produto (pastas de arquivo), a única limitante é que as luminárias reutilizadas possuam sua parte externa sem grandes avarias, já que será a parte principal para o novo produto.

Para o desenvolvimento da abordagem *U-TURN* neste caso experimental, as empresas transformadoras farão a logística reversa motivadas pela diminuição da quantidade de resíduos descartados e, conseqüentemente, lucros com tal operação. O detalhamento do produto a ser retornado em relação a certas características que são relevantes: i) Composição; ii) Fator de Deterioração; e iii) Padrão de uso é necessário para o planejamento dos processos necessários para o reaproveitamento do material na construção de outro produto.

Quanto a composição, é importante o número de componentes e materiais de cada produto bem como a forma como os materiais e componentes estão conectados, pois com estas informações é possível ter uma ideia preliminar de como serão os processos de desmontagem, higienização e classificação. A Figura 59 mostra um exemplo de composição de uma luminária feita a partir de televisores LED de 32" da marca Philco, modelo PH16D10DB, utilizado no caso experimental 01 e que é a base para a aplicação do caso experimental 02.

Como pode ser observado na Figura 58 o produto apresenta somente 8 peças encaixadas para formar a luminária, sendo constituído por 2 componentes que formam a tela, 1 para o gabinete (parte traseira) e 5 componentes eletrônicos internos, englobando juntamente o cabeamento externo.

Figura 59 – Vista Explodida – Luminária - LED 32" – Philco (Philco Manual).



Fonte: Adaptado de Manual online Philco modelo PH16D10DB (2018).

Do ponto de vista da deterioração, a abordagem *U-TURN* foca principalmente na parte de estudo de resistência da parte externa da luminária, através dos testes de esforços de *Von Mises*, feitos em ambiente CAD. Neste caso experimental está sendo utilizado os resultados da Macrofase I do experimento anterior, como descrito anteriormente e como o material base (PS Alto Impacto) não teve alteração, as forças e as resistências a que este material pode ser submetido se mantêm, comprovando a usabilidade das luminárias para criação das pastas de arquivos.

O último critério a ser analisado é o padrão de uso do produto por seu consumidor final, com relação à 4 fatores:

- i) **Localização** – a luminária, por se tratar de um produto sustentável e com pegada ecológica, conseqüentemente sendo encontradas em residências com grande apelo sustentável e principalmente centros comerciais diversos, já que a luminária tem forte compatibilidade na aplicação em escritórios e indústrias;
- ii) **Intensidade** - o uso é variável para este tipo de produto. No caso de aplicações em centros comerciais, indústrias ou até mesmo hospitais a utilização será intensa, ficando muitas horas ou até mesmo o dia todo ligado. Já se a utilização for em residências, o uso é moderado, ficando poucas horas do dia ligado e, portanto, tendo uma vida útil estendida;
- iii) **Durabilidade** – Uma luminária feita a partir de televisor LED possui vida útil estimada entre 20 a 45 mil horas, pois é preciso levar consideração que este produto já está em sua segunda vida útil e, portanto, pelo menos metade das 40 a 90 mil horas originais previstas para um televisor já foram consumidas. Portanto, a vida útil da luminária pode variar de acordo com a marca da luminária (televisor), modelo, qualidade da transmissão de energia elétrica da região, cuidados básicos por parte do usuário, entre outros. Convertendo pelo tempo médio de funcionamento e se baseando na vida útil de um televisor convencional LED, acredita-se que a durabilidade das luminárias de LED seja em torno de 2,5 anos (CCM,2019);
- iv) **Tipo de Usuário** – Por ser um produto sustentável, acredita-se que a maior abrangência de compra é nas classes B, A e A+, principalmente devido a fatores ligados ao grau de instrução (ensino). Entretanto, por possuir um custo acessível de compra (por ser feito com matéria prima reutilizada), classes mais simples podem adquirir as luminárias LED. Trata-se de um produto que apresenta vendas mescladas, sendo tanto para aplicação em empresas (pessoa jurídica) como para

residências (pessoas físicas). Ainda, por apresentar uma economia significativa de energia quando comparada a lâmpadas incandescentes, acredita-se que haverá forte aderência na aplicação em empresas de pequeno e médio porte.

Tais fatores impactam diretamente na logística reversa, exigindo diferentes abordagens para garantir o retorno das luminárias aos processos produtivos com qualidade e pensando de forma sustentável.

- **Who** (Quem) está executando a logística reversa: os envolvidos neste produto em específico é: i) o consumidor, que adquiriu uma luminária tipo LED e por algum motivo necessita descartar este produto, seja por estar quebrado, queimado, ou simplesmente porque gostaria de trocar as luminárias do seu local. ii) a empresa transformadora, que é responsável por transformar novamente as luminárias em novos produtos, fazendo toda a gestão da linha a fim de garantir novos produtos de qualidade pensando em todo o processo de forma sustentável, gerando o mínimo possível de resíduos ao longo da sua linha de transformação.

Como detalhado no Capítulo 4, os responsáveis e atuantes em um processo de logística reversa são classificados em 3 tipos de participantes. Na abordagem *U-TURN* e sua aplicação em luminárias que são transformados em pastas de arquivos, os *stakeholders* presentes são classificados como atores da cadeia de suprimentos avançados. O setor de reaproveitamento detalhado na Macrofase III tem como parceiras as empresas de reciclagem de lixo eletrônico e de papelão, portanto, nesta parte em específico, esta empresa parceira é um agente especializado em cadeia reversa, por se tratar de uma empresa de reciclagem. Entretanto, como é um *stakeholder* não diretamente envolvido na fabricação das pastas e sim um terceirizado, pode-se determinar que praticamente todo o processo apresenta somente atores da cadeia de suprimentos avançados.

- **How** (Como) a Logística Reversa funcionará: Para este caso das luminárias, para a abordagem *U-TURN* funcionar satisfatoriamente se entende que é preciso que o usuário tenha a devolução do produto facilitada, com coletas em sua residência ou em locais de fácil acesso, como lojas de materiais elétricos.

Para que esta etapa seja realizada de forma satisfatória, o autor propõe que a empresa fabricante que optar por utilizar a abordagem *U-TURN* ao entregar a luminária a seus usuários já deixe claro que aquele produto deve ser retornado, já que haverá mais uma sobrevida para este produto. Assim, é possível estreitar laços e

garantir que os produtos que chegam ao seu ciclo final de vida sejam retornados. Este tipo de comunicação é fundamental, pois a matéria prima para a fabricação das pastas de arquivos será doada ou “comprada” a custos baixos, caso os consumidores façam o correto destino de suas luminárias.

Além de possuir locais fixos para receber estes materiais, como caixas receptoras em lojas de materiais elétricos, mercados, grandes centros comerciais e locais de grande fluxo de pessoas, as empresas devem investir na coleta “porta a porta” dos materiais, ou seja, através de um canal de 0800 o consumidor pode ligar para a empresa e informar que deseja se desfazer do produto.

A empresa através de frota própria ou terceirizada deve fazer a coleta nas casas dos clientes, sem cobrar nada por isso. Para diminuir custos, a criação de rotas fixas espalhadas pela cidade para cada dia da semana torna-se fundamental. A informação sobre a rota, dia de coleta e horários seriam oferecidos pela empresa aos clientes na hora da compra através do Manual de Instruções das luminárias e/ou através do seu SAC, sites, mídias sociais, entre outros.

O autor entende que a coleta voluntária, ou seja, o cliente levar seu produto em pontos específicos para descarte no caso da luminária não daria certo. Isto devido ao produto possuir um valor significativamente mais baixo que dos televisores, portanto, não seria possível a ideia dos incentivos monetários, já que por ter pouco valor agregado, o valor que seria retornado ao cliente seria irrisório. Um valor baixo pago como incentivo teria pouco aderência por parte dos usuários, e, portanto, não seria eficiente.

É importante salientar que a etapa da recuperação do material é somente uma das atividades do processo da logística reversa. Trata-se da mais significativa e mais abordada etapa, entretanto outras atividades de igual importância, como a recuperação, inspeção, segregação, higienização e classificação, devem ser levadas em consideração para fechar o *looping* de retorno dos produtos aos processos produtivos. Por ser uma abordagem circular, neste segundo caso experimental esta última macrofase alimenta a primeira macrofase do processo produtivo das pastas de arquivos, que no final da vida útil do produto fabricado alimentará novamente macrofase de Logística Reversa, por tantas vezes quanto o material a ser aproveitado nos novos produtos esteja adequado para a remanufatura.

Portanto, a premissa da Abordagem proposta de que um produto pode retornar ao ciclo produtivo através da aplicação da Abordagem *U-TURN* quantas vezes estiver

apto para reutilização, permitindo, dessa forma, que um só produto possua o potencial de várias sobrevidas, evitando seu descarte prematuro é corroborado por este caso experimental.

5.3. CASO EXPERIMENTAL NUMERO 03 – PNEUS DESCARTADOS

O terceiro produto explorado por todas as fases da Abordagem *U-TURN* foi pneu automobilístico descartado, reaproveitados como matéria prima para o desenvolvimento de um produto sustentável. A Figura 60 mostra um exemplo de coleta de pneus descartados utilizados neste caso experimental.

Figura 60 - Exemplo pneus utilizados no caso experimental.



Fonte: Nascimento (2018).

5.3.1. Análise da potencialidade de reutilização de produtos descartados - Macrofase I

Para garantir que o produto selecionado atenda aos requisitos mínimos de resistência, foi utilizado os testes de resistência e deformidade, isto é, ensaio denominado de teste de deslocamento estático como recomendado pela Abordagem proposta. Para a aplicação dos testes, o produto - um pneu aro 16 da marca Goodyear,

modelo “*Direction Sport*” - foi modelado no Módulo CAD do Software *SolidWorks* utilizando as medidas reais fornecidos pelo fabricante:

- i) Altura 63,19 cm x Largura 20,5 cm e Profundidade 63,19 cm;
- ii) Aro 16, medida: 205/55R16 – 205 mm de largura, 55 mm altura e Diâmetro 16 polegadas (circunferência da roda);
- iii) Peso aproximado: 8,13 kg;
- iv) Material: Borracha de *Estireno Butadieno* - SBR.

Segundo Montenegro (2007), a borracha recomendada e amplamente utilizada pelas empresas na fabricação de pneus, em geral, é a do tipo SBR – borracha de Estireno *Butadieno*. Trata-se de um copolímero de *Butadieno* e *Estireno* (materiais químicos sintéticos) que geralmente são produzidos pelo processo de emulsão ou solução. A principal vantagem e, portanto, razão pela sua grande aplicação, é seu baixo custo comparado a diferentes copolímeros de borracha, como a própria borracha de extração natural. Além disso, a SBR apresenta melhor abrasão, melhor resistência ao calor, baixa instauração e menor impacto ambiental, já que se trata de um copolímero sintético não extraído diretamente da natureza. Portanto, para os testes aplicados no software, o produto foi modelado geometricamente utilizando-se este tipo de material (Borracha SBR). A Figura 61 ilustra as vistas do produto modelado no CAD.

Figura 61 – Produto a ser Reutilizado - Pneu vistas do produto modelado CAD.



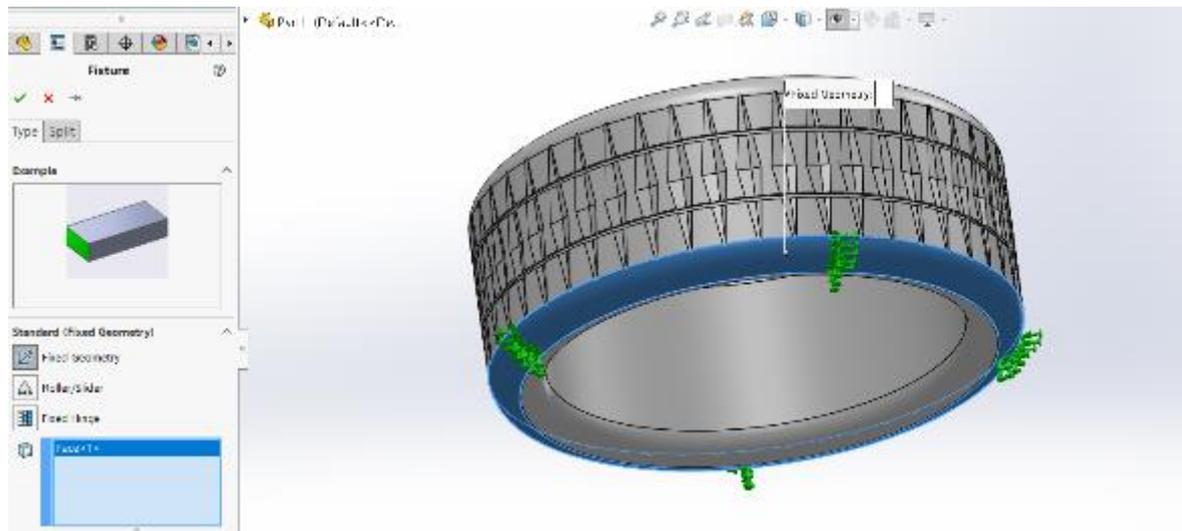
(a) Vista Frontal do produto.



(b) Vista Geral do produto.

Com o produto modelado no ambiente CAD, a próxima etapa foi a análise da potencialidade de sua reutilização através do teste de deslocamento estático. O ponto de fixação, que determina onde são inseridas as forças, foi definido como uma das laterais do pneu (local onde o pneu tem contato com o solo quando está na posição horizontal), pois trata-se da posição padrão de utilização que carcaças de pneus são deixadas quando não estão sendo utilizadas em automóveis. Além disso, a fixação neste ponto é interessante, pois a aplicação de forças na outra extremidade da lateral do pneu e na banda de rodagem é feita nos pontos mais frágeis deste tipo de produto, permitindo encontrar a real potencialidade de reuso. A Figura 62 apresenta o ponto de fixação definido para os testes do produto.

Figura 62 - Ponto de Fixação – Parte de inferior do pneu – Contato com o solo.



Fonte: O autor.

Para identificar a potencialidade de resistência e deformação do produto foram aplicados 3 diferentes níveis de intensidade de força, que permite identificar o comportamento do produto com forças de pequena, média e grande intensidade. Como no primeiro experimento, o primeiro nível de força foi determinado como a intensidade do valor em força da própria massa do produto, ou seja, como a massa aproximada é de 8,13 kg, foi adotado o valor arredondado de 8 kg para o primeiro teste. Para facilitar os cálculos e entendimento da Abordagem, adotou-se novamente a aceleração da gravidade com valor arredondado em módulo de 10,0 m/s². Dessa forma, o valor inicial de intensidade de força para testes neste produto foi de 80 N (Newtons).

A partir deste valor inicial foi possível executar os testes e, para comparação do comportamento do produto, 2 outras forças foram aplicadas. A segunda força optou-se por testar uma intensidade de 720 N, ou seja, 9 vezes maior que seu próprio peso, o que representa uma força de 72 kg. Este valor foi escolhido por ser o peso médio de um homem brasileiro (IBGE, 2019), ou seja, assim é possível identificar qual é o comportamento de um pneu ao receber o peso de uma pessoa sendo adicionado em uma de suas extremidades.

Como terceira opção, o autor aplicou uma força de extrema intensidade próximo à ruptura, de acordo com as especificações técnicas deste material, para identificar o máximo de forças que este produto suporta. Assim, a última aplicação de forças foi de 275.000 N, ou 275 KN (quilo Newtons), ou seja, o produto testado recebeu uma força de 27,5 toneladas de intensidade, valor próximo ao máximo que este tipo de material suportaria sem sofrer rupturas segundo as propriedades físicas deste tipo de borracha SBR (CAETANO, 2010).

Para os testes entendeu-se que o esforço sofrido pelo produto, tanto na linha de montagem/desmontagem como em seu uso, é máximo em suas laterais (ombro pneu) e em sua banda de rodagem. Isto se deve à geometria da peça, que é cilíndrica, e ao fixar uma das laterais como ponto que não receberá forças (fixado), ao se aplicar forças nas partes laterais do pneu e em sua banda de rodagem é possível identificar seu potencial de reutilização de forma exata, já que ao aplicar o teste de deslocamento estático com forças nestes locais, o produto seria testado em sua totalidade. Dessa forma, no software foi definido o local da aplicação das 2 forças de mesmo modulo nos seguintes locais:

- a. Uma força na parte lateral do pneu (ombro) – lado contrário ao fixado: a região lateral do pneu sofre a maior força de incidência na hora da montagem e desmontagem já que é neste local onde a roda é inserida na utilização normal do pneu e é também provavelmente onde o novo produto terá maior incidência de forças na sua aplicação;
- b. Uma força na banda de rodagem do pneu: foi inserido a mesma força, com mesma intensidade, mas de sentido perpendicular à primeira força, abrangendo todos os locais da carcaça do pneu;

A parte interna do pneu não recebeu nenhuma força, já que para sua reutilização entende-se que nenhuma força será aplicada de dentro para fora do pneu descartado, somente o contrário. Além disso, para facilitar o entendimento da

Abordagem, optou-se por desconsiderar a força resultante da pressão interna exercida pelo ar comprimido dos pneus, que dificulta significativamente a apresentação dos dados e não impacta na resistência do material ao receber forças externas sobre suas superfícies.

Para saber se o material apresentará rupturas ou não ao ser aplicado os testes no software CAE, é preciso conhecer seu valor máximo de tensão. Segundo Caetano (2010), a borracha tipo SBR pode sofrer ações entre 7 a 21 Mpa (*Megapascal*) conforme ilustrado na Figura 63, que convertido para N/m² (Newtons por metro quadrado) resultaria no intervalo de $0,7 \cdot 10^7$ a $2,1 \cdot 10^7$ N/m². Esta diferença de valores se deve ao processo de fabricação deste copolímero, que dependendo dos materiais sintéticos utilizados pode resultar em variações que ficariam neste intervalo. Como o pneu utilizado para o teste é da marca *Goodyear*, devido a seus altos padrões de qualidade em seus processos produtivos, considerou-se o valor máximo como tensão de ruptura deste tipo de borracha, ou seja, para os testes de potencialidade de reutilização se entende que o valor para ruptura será de $2,1 \cdot 10^7$ N/m².

Figura 63 - Tensão de Ruptura da borracha SBR.

Tabela - Propriedades típicas da Borracha de Estireno Butadieno (SBR)	
Propriedade	Valores típicos
Tensão de ruptura, MPa	7 – 21

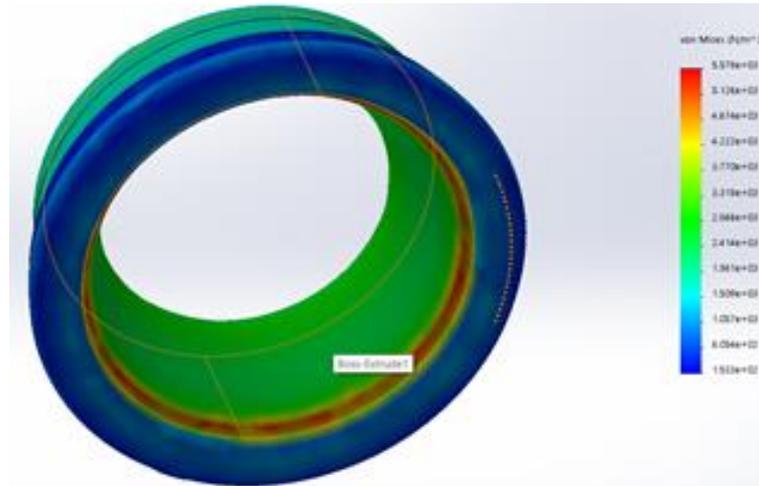
Fonte: Caetano (2010).

5.3.1.1 Aplicação de 80 N de força ao produto - Teste 01

A escala de cores presente no teste de *Von Mises* do Módulo CAE foi utilizada para identificar os pontos de maior chance de ruptura e deslocamento. A Figura 64 apresenta o teste de resistência e deformidade realizado no ambiente CAE para uma força de 80 N aplicada na carcaça do pneu.

É observado na Figura que o produto ao passar pela aplicação da primeira força de 80 N não teve muitos impactos em sua estrutura. Entretanto, na junção da banda de rodagem com a lateral do pneu que foi fixada há uma pequena deformidade que chega à $5,57 \cdot 10^1$ N/m². Tal valor não gera uma ruptura no material, pois como visto o valor máximo de tensão de ruptura é de até $2,1 \cdot 10^7$ N/m².

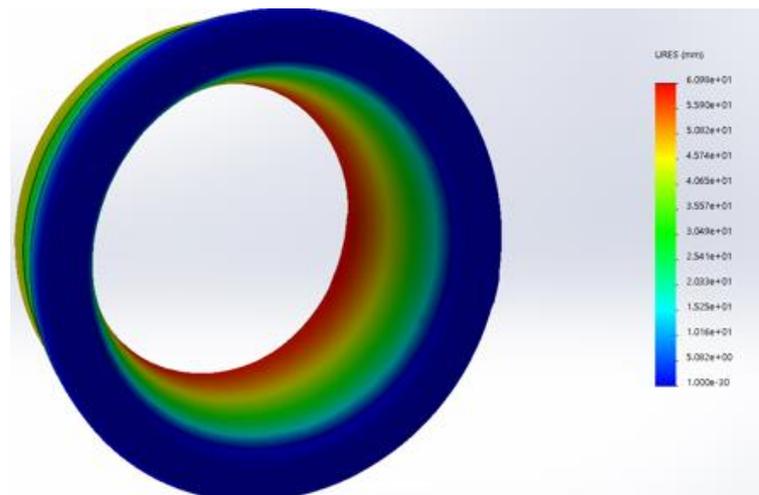
Figura 64 - Teste de *Von Mises* com aplicação de 80 N – Deformidade.



Fonte: O autor.

Com relação ao deslocamento, que significa o grau de torção que o produto sofre e representa o comportamento físico do produto ao ser aplicado as forças propostas. Ao se aplicar as duas forças perpendiculares de 80 N sobre a carcaça do pneu descartado obteve-se como resultado um deslocamento na superfície lateral onde está incidindo a força e na banda de rodagem ao mesmo tempo, como mostra a Figura 65.

Figura 65 – Teste de *Von Mises* com aplicação de 80 N – Deslocamento.



Fonte: O autor.

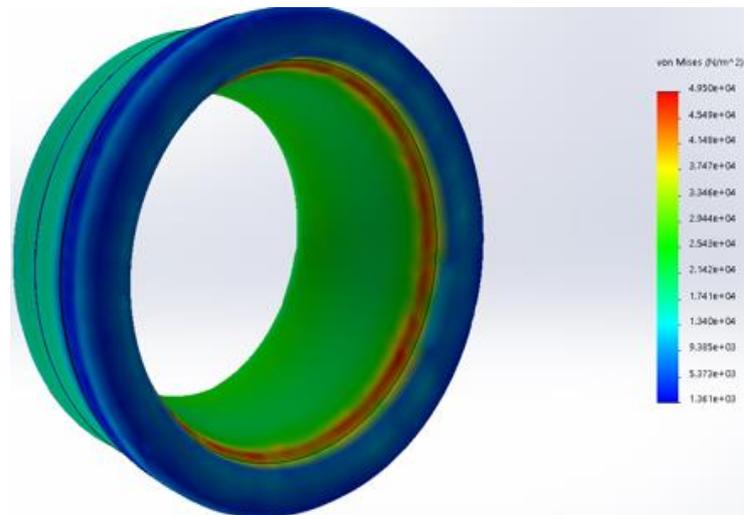
Como mostra a Figura, tal deslocamento é capaz de movimentar levemente a carcaça, fazendo com que o pneu fosse comprimido em até 6,09 mm para baixo e

para dentro de sua extremidade interna, mas como o valor é pequeno, ainda não é possível identificar a olho nu tal deformação. A maior contração ou deslocamento é na parte superior do pneu que na Figura 65 é representado pela cor vermelha.

5.3.1.2 Aplicação de 720 N de força ao produto - Teste 02

Para este teste foi utilizado o valor de 9 vezes o peso do produto, ou seja, uma força de 720 N. As forças continuaram incidindo no produto da mesma forma, ou seja, 2 forças perpendiculares e de mesma intensidade incididas novamente uma na parte lateral do pneu (contrária a parte fixada) e a outra na banda de rodagem, tomando o cuidado para serem os mesmos locais da aplicação do primeiro teste, permitindo uma comparação entre eles. A Figura 66 apresenta os resultados da aplicação do teste em ambiente CAE.

Figura 66 - Teste de *Von Mises* com aplicação de 720 N – Deformidade.



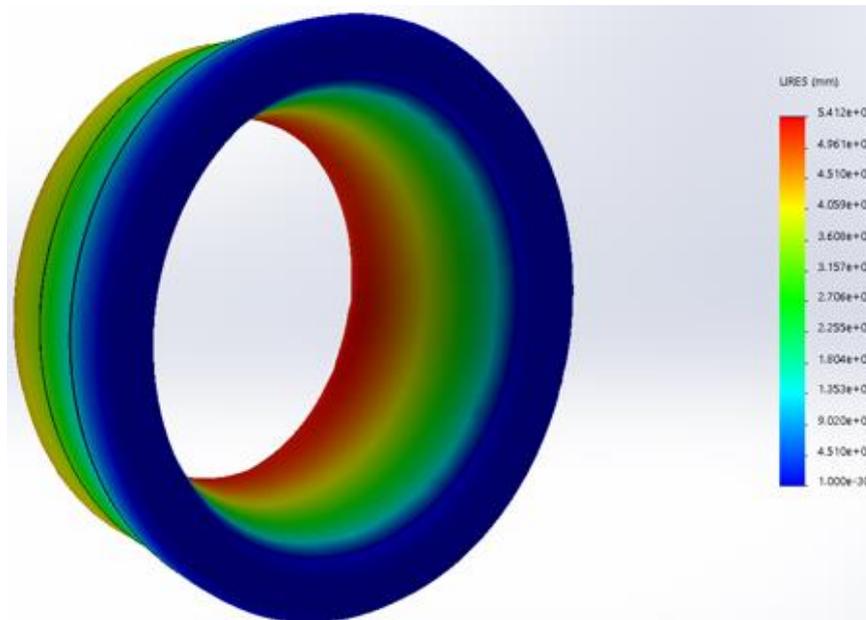
Fonte: O autor.

Para os testes com 720 N, houve uma deformidade maior na junção da banda de rodagem com a lateral do pneu que foi fixada. Segundo este teste, o produto ao passar pela aplicação de uma força de 720 N não tem novamente impactos negativos na estrutura do pneu, entretanto neste ponto de junção haveria uma deformidade máxima de $4,5 \cdot 10^4$ N/m². Esse valor, como o do teste anterior, não chega a gerar ruptura no material, entretanto, deixa o material mais sensibilizado, ou seja, no ponto

de junção entre a banda de rodagem e o ombro do pneu há grandes chances de rasgo e inutilização da carcaça.

Já referente ao deslocamento do material, conforme mostrado na Figura 66, ao ser aplicado as forças perpendiculares de 720 N sobre a carcaça obteve-se como resultado um deslocamento máximo de 54,0 mm, novamente na parte superior da carcaça do pneu, representado em vermelho na Figura 67.

Figura 67 – Teste de *Von Mises* com aplicação de 720 N – Deslocamento.



Fonte: O autor.

Como mostra a Figura, tal deslocamento, como o que ocorreu com a força de 80 N, é capaz de movimentar a carcaça do pneu para baixo e comprimi-la para dentro, mas sem causar nenhum tipo de ruptura. Entretanto, ao aplicar esta força de média intensidade é possível observar a olho nu tal deslocamento. Isto permite identificar que forças a partir de 72 kg começam a deslocar a estrutura do produto visivelmente.

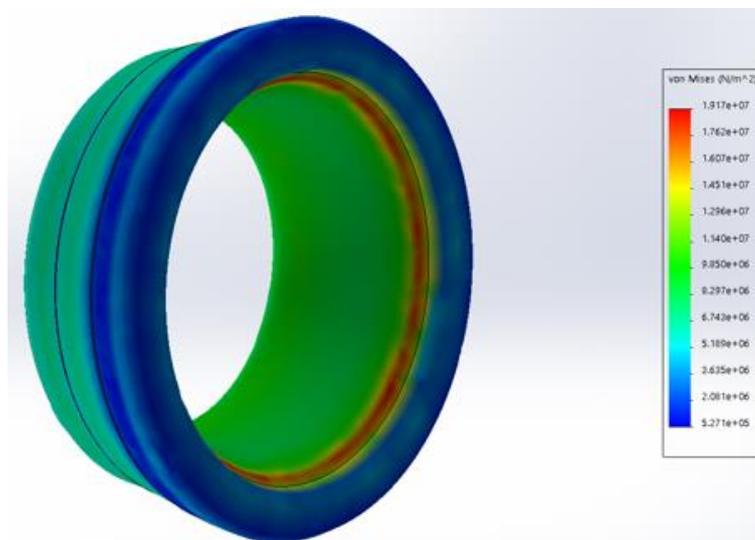
5.3.1.3 Aplicação de 275 KN de força ao produto - Teste 03

Neste teste foi aplicado uma força de 27,5 toneladas de intensidade, ou seja, 275.000 N ou 275 KN, o que resultaria em 3437 vezes o peso do próprio produto (considerando sempre $g = 10 \text{ m/s}^2$). Considerando sempre as mesmas duas forças perpendiculares e de mesma intensidade incididas na parte lateral do pneu e na banda

de rodagem, tomando cuidado para serem os mesmos locais das aplicações dos testes anteriores. A Figura 67 mostra os resultados obtidos com a aplicação de 275 KN no produto.

Para este teste de alta intensidade, como descrito anteriormente, o autor escolheu um valor próximo ao máximo suportado segundo as propriedades físicas deste tipo de material, para assim identificar o comportamento do produto até ficar em eminência de ruptura e, portanto, inutilização do material para reaproveitamento.

Figura 68 - Teste de *Von Mises* com aplicação de 275 K N – Deformidade.



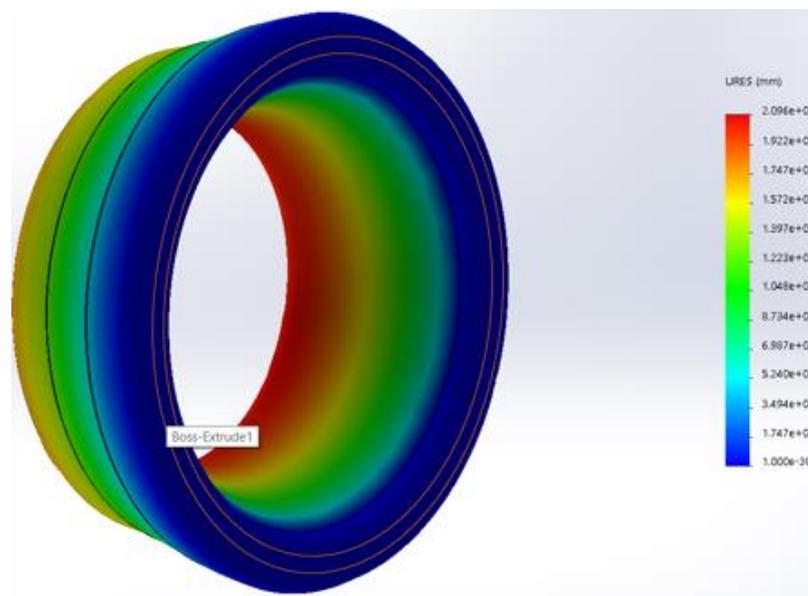
Fonte: O autor.

Com uma força desta magnitude houve deformidade significativa no mesmo ponto dos outros testes, isto é, na junção entre a banda de rodagem e o ponto de fixação, chegando a apresentar uma deformidade máxima de $1,91 \cdot 10^7$ N/m². A carcaça não chegou a apresentar uma ruptura, mas pela proximidade que está do valor máximo de resistência que este material pode suportar, o produto está claramente em eminência de ficar inutilizado por danos em sua estrutura. O restante do pneu se manteve sem grandes impactos com relação a sua deformidade, ficando em torno de $5,27 \cdot 10^5$ N/m² e não apresentando riscos de ruptura (ficando em azul na escala de cores de *Von Mises*).

O resultado do teste de deslocamento é mostrado na Figura 69. O deslocamento máximo na estrutura do pneu chegou a 209 cm, ou 20.900 mm, um aumento de 3.800% no deslocamento da peça ao se comparar com o teste de forças aplicadas com intensidade de 720 N. Tal deslocamento seria capaz de deformar por

completo o pneu, principalmente na parte superior da carcaça, empurrando a estrutura completamente para baixo. Como o deslocamento é muito grande, o software Solid Works não consegue demonstrar como a estrutura ficaria com 209 cm de deslocamento, como mostra a Figura. Em termos de resistência elástica, o tipo de material é comprovadamente resistente a grandes forças, entretanto por não possuir rigidez, a aplicação de forças de grande intensidade, geraram deslocamentos expressivos, e que deve ser levado em consideração como limitação nas próximas etapas da Abordagem.

Figura 69 - Teste de *Von Mises* com aplicação de 275 KN - Deslocamento.



Fonte: O autor.

5.3.1.4 Discussão dos 3 testes (80, 720 e 275 KN)

A aplicação das forças de 80 e 720 N respectivamente, não causariam deformações significativas no produto, entretanto, ao aplicar a força de 275.000 N a carcaça sofre sérias deformações em sua geometria com um deslocamento de 209 cm, ficando muito próximo do ponto máximo estático de deformação para este tipo de material. Considerando os valores máximos para ruptura de 21 Mpa ou $2,1 \cdot 10^7$ N/m² para borracha de tipo SBR, o material não chega a sofrer rasgos/desfragmentação na aplicação da força de 275 KN na primeira vez, entretanto como ficou muito próximo ao valor de limite máximo, a estrutura é seriamente fragilizada, o que resultaria a partir de uma segunda aplicação de forças desta intensidade, na ruptura imediata do

produto. A Tabela 20 mostra o resumo dos 3 testes ao qual o produto foi submetido no ambiente de simulação de deformações do *software SolidWorks*.

As análises dos resultados das imagens e dados obtidos na simulação mostram que o produto selecionado para o experimento tem grande potencial para a reutilização, uma vez que é necessário a aplicação de forças de elevado nível de intensidade para que o produto se desloque a olho nu e que possa entrar em ruptura.

Tabela 20 - Resumo dos Testes de simulação aplicados ao produto no *SolidWorks*.

Testes de Simulação no <i>SolidWorks</i>				
Força Aplicada (Newtons)	Testes de Von Mises	Deslocamento	Ruptura do Material	Estado do Produto
90	5,57.10 N/m ²	06,09 mm	Não	Ok
720	4,50.10 ⁵ N/m ²	54,00 mm	Não	Ok
275.000	1,91.10 ⁷ N/m ²	20.900,0 mm	Não, porém no limite	Em eminência de ruptura e extremamente deslocado

Fonte: O autor.

Porém deve-se ter cuidado e atenção para identificar o melhor uso para este produto, já que se for submetido a esforços com grandes cargas de força o produto tem grandes valores de deslocamento. Dito isso, os testes mostraram que o produto tem potencial para ser reaproveitado, portanto, em relação ao processo decisório presente no final da primeira Macrofase, a resposta é sim, o produto analisado possui resistência e pode seguir para as próximas etapas da Abordagem proposta, não necessitando seu descarte. Vale ressaltar que as informações obtidas nos testes aplicados devem ser levadas em consideração pelo time de desenvolvimento do novo produto na Macrofase II que será apresentada no próximo item.

5.3.2 Projeto de novo produto - Macrofase II

Nesta Macrofase, o projeto do novo produto (design) deve atender à requisitos mínimos voltados a: i) fácil montagem/desmontagem; e ii) foco na “sobrevida” dos produtos. Para atender a estes requisitos, são utilizadas as ferramentas de gerenciamento de ideias “*Brainstorming*” seguido pelo “*Opposite thinking*”. No caso deste novo produto, as etapas de gerenciamento da canalização de ideias para criação do novo produto seguiram os passos conforme apresentado na Tabela 21.

É importante salientar a importância da participação de todos os envolvidos no processo de fabricação deste novo produto nas reuniões de projeto, já que muitas ideias da fase de *Brainstorming* são reprovadas ao passar pelos questionamentos feitos pelo *Opposite Thinking*.

Tabela 21 - Ferramentas gestão de ideias – Objetivos com pneus descartados.

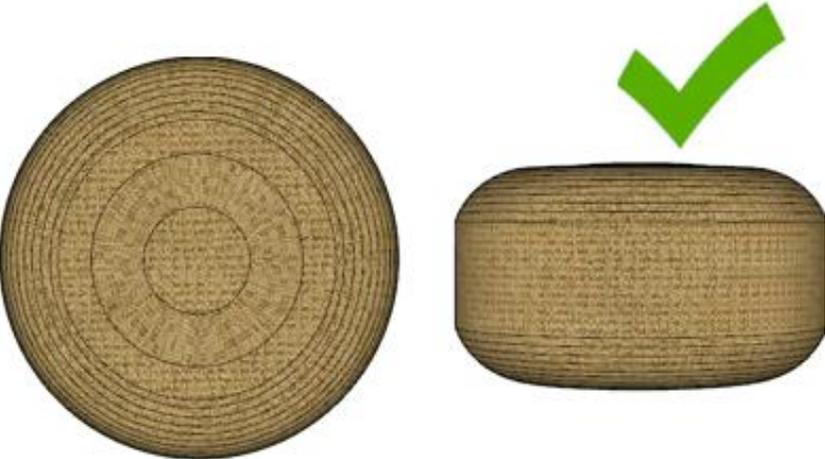
Ferramenta	Objetivo
<i>Brainstorming</i>	Encontrar o design ideal para utilização de pneus descartados, feitas a partir de borracha sintética tipo SBR, respeitando os limites máximos de esforços (275 KN). Além disso, o novo produto deve atender a 2 requisitos mínimos de design: a) ser de fácil montagem/desmontagem e b) ter foco em sua máxima reutilização "sobrevida", evitando ao máximo seu descarte.
<i>Opposite Thinking</i>	Validar as ideias propostas na fase de Brainstorming através do pensamento oposto, descobrindo possíveis falhas do projeto inicial.

Fonte: O autor.

O design escolhido para o novo produto foi a concepção de um pufe para decoração de ambientes, detalhado na Tabela 22. Com poucas intervenções estruturais na carcaça do pneu descartado é possível a criação de um pufe para armazenar objetos e acomodar pessoas, decorado externamente com cordões feitos a partir de cortiça de rolhas de vinho descartadas. Além de deixar o produto esteticamente mais agradável e fácil de ser utilizado em diferentes ambientes, os cordões de cortiça conferem mais conforto, permitindo ainda que o pequeno móvel possa ser utilizado para pessoas se sentarem ou até para servir de suporte para pratos e copos. Neste exemplo, as ideias que foram descartadas não foram representadas nas tabelas dos processos criativos.

Tabela 22 - Processo criativo do novo produto - A partir de pneus descartados – pufe.

Ferramenta	Ideia escolhida – Processo Criativo	
Brainstorming	<p>Na fase de canalização das ideias, após intensas rodadas de discussões e descarte de ideias iniciais, o time de <i>design</i> entendeu que a utilização de pneus para construção de pufes decorativos seria a melhor escolha para reutilização deste tipo de produto. O pneu praticamente não tem nenhum processo de desmontagem, salvo se algumas das carcaças descartadas estiver com as rodas juntas, o que se acredita ser raro. Portanto, não haveria grandes esforços aplicados no produto, ou seja, com certeza o processo de produção ficaria dentro dos valores máximos aceitos de deformação (encontrados na fase 01 da Abordagem). A banda de rodagem, a estrutura interna e externa e a carcaça como um todo do pneu serão reaproveitadas, garantindo 100% de reutilização do produto. Seria também um produto com fácil processo de montagem, sendo necessário somente a adição de cordões feitos de cortiça. O objetivo da utilização dos cordões é evitar que produtos sejam descartados no ambiente, ou seja, os cordões seriam confeccionados com rolhas de garrafa, sendo colocados um na sequência do outro criando uma “corda” feita de cortiça (rolhas descartadas). Trata-se de um processo mais artesanal e que demanda um tempo de ciclo superior aos demais produtos exemplificados na Abordagem, mas garante o total reaproveitamento destes produtos que seriam precocemente descartados. A ideia ainda atende ao objetivo de máxima reutilização, já que não será feito nenhum tipo de mudança estrutural no produto, permitindo a criação de novos produtos ao fim do ciclo de vida. Assim, a ideia escolhida tem como objetivo a máxima reutilização de materiais descartados, permitindo a criação de novos produtos ao fim deste novo ciclo de vida que se inicia com a criação deste pufe.</p>	

Ferramenta	Ideia escolhida – Processo Criativo	
<p><i>Opposite Thinking</i></p>	<p>Ao analisar o produto criado etapa anterior aplicando a ferramenta <i>Opposite Thinking</i>, a equipe de desenvolvimento apresentou as seguintes considerações:</p> <p>a) 100% da carcaça descartada do pneu seria reaproveitada, com todas as duas partes sendo reaproveitadas;</p> <p>b) O novo produto é um pufe para decoração, não apresentando nenhum componente/parte que possa estragar prematuramente e diminuir a vida útil do produto; portanto ao reutilizar na totalidade o produto original descartado, este novo produto atende a outro objetivo proposto nesta pesquisa;</p> <p>c) Não haveria nenhum impacto nocivo a saúde dos usuários ao utilizar este novo produto diariamente para decoração ou até mesmo para conforto, já que o pneu e os cordões de cortiça não produzem nenhum tipo de gás, líquido ou resíduo de qualquer tipo que seja prejudicial à saúde;</p> <p>d) Como se trata de um novo produto que não teria desgaste prematuro das partes e, não teria mudanças em sua estrutura, o pufe criado com certeza será um produto que poderá ser novamente utilizado, dando vida a um terceiro produto, atendendo a mais um objetivo proposto pela Abordagem <i>U-TURN</i>;</p> <p>e) Por fim, o produto seria facilmente montado e desmontado, dentro dos parâmetros máximos de força que poderia ser aplicada sem criar rupturas no material. Além disso, além das carcaças de pneus que seriam 100% reutilizadas, o processo produtivo ainda permite que rolhas de garrafa que antes seriam descartadas possam ser novamente utilizadas sem degradar o ambiente de forma desnecessária, conferindo com isto aspecto estético e de conforto ao produto.</p> <p>Portanto, a concepção desta ideia de <i>design</i> atinge todos os objetivos propostos pela abordagem <i>U-TURN</i> e será selecionada.</p>	

Fonte: O autor.

O processo criativo resultou, na etapa de *Brainstorming*, na idealização da construção de um pufe para decoração proveniente de pneus descartados. A carcaça como um todo deste pneu é reaproveitada, gerando uma nova vida ao produto, evitando assim seu prematuro descarte, principalmente para pneus que possuem um grande impacto ambiental negativo, pois se descartado incorretamente é disseminador de doenças, como a Dengue, além de possuir tempo indeterminado para se decompor, com um valor médio estimado de pelo menos 600 anos para decomposição (INMETRO, 2002). Na fase do *Opposite Thinking* foram analisados os objetivos propostos pela abordagem *U-TURN*: i) facilitar a montagem e desmontagem; e ii) manter o foco na “sobrevida” dos produtos, ficando confirmado que o novo produto os respeita, e, portanto, a ideia de *design* foi aceita para as próximas etapas do processo de fabricação. Além disso, a concepção deste novo produto leva em consideração os valores máximos encontrados na primeira Macrofase da Abordagem (potencialidade de reutilização), onde se entende que serão aplicados esforços para a produção deste novo produto muito menores que os 275 KN máximos que o produto pode suportar.

5.3.3 Projeto de produção cíclica e sustentável - Macrofase III

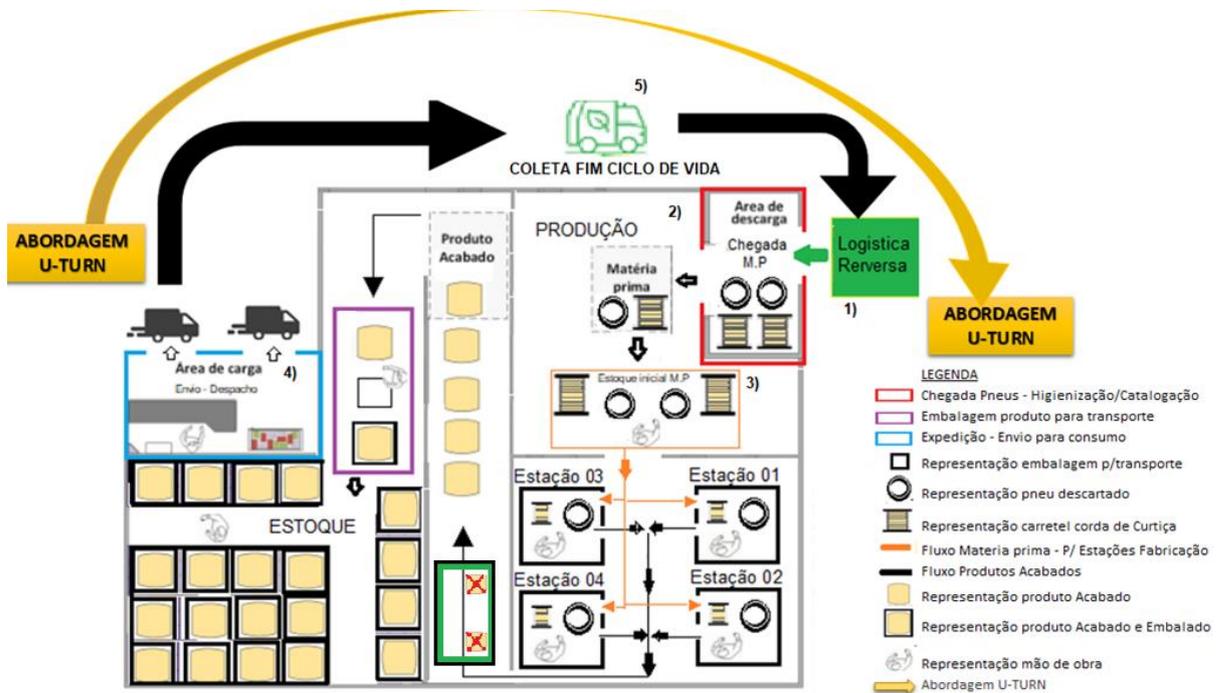
O projeto orientado para a fabricação, como nos outros experimentos anteriores, deve ser idealizado de forma sustentável e com o menor impacto ambiental possível, tendo como meta principal a geração mínima de resíduos dentro da linha de produção e possuir um processo que permita conectar toda a Cadeia de Suprimentos.

Aplicando a análise P-V para este caso experimental onde pneus serão transformados em puffes, o produto pode ser considerado popular e com baixa variedade, pois apresenta pouca alteração (variedade) entre diferentes marcas de pneus, mudando somente sua banda de rodagem (mas o tamanho será o mesmo se o aro da roda for o mesmo). Dependendo do volume de pneus recolhidos para reaproveitamento, pode ser produzido grande quantidade de puffes, entretanto seu ciclo de produção será longo, com uma produção quase artesanal. Portanto, para a reutilização dos pneus para criação de pequenos moveis para casa, a melhor opção para sua fabricação será o layout por processos.

Definido o melhor layout de fabricação, o próximo passo foi desenvolver um layout fabril específico para este tipo de produto, objetivando a máxima produção com

o mínimo desperdício possível de material. A Figura 70 mostra o layout adequado à fabricação dos pufes provenientes dos pneus descartados.

Figura 70 - Layout por processos – Produção pufes



Fonte: O autor.

Na Figura 70, a caixa verde da Logística Reversa (1) representa a primeira etapa do processo, caracterizada pelo recebimento dos pneus que foram coletados em variados pontos e enviados à planta através de uma sólida metodologia de logística reversa. A segunda etapa será executada no setor de recepção dos materiais representado por um retângulo com bordas na cor vermelha (2). Nesta etapa, todos os pneus são analisados manualmente para garantir que possam ser novamente utilizados e se forem considerados aptos para prosseguirem no processo produtivo, todos são higienizados, garantindo assim que nenhuma doença possa ser transmitida aos funcionários da empresa, como por exemplo a *Dengue* (que se prolifera em pequenas poças d'água que podem se formar nas carcaças de pneu descartadas) e armazenados no início da linha de produção identificado por um retângulo com bordas laranja (3).

A sequência de produção deve seguir as setas identificadas nas cores laranja e preta, que representam as estações de trabalho (4) que o produto precisará passar até ser liberado para a comercialização. Após passar pela higienização, os pneus são

enviados às estações de montagem juntamente com os carretéis de cordas feitas a partir da cortiça (fluxo com setas na cor laranja identificam o trajeto das matérias primas até as estações de montagem). Existem vários fornecedores atualmente que já aplicam o processo de reutilização das rolhas feitas de cortiça para confecção de cordas. Desta forma, a abordagem proposta sugere a parceria com tais empresas, fazendo a compra/troca deste tipo de material reutilizado para servir de matéria prima para confecção deste novo produto. A confecção das cordas poderia ser feita internamente, garantindo 2 produtos sendo totalmente reaproveitados. Entretanto para focar somente em 1 produto por vez nos exemplos, será considerado a compra/troca através de parcerias deste material reaproveitado.

Na etapa de montagem em cada estação, os funcionários fazem a união das cordas de cortiça com os pneus descartados. Esta união é feita através da aplicação de cola quente, conferindo resistência da corda junto ao pneu, não permitindo que a corda se solte facilmente do entorno das carcaças. Para garantir maior estabilidade ao pufe, a lateral interna do pneu onde é inserido a roda em seu uso normal precisa ser preenchida, pois se ficar um vazio pode acarretar rompimento das cordas de cortiça. Para solucionar este possível problema, na superfície onde os usuários terão contato ao se sentar nos pufes (lateral pneu), é colocado folhas de papelão reutilizado cobrindo este local vazado e ficando entre as cordas coladas e a carcaça do pneu. O pufe é montado com o pneu sendo colocado horizontalmente no chão (deitado), o lado oposto ao que está no solo recebe as cordas de cortiça transversalmente coladas com aplicadores de cola quente. Após terminar esta face, o pneu é invertido para se fazer o mesmo processo em sua outra lateral, garantindo que a totalidade do produto seja recoberta pelas cordas.

Após a etapa de montagem, os pufes finalizados são encaminhados ao setor de embalagem identificado por um retângulo com bordas roxas na Figura 70. Antes, os produtos passam testes de usabilidade, para identificar qualquer problema em sua confecção. Caso não passe por estes testes simples de qualidade, o produto retorna para as estações de montagem para reparos.

Na etapa de embalagem, os pufes recebem apenas um plástico biodegradável para ser colocado como proteção contra sujeiras, garantindo qualidade estética ao produto (identificado por um quadrado de borda preto na Figura da planta). Finalizado a embalagem, os produtos ficam em estoque (5) até serem enviados ao setor de expedição, destacado por um retângulo de borda azul (6), onde serão separados para

serem colocados nos veículos que farão o transporte até o destino, sendo lojas varejistas ou até mesmos clientes finais. Caso, ao longo da linha ocorram problemas ou erros produtivos que resultem na inutilização do produto para comercialização, deverão ser descartados no ponto de coleta, representado na Figura 70 pelo quadrado em verde com as bordas em preto. Os produtos descartados neste ponto devem ser coletados diariamente por um funcionário e encaminhados a empresas que fazem a correta coleta e destinação deste tipo de resíduo, garantindo seu destino ambientalmente correto.

Logo após o processo de higienização do produto, o com pneu que será enviado para cada estação de montagem é colocado um carretel de cordas de cortiça e etiquetas identificadoras. As etiquetas possuem um código de barras (*TAG*) e são colocadas sequencialmente em cada produto montado, sendo este identificador referente ao número que o produto tem ao longo da linha, como mostra o exemplo de adesivo na Figura 71.

Figura 71 – Adesivos – TAG.



Fonte: O autor.

Com a catalogação de todos os pneus que chegam ao processo produtivo através das *TAGs*, o sistema de gerenciamento de produção é facilitado, já que é possível sistemicamente rastrear quantos pneus estão sendo transformados em pufes e quantos precisaram ser descartados por erros produtivos ou por não estarem aptos para reutilização.

Para tornar este acompanhamento preciso, dentro de cada estação de trabalho é instalado um *scanner* de código de barras como demonstrado nos exemplos anteriores de produtos que utilizaram a abordagem *U-TURN*. Assim, toda vez que os pneus passarem pelo processo produtivo, é possível verificar o estágio de fabricação

dos pufes, sabendo quantos pneus há em transformação, quantos estão em embalagem, quantos estão prontos para expedição, entre outros. Importante salientar que na etapa de montagem as etiquetas TAG são colocadas ao final do processo em um local de fácil visualização para conferência através do scanner. Entretanto, desde o início do processo produtivo (estoque de matéria prima) a quantidade de etiquetas impressas já é feita de acordo com a quantidade de pneus que entram como matéria prima na empresa, garantindo o controle de estoque de matéria prima.

As informações relevantes dos pneus como a marca, tamanho, aro, horário de chegada na planta, condições da carcaça após higienização, entre outras, devem ser cadastradas após a etapa de recebimento através de um sistema eletrônico, como o software da ForSoft detalhado nos exemplos anteriores.

Após este cadastro, essas informações alimentam as etiquetas identificadoras (TAGs) que são colocadas nos pneus para controle da produção e por ser em tempo real, ao abrir a tela do sistema de ERP é possível identificar a quantidade de peças em cada estação de montagem, além de acompanhar todas as entradas de matéria prima e saída de produtos finalizados. A Figura 72 mostra o layout do sistema ERP da empresa ForSoft na parte de PCP (Planejamento e Controle da Produção), onde é possível identificar as quantidades de produção de pufes, datas de entrada da matéria prima, data saída do produto acabado, quantidade de carretéis de corda feita de cortiça compradas/trocadas como insumos, entre outras informações relevantes.

Figura 72 – Exemplo de Controle de ERP – Planejamento e Controle Produção – Panorama geral.

Plano de Produção	Ordem de Produção	Plano Produção	Prioridade Produção	Quantidade	Iniciada	Realizada	Conf. Programação	Outros Planos
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	43041	231	266	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40654	232	41	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40888	233	22	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	43029	234	8	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40484.01	235	37	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40023	236	2	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40725	237	12	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40600.01	238	15	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40363	239	30	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40893.01	240	117	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40838.02	241	19	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40984.01	242	3	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40666.01	243	9	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	03/01/2014	40795.02	244	18	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40709.01	245	17	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40102	246	1	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40863.01	247	8	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40721	248	1	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40160.01	249	13	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40944	250	1	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40792	252	53	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40877	252	8	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40643.02	254	3	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40488	255	4	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40733	256	2	não não não não C	Sim
27/12/2013	03/01/2014	27/12/2013	27/12/2013	40385.01	257	1	não não não não C	Sim

Fonte: ForSoft (2020).

Dessa forma, o tempo de ciclo de produção de cada produto e seu *lead time* é apresentando eletronicamente, podendo ser acompanhando pelos gestores e programadores da produção da empresa, que podem fazer intervenções quando necessário para atender uma maior demanda ou diminuir a capacidade produtiva em casos de diminuição da demanda. O mesmo controle ocorre para os pneus que foram rejeitados e não continuam na linha de produção, e são encaminhados ao setor de reaproveitamento. Assim que chegam no setor, ao passar pelo *scanner*, estas caras são automaticamente baixadas do estoque da empresa, já que serão enviadas para empresas que farão a correta destinação de resíduos.

O produto finalizado para comercialização, um *pufe* para decoração, fabricado com mínimo de resíduos ao longo de sua linha de produção e com grande apelo ecológico, já que se trata de um produto 100% remanufaturado. A Figura 73 ilustra o produto modelado no ambiente CAD do *SolidWorks* e a Figura 74 mostra duas representações de aplicação em ambiente residencial.

Figura 73 – Vista produto final – Pufe para aplicação em residências, comércios, empresas.



Fonte: O autor.

Figura 74 – Produto final – Aplicação Ambiente Simulado – Residências



(a)



(b)

Fonte: O autor.

O novo produto, ao final do ciclo produtivo, pode ser distribuído para seus consumidores finais, sendo comercializados em lojas de decoração, supermercados, shoppings. Além disso, é possível fazer a venda direta aos consumidores finais, com entrega direta (dependendo do volume de vendas).

O produto final conta com uma pegada ecológica que permite mais uma sobrevida à um produto que seria precocemente descartado, além do consumidor contar com um design moderno e que pode ser utilizado em diferentes ambientes. Além disso, o produto possui uma vida útil superior a seus concorrentes fabricados com componentes primários. Os pufes encontrados normalmente no mercado em sua maioria são revestidos internamente com pequenos pedaços de espuma ou isopor e recobertos por tecido e costurados em máquinas industriais. O grande problema é que se houver pequenos danos na estrutura destes pufes, o material de revestimento começa a se desfazer e acaba sujando os ambientes. Muitos consumidores não costumam novamente o tecido e acabam descartando o produto, ou seja, poluindo o meio ambiente. Já o pufe feito a partir de pneus confere uma vida útil maior, pois é um produto mais robusto e que não possui nenhum material granulado como revestimento. Dessa forma, mesmo que haja danos em sua estrutura externa, pode continuar a ser utilizado, sendo necessários somente pequenos ajustes estéticos para garantir que o produto esteja em perfeitas condições de uso.

Ao utilizar carcaças de pneu descartadas para construção dos pufes é possível entregar ao consumidor final um produto resistente, esteticamente favorável e ambientalmente correto. Com esta aplicação é possível dar mais uma vida útil ou sobrevida a um produto que possui tempo indeterminado para se decompor na natureza, garantindo o reaproveitamento completo deste produto.

5.3.4 Coleta de produto/material - Macrofase IV

O produto após seu ciclo de vida útil, precisará ser descartado, dando origem a última etapa da abordagem *U-TURN*, que será responsável pela logística reversa dos produtos que seriam descartados e que agora serão utilizados como matéria prima para produção de novos produtos.

Aplicando a metodologia dos 3W1H neste 3º caso experimental, temos o seguinte cenário:

- **Why** (Por quê) retornar produtos: o retorno das carcaças de pneu e rolhas de cortiça são de extrema importância, pois serão utilizados como matéria-prima para construção de um novo produto (pufe), sendo indispensáveis ao projeto. Além disso, o principal objetivo é evitar que este produto seja destinado de forma incorreta, principalmente pelas carcaças de pneu serem possíveis transmissores de doenças como a Dengue e o tempo de decomposição é indeterminado;
- **What** (O que) está sendo devolvido: são carcaças de pneu descartadas. Para o efeito desejado do novo produto (pufes), a única limitante é que as carcaças reutilizadas possuam sua parte estrutura sem grandes avarias, já que será a base de sustentação para criação do novo produto.

Como nos casos anteriores, as empresas transformadoras que optarem por utilizar a abordagem proposta em sua fabricação fazem a logística reversa motivadas pela diminuição da quantidade de resíduos descartados e, conseqüentemente, lucros com tal operação, já que sua matéria prima terá custo zero de aquisição.

O detalhamento do produto que a ser retornado é importante em relação à: i) Composição; ii) Fator de Deterioração; e iii) Padrão de uso. Quanto à composição, o importante é saber número de componentes e seus materiais além da forma como os materiais e componentes estão reunidos, pois com estas informações permitem uma visão preliminar de como serão os processos de desmontagem, higienização e classificação. A Figura 75 mostra um exemplo de composição de um pneu, modelo "Direction Sport", da marca Goodyear, utilizado neste caso experimental. Como pode ser observado na Figura 75 o produto possui somente a base aramada de sustentação recoberta pela camada de borracha tipo SBR. São praticamente 2 peças encaixadas para formar a carcaça, unindo ambas na mesma estrutura padrão.

Do ponto de vista da deterioração, a abordagem *U-TURN* foca principalmente na parte de estudo de resistência da parte externa da carcaça, na lateral do pneu (denominado ombro) através dos testes de esforços de *Von Mises*, feitos em ambiente CAD. Como foi identificado na etapa de potencialidade de reutilização para este material (1º Macrofase), este tipo de produto pode sofrer até 275 KN de força aplicada sobre este ponto em específico, sendo inutilizado caso forças superiores sejam aplicadas (haveria ruptura do mesmo). Além disso, a deterioração da carcaça que foi descartada está diretamente ligada com a forma com que tais pneus foram armazenados. Se as carcaças ficaram em local coberto, sem incidência de chuvas e

raios solares, a deterioração da carcaça será muito menor do que em os pneus que ficaram expostos ao tempo.

Figura 75 – Vista Explodida – Pneu Goodyear.



Fonte: Adaptado de Goodyear OTR (2018).

O último critério a ser analisado é o padrão de uso do produto por seu consumidor final, com relação à 4 fatores:

- i) **Localização** – os pneus são encontrados em praticamente todos os municípios onde há veículos transitando. Entretanto, cidades com maior apelo ecológico possuem centros de recebimento de carcaças de pneus descartados, auxiliando seu reuso para diversas funcionalidades;
- ii) **Intensidade** - o uso é variável para os pneus, podendo o consumidor usá-los em diferentes terrenos, além de rodar distâncias diferentes. No Brasil, segundo Gazeta do Povo (2019), a média de quilômetros rodados anualmente pelos veículos é de 13 mil quilômetros, mas a intensidade do modo de condução de cada consumidor pode diferenciar o uso do produto (maiores ou menores frenagens, arrancadas bruscas, entre outros fatores);
- iii) **Durabilidade** – Segundo a fabricante Goodyear a vida útil média de um pneu varia entre 40 a 60 mil quilômetros rodados. São diversos fatores que impactam nesta média, como a marca do pneu, tipo da borracha utilizada, padrão condução consumidor, veículo que está utilizando o pneu, entre outros, ou seja, é difícil precisar números concretos de vida útil média. O pneu ao ser reutilizado, tendo

aplicações estáticas como é o caso proposto, passa a ter uma sobrevida muito maior que seu uso rodoviário padrão;

- iv) **Tipo de Usuário** – Os pneus são utilizados por todos os consumidores que possuem veículos com rodas acopladas a pneus. Trata-se de um produto de ampla utilização principalmente em países com o Brasil, que possui grande território e conseqüentemente, com distancias significativas entre municípios, forçando a compra de veículos pela falta de transporte compartilhado satisfatório. Segundo SESNAT (2017), cerca de 450 mil toneladas de pneu são descartadas anualmente somente no Brasil, comprovando que se trata de um produto com grande público de usuários.

Tais fatores impactam diretamente na logística reserva, exigindo diferentes abordagens para garantir o retorno dos produtos aos processos produtivos com qualidade e pensando de forma sustentável.

- **Who** (Quem) está executando a logística reversa: os envolvidos neste produto em específico é: i) o consumidor, que adquiriu pneus para seu veículo e por desgaste ou problemas precisou substitui-los, descartando os pneus antigo e, ii) a empresa transformadora, que é responsável por transformar os pneus em novos produtos, fazendo toda a gestão da linha a fim de garantir novos produtos de qualidade pensando em todo o processo de forma sustentável, gerando o mínimo possível de resíduos ao longo da sua linha de transformação.

Os responsáveis e atuantes em um processo de logística reversa são classificados em 3 tipos de participantes conforme descrito no Capítulo 4. Na abordagem *U-TURN* e sua aplicação em pneus que serão transformados em pufes, os *stakeholders* presentes são classificados como atores da cadeia de suprimentos avançados.

- **How** (Como) a Logística Reversa funcionará: para este caso dos pneus, para a abordagem *U-TURN* funcionar satisfatoriamente se entende que é preciso que o usuário tenha a devolução do produto facilitada, principalmente na hora de fazer a troca por novos pneus.

Como estes produtos descartados são entregues do consumidor final à empresa produtora é fundamental para que os novos produtos possam ser fabricados de forma eficaz, e para que esta etapa seja realizada de forma satisfatória, o autor propõe que a empresa fabricante que optar por utilizar a abordagem *U-TURN* para reaproveitamento de pneus, invista nas parcerias com locais de venda de pneus, tanto

autocenters especializados em serviços para carros como supermercados, vendas online, entre outros. Assim, é possível estreitar laços com consumidores e garantir que os produtos que chegam ao seu ciclo final de vida sejam retornados às empresas. Este tipo de comunicação e fidelização dos consumidores é fundamental, pois a matéria prima para a fabricação dos novos pneus será doada ou “comprada” a custos praticamente zero, caso os consumidores façam o correto destino de seus pneus descartados.

Além de possuir locais fixos para receber estes materiais, como ocorre hoje em algumas grandes cidades (locais denominados de Ecopontos), as empresas que optarem por reutilizar este tipo de produto podem fazer parcerias com os *autocenters* e supermercados dando incentivos monetários para que os proprietários deixem seus pneus usados na própria loja. Uma forma de fazer isso é oferecer um percentual de desconto na compra dos novos pneus no caso dos pneus que estão sendo substituídos tenham o mínimo de integridade em suas carcaças.

Para o comércio online, uma opção é a utilização de um veículo (caminhão de médio porte) que faça a troca dos pneus para o usuário, ou seja, a compra é feita online dos novos pneus, e na entrega no endereço do consumidor, a troca é feita e os pneus antigos transportados para a empresa transformadora aproveitando este deslocamento para a coleta dos produtos. A empresa através de sua própria frota ou terceirizada pode criar esse fluxo de retorno, garantindo uma logística reversa concreta e que permitirá a aplicação da abordagem *U-TURN* com sucesso para reutilização de carcaças de pneus.

O autor entende que a coleta voluntária, ou seja, o cliente levar seu produto em pontos específicos para descarte, no caso dos pneus não daria certo devido ao produto ter características físicas que tornam difícil seu manuseio, por ser um produto relativamente pesado, que pode sujar superfícies e o próprio cliente. Portanto, entregas voluntárias se torna uma opção inviável ou com poucas chances de sucesso, fazendo com que a empresa responsável pelo retorno dos pneus invista na troca incentivada, dando descontos na hora da troca dos pneus dos veículos, tanto em lojas físicas como na compra *online*.

A etapa da recuperação do material é somente uma das atividades do processo da logística reversa existindo outras atividades importantes para fechar o ciclo de retorno dos produtos aos processos produtivos. Por ser uma Abordagem circular, neste caso experimental, assim como os anteriores, esta Macrofase alimenta o

processo produtivo do pufe que ao final de sua vida útil alimentará novamente Macrofase de Logística Reversa, tantas vezes quanto o material descartado suporte a remanufatura.

Esse caso experimental mostra que a Abordagem *U-TURN* proposta pode ser aplicada para diferentes tipos de produtos e materiais, garantindo que uma parcela significativa de produtos que seriam descartados prematuramente ao final de sua primeira vida útil sejam reaproveitados no processo de desenvolvimento sustentável de produtos e tenham “sobrevidas”, contribuindo para a retirada de produtos, como no caso dos pneus que têm grande impacto negativo no meio ambiente quando descartados incorretamente.

5.4. CASO EXPERIMENTAL NUMERO 04 — LENTES DE CÂMERAS FOTOGRÁFICAS

O quarto experimento consistiu na aplicação da Abordagem proposta na concepção e desenvolvimento de um novo produto reutilizando lentes de câmeras mais antigas que não possuem mais uso (Figura 76).

Figura 76 – Produto – Lentes para câmeras semiprofissionais.



Fonte: Kowa (2019).

5.4.1. Análise da potencialidade de reutilização de produtos descartados - Macrofase I

Para garantir que o produto selecionado atenda aos requisitos mínimos de resistência, foram utilizados os testes de resistência e deformidade (ensaio denominado de teste de deslocamento estático), como nos casos anteriores. Neste caso específico, como o material é feito de vidro e, portanto, se trata de um produto mais frágil, além do teste de deslocamento estático optou-se por aplicar no CAE o

teste de impacto gerado por gravidade para identificar o comportamento do produto ao receber forças e o comportamento ao ter impacto com o solo. Para a aplicação dos testes, as lentes para câmeras semiprofissionais produzidas pela fabricante *Kowa* foi modelado no Módulo *CAD* do Software *SolidWorks* utilizando as medidas reais fornecidos pelo fabricante:

- i) Diâmetro 44.0 mm x Profundidade 52.0 mm;
- ii) Peso aproximado: 0.690 kg;
- iii) Material: Vidro tipo Cristal.

Segundo Astrath (2011), o vidro óptico tipo cristal é o mais utilizado pelas empresas na fabricação de lentes de câmeras, já que este tipo de vidro possui menor tendência ao aparecimento de bolhas de ar, impurezas e pequenos filamentos que podem comprometer a qualidade das fotos geradas pelas câmeras. Por ser um tipo de vidro com alto padrão de qualidade e sem imperfeições, seu custo é maior comparado os demais tipos de vidro, entretanto para este tipo específico de uso, não é possível a utilização de vidros comuns. Portanto, para os testes aplicados no software, o produto foi modelado geometricamente utilizando-se este tipo de material (vidro tipo cristal). A Figura 77 (detalhes a, b e c) ilustra as vistas do produto modelado no CAD.

Figura 77 - Vistas do produto modelado no CAD.



a) Vista Geral do produto.



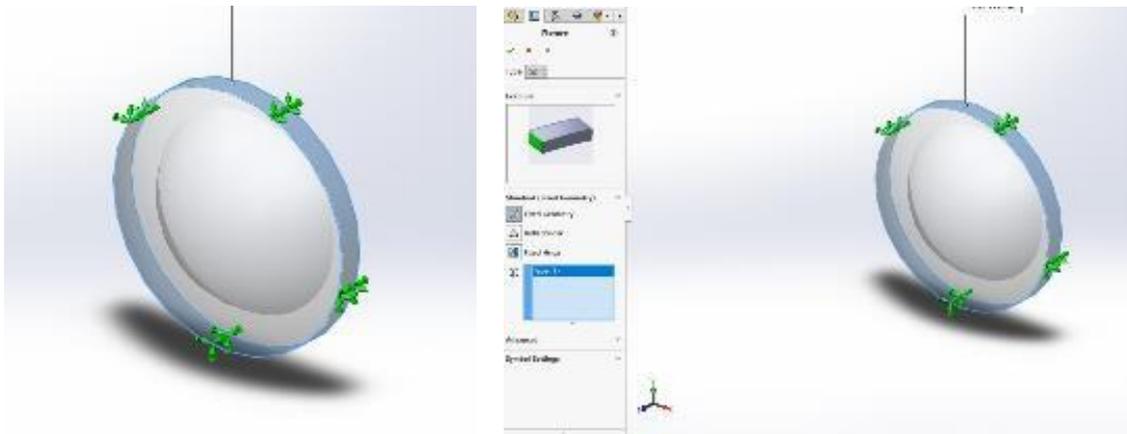
b) Vista Geral - Lente analisada.



c) Vista Geral – Somente Lentes.

Com o produto modelado no ambiente CAD, a próxima etapa foi a análise da potencialidade de sua reutilização através do teste de deslocamento estático. O ponto de fixação foi definido como uma das laterais da lente, pois trata-se do local onde o conjunto óptico tem contato para fixação das lentes. Determinando este ponto como fixo foi possível analisar o comportamento das lentes ao sofrer forças exatamente como ocorreria em uma linha de desmontagem para este tipo de produto, bem como a real potencialidade de reuso da lente. A Figura 78 apresenta o ponto de fixação definido para os testes do produto seguindo o mesmo procedimento aplicado aos casos experimentais anteriores.

Figura 78 - Ponto de Fixação – Fixação na base do suporte lente



Fonte: O autor.

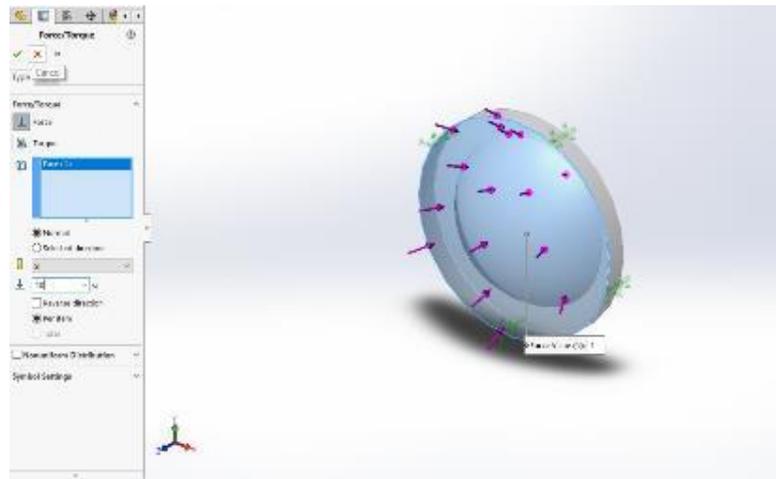
Para identificar a potencialidade de resistência e deformação do produto foram aplicados 2 diferentes níveis de intensidade de força para o teste de deslocamento estático. Para o primeiro teste o autor escolheu como intensidade o valor em força de 10 N, ou seja, em torno de 1 kg de força, considerando delicada incidência de forças em uma linha de desmontagem. Para facilitar os cálculos e entendimento da abordagem, adotou-se novamente a aceleração da gravidade com valor arredondado em módulo de 10,0 m/s². A partir deste valor inicial foi possível executar os testes e, para comparação do comportamento do produto, outra força foi aplicada com o dobro de intensidade ou intensidade de 20 N, isto é, 2 kg de força aplicada diretamente na lente.

Além disso, para comprovar possibilidade de real utilização das lentes em outros produtos, optou-se pela aplicação do teste de impacto por gravidade. Este teste

foi aplicado pois o autor entende que é preciso comprovar que este tipo de material (de natureza mais frágil) pode sofrer quedas e não ser inutilizado como matéria prima para um novo produto (premissa básica da Abordagem *U-TURN*).

Para os testes de deslocamento estático entendeu-se que o esforço sofrido pelo produto tanto na linha de montagem/desmontagem como em seu uso é máximo em sua superfície frontal, como mostra a Figura 79.

Figura 79 - Ponto de Incidências de força – Lente.



Fonte: O autor.

O local de aplicação das forças se deve a geometria da peça, ou seja, por se tratar de um produto com superfície cilíndrica, ao fixar sua superfície lateral é possível aplicar somente forças de forma frontal à sua superfície. Assim, foi possível identificar seu potencial de reutilização de forma exata com a aplicação da força em somente 1 sentido, já que o produto receberá forças iguais em sua totalidade. Dessa forma, no software foi definido o local da aplicação de 1 força na parte frontal da lente. Como é possível observar na Figura 78, a região cilíndrica sofre a maior força de incidência na hora da montagem e desmontagem. A parte interna da lente não recebeu nenhuma força, já que para sua reutilização entendeu-se que nenhuma força seria aplicada de dentro para fora da lente na hora do processo de desmontagem e montagem de um novo produto. Para saber se o material apresentará rupturas ou não ao ser aplicado os testes no software CAE, é preciso conhecer seu valor máximo de tensão, conforme mostra a Figura 80.

Figura 80 - Tensão de Ruptura do vidro – Vidro Cristal

Posição	Média [MPa]	Coef. Variação [%]
horizontal ²	13,0	19,6
vertical ²	11,0	16,1

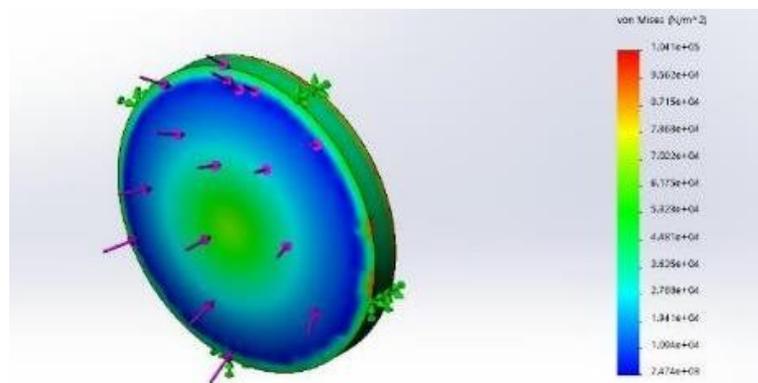
Fonte: Adaptado de Valarinho (2010).

Segundo Valarinho (2010), as variações dos valores apresentados ocorrem devido as propriedades físicas de um vidro tipo cristal, que consideram uma média ponderada das propriedades físicas dos óxidos que os constituem. Além disso, as tensões de ruptura são diferentes de acordo com a disposição física dos vidros nos locais onde são aplicados. Assim, para os testes considerou-se o menor valor, já que neste momento não se sabe como será a aplicação para o um outro produto. Como o coeficiente de variação pode ser até de 16,1% para a posição vertical, foi considerado para o estudo que a tensão máxima de ruptura para os vidros em posição vertical é de 9,24 Mpa ou $9,24 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$.

5.4.1.1 Aplicação de 10 N de força ao produto - Teste 01

Utilizando a escala de cores presente no teste de *Von Mises* do Módulo *CAE*, foi possível identificar os pontos de maior chance de ruptura e deslocamento ao aplicar os testes. A Figura 81 apresenta o teste de resistência e deformidade realizado no ambiente *CAE* para uma força de 10N aplicada frontalmente na lente de vidro.

Figura 81 - Teste de Von Mises com aplicação de 10N – Deformidade.

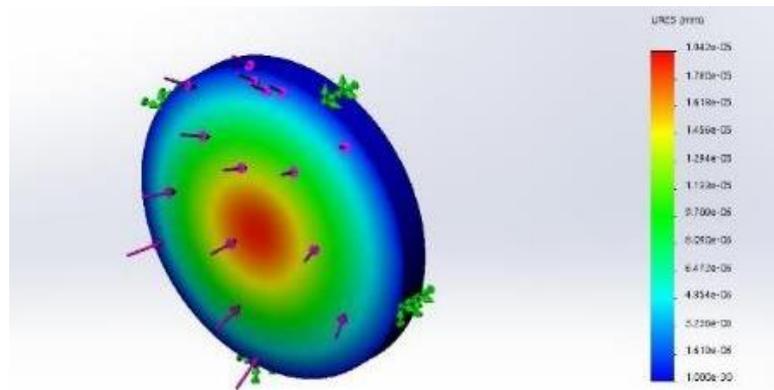


Fonte: O autor.

É observado que o produto ao passar pela aplicação da primeira força de 10 N não tem muitos impactos em sua estrutura, entretanto, na borda próxima ao local de fixação o teste mostrou que a deformidade chega até a $1,04 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Mesmo com uma aplicação muito pequena de força, tal valor ficou próximo a ruptura do material, pois, como visto, o valor máximo de tensão de ruptura para este material é de até $9,24 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$.

Em relação ao deslocamento, ao se aplicar a força de 10 N frontalmente na peça, obteve-se como resultado um deslocamento na superfície, mais especificamente no seu centro, como mostra a Figura 80. Tal deslocamento seria capaz de movimentar levemente a lente no seu ponto central, fazendo com que fosse comprimido em até a $1,34 \cdot 10^{-5} \text{ mm}$ para dentro. Como valor é extremamente pequeno, ainda não é possível identificar a olho nu tal deformação. A maior contração é exatamente no centro, representado na Figura 82 em vermelho na escala de cores representando os deslocamentos sofridos na lente.

Figura 82 - Teste de Von Mises com aplicação de 10 N – Deslocamento.

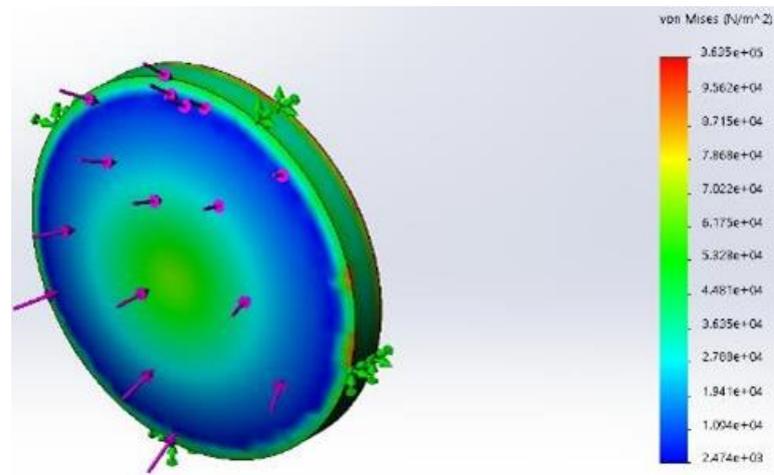


Fonte: O autor.

5.4.1.2 Aplicação de 20N de força ao produto - Teste 02

Para este teste foi utilizado o valor de 2 kg de força, ou seja, uma força de 20N de intensidade. A força continua incidindo no produto da mesma forma, isto é, 1 força na parte frontal da lente, tomando o cuidado para ser o mesmo local da aplicação do primeiro teste, permitindo uma comparação entre eles. A Figura 83 apresenta os resultados da aplicação do teste em ambiente CAE para 20N.

Figura 83 - Teste de Von Mises com aplicação de 20 N – Deformidade

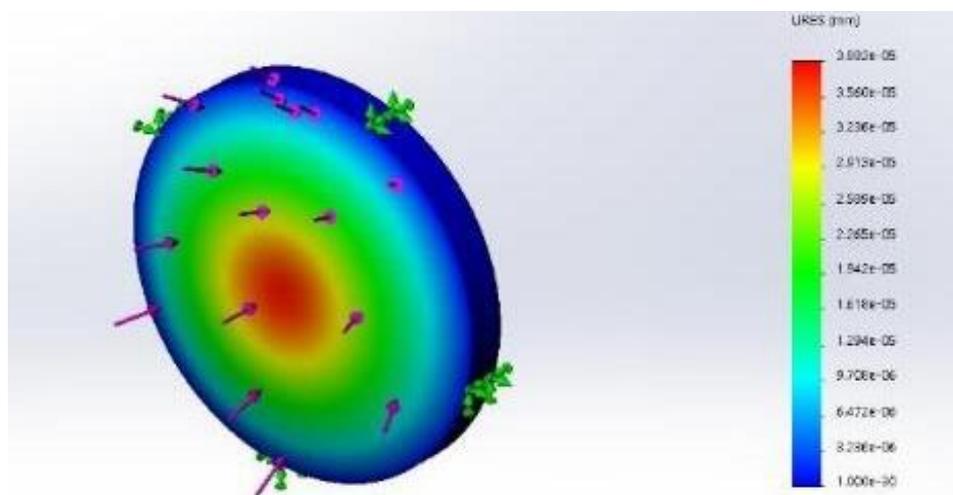


Fonte: O autor.

Para os testes com 20 N, houve uma deformidade maior na borda próxima ao local de fixação. Segundo este teste de *Von Mises* o produto ao passar pela aplicação de uma força de 20N não tem novamente impactos negativos em sua estrutura, entretanto neste ponto de junção há uma deformidade máxima de $3,65 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Esse valor, como o do teste anterior, não chega a gerar ruptura no material, mas mesmo forças muito pequenas aplicadas sobre a lente já são suficientes para fragilizá-la.

Ao se aplicar a força de 20N sobre a lente, obteve-se como resultado um deslocamento máximo de $3,80 \cdot 10^{-5} \text{ mm}$, novamente na parte central da lente, representando em vermelho na Figura 83. A Figura 84 mostra os resultados da aplicação dos testes de deslocamento.

Figura 84 - Teste de Von Mises com aplicação de 20 N – Deslocamento.



Fonte: O autor.

Como mostra a Figura, tal deslocamento é capaz de comprimir levemente a lente para dentro, mas sem causar nenhum tipo de ruptura. Com um valor tão pequeno é impossível observar a olho nu o deslocamento ao se aplicar a força de 20N, mostrando que a aplicação de forças até 2kg de intensidade não provocam deslocamentos consideráveis à lente, entretanto já sensibilizam a peça.

5.4.1.3 Discussão dos testes (10 e 20 N estáticos)

A aplicação das forças de 10 e 20, respectivamente, não causam deformações significativas no produto, entretanto, é importante destacar que 2 forças de pouca intensidade já causaram deformidades consideráveis na estrutura da lente. Considerando o valor máximo para ruptura de 9,24 Mpa ou $9,24 \cdot 10^6$ N/m² do vidro tipo cristal, o material não chega a sofrer ruptura e rompimento somente aplicando estas forças, o que mostra que para o teste de deslocamento estático o produto pode ser reaproveitado. Entretanto, é importante salientar que o produto precisa ser cuidadosamente desmontado e montado para garantir que não será quebrado ao longo do processo, sendo aplicados forças próximas a 20 N como máximo de intensidade (2 kg de força). A Tabela 23 mostra o resumo dos 2 testes ao qual o produto foi submetido no ambiente de simulação de deformações do *software SolidWorks*, mostrando como o produto se porta recebendo as forças de 10 e 20N.

Tabela 23 - Resumo dos Testes de simulação aplicados ao produto no *SolidWorks*.

Testes de Simulação – Descolamento Estático no <i>SolidWorks</i>				
Força Aplicada	Testes de <i>Von Mises</i>	Deslocamento	Ruptura do Material	Estado do Produto
10 N	$1,04 \cdot 10^5$ N/m ²	$1,34 \cdot 10^{-5}$ mm	Não	Ok
20 N	$3,65 \cdot 10^5$ N/m ²	$3,80 \cdot 10^{-5}$ mm	Não	Ok

Fonte: O autor.

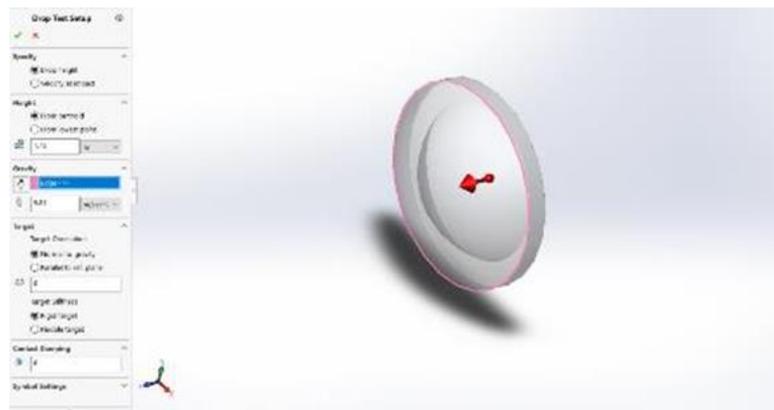
As análises dos resultados das imagens e dados obtidos na simulação mostram que o produto selecionado para o experimento tem potencial para a reutilização nos ensaios de deslocamento estático, uma vez que a aplicação de forças de baixa intensidade não resulta em ruptura do material. Porém, deve-se ter cuidado e atenção para identificar o melhor uso para este produto, já que se for submetido a esforços com forças um pouco maiores pode causar quebra imediata das lentes.

Sabendo disso, o autor entende que somente o teste de deslocamento estático para este tipo de material não é suficiente para comprovar sua real potencialidade de reutilização. Como o material é frágil (vidro), o autor aplicou mais um teste de resistência, denominado de teste de impacto por gravidade. Este teste também é feito em ambiente *CAE*, identificando como é o comportamento do material ao ter um impacto direto com superfícies sólidas, isto é, quando cai de uma determinada altura,

5.4.1.4 Aplicação Teste de Impacto – 1,74 m

O objetivo principal do teste de impacto é conhecer o comportamento das lentes ao sofrerem quedas. A primeira informação a ser adicionada ao software para o teste é demonstrar qual será a face que sofrerá impacto com o solo, como mostra a Figura 85.

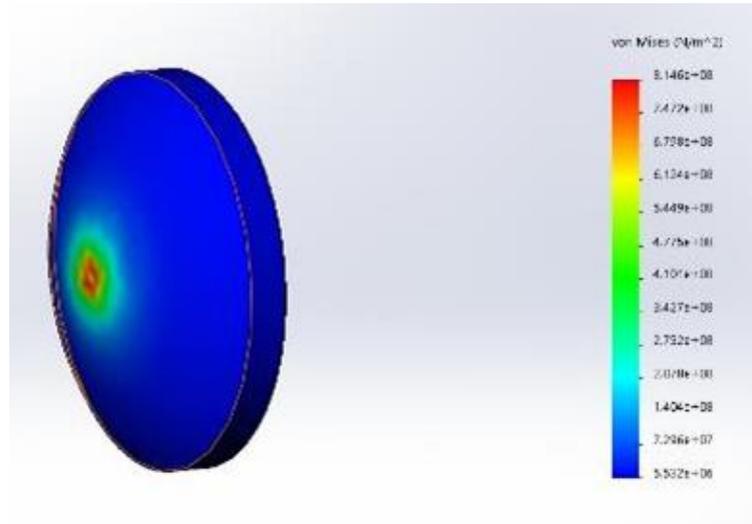
Figura 85 - Teste Impacto – 1,74 metros de altura.



Fonte: O autor.

A segunda informação a ser inserida é a altura da queda que o objeto sofrerá. Neste teste, foi considerado a altura de queda com o valor de 1,74 metros. Este valor foi considerado, representando uma pessoa de 1,94 metros manipulando a lente em suas mãos na altura do seu peito e deixasse a lente cair no chão, portanto foi considerado que a distância entre o topo de sua cabeça até a altura de seu peito é de 20 cm, o que resulta em uma altura para o impacto de 1,74 metros. Considerou-se a altura acima da média brasileira, 12% maior (IBGE,2019), para simular uma queda maior, com maior impacto e conseqüentemente uma análise mais próxima do limite de quebra/ruptura. Com este dado inserido no modulo, o sistema *CAE* retorna os resultados de deformidade e deslocamento, mostrados nas Figuras 86 e 87 respectivamente.

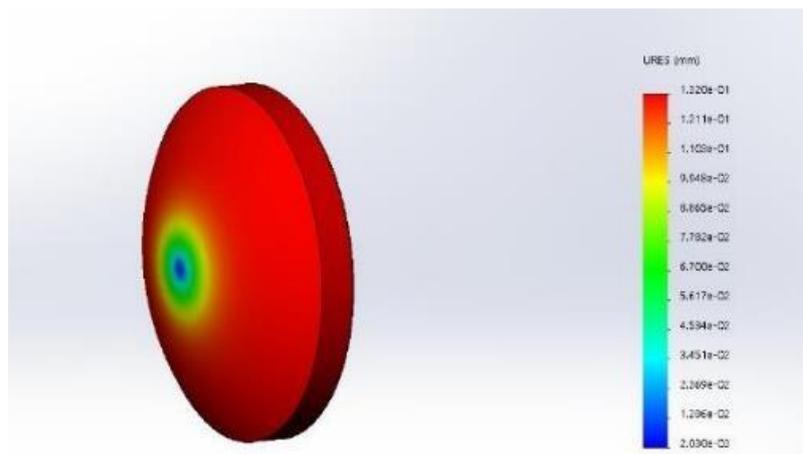
Figura 86 - Teste Impacto – 1,74 metros – Deformidade.



Fonte: O autor.

É observado que o produto ao passar pela queda desta altura apresenta significativa deformidade sofre ruptura do material em seu centro, demonstrado pela cor vermelha na Figura. Isso ocorre devido a deformidade máxima atingir até a $8,14 \cdot 10^8$ N/m², valor muito superior aos $9,24 \cdot 10^6$ N/m² que este tipo de material pode suportar.

Figura 87 - Teste Impacto – 1,74 metros – Deslocamento.



Fonte: O autor.

Com relação ao deslocamento, ao se chocar com o solo de uma altura de 1,74 metros, obteve-se como resultado um deslocamento máximo de 0,12 mm que gera uma ruptura completa da lente, em toda a sua superfície circular.

Portanto, o produto ao passar pelo teste de impacto se mostrou inapropriado para ser reutilizado, conforme mostra a Tabela 24. Dessa forma, a resposta da etapa do processo decisório é “não”, o produto não pode ser reaproveitado como matéria prima para o desenvolvimento de um novo produto.

Tabela 24 - Resumo do Teste de Impacto – *SolidWorks*.

Testes de Simulação – Impacto por gravidade - <i>SolidWorks</i>				
Altura	Testes de Von Mises	Deslocamento	Ruptura do Material	Estado do Produto
1,74 metros	$8,14 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$	0,12 mm	Sim	Danificado

Fonte: O autor.

Como este produto foi recusado e não poderá seguir para as próximas etapas da Abordagem *U-TURN* é preciso seguir o correto fluxo de destinação desta amostra, conforme é demonstrado na Figura 19 da Macrofase I no Capítulo 4. Dessa forma, nesta etapa é preciso definir uma destinação final adequada para a lente de vidro, que neste estágio após os testes de deslocamento estático e de impacto, encontra-se totalmente estilhaçada.

Segundo a Abividro (Associação Brasileira das Indústrias de Vidro – 2019) há várias formas de se aproveitar estilhaços ou até mesmo o pó de vidro. Este material descartado pode ser utilizado novamente em processos fabris para produção de novos tipos de ligas de vidro, dando origem a diversas aplicações, desde enfeites para decoração até unhas postiças para aplicação de manicures. Além disso, este vidro descartado mesmo que totalmente fragmentado pode ser amplamente utilizado em empresas que criam fibras de vidro. A fibra de vidro possui grande leque de aplicações, sendo possível a fabricação de carcaças externas para veículos de corrida ou *off Road* (jipes de trilha) ou até mesmo aplicação para construção de tanques para empresas, caixas d’água para residências. Diante disso, o material será destinado para empresas recuperadoras de vidro, espalhadas por todo o país. Para Curitiba - PR, o local chamado “*Eskann Reciclagem*” recebe este material gratuitamente e ainda, dependendo do volume, pode fazer a coleta gratuitamente no local, já que se trata de um material com valor agregado e que pode ser revendido pela empresa *Eskann* para outros mercados consumidores.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A revisão sistemática da literatura juntamente com a análise do conteúdo permitiu identificar as mais recentes pesquisas e autores relevantes para a área de Processo de Desenvolvimento Sustentável de Produto que utilizam produtos descartados ou partes deles como matéria prima para a criação de um novo produto.

O resultado das buscas em Bases Científicas no Portal da CAPES teve como resultado inicial de 11.762 artigos selecionados, sendo necessário a aplicação de critérios de inclusão e exclusão para identificação dos artigos mais aderentes ao tema de pesquisa, resultando na seleção de 127 artigos. Esses artigos foram analisados usando a simultaneidade como critério de exclusão, uma vez que apresentam um conteúdo mais completo com um maior nível de conhecimento, complexidade e domínio dos assuntos relativos ao tema da pesquisa, que acabou sendo selecionados 31 artigos. Os artigos, então, foram submetidos a nova análise onde foram atribuídos pesos ponderados para cada grupo, de acordo com seu grau de aderência por meio da simultaneidade entre grupos, resultando em 13 artigos considerados os mais relevantes, como descrito em detalhes no item 3.1.6, sendo validado por meio de uma análise de regressão. A análise do conteúdo relevante selecionado mostrou que as pesquisas se concentravam em problemas específicos e, neste contexto, a abordagem *U-TURN* proposta apresentou-se como uma nova perspectiva para processo integrado de desenvolvimento de produtos sustentáveis levando em conta todo o processo produtivo, desde sua fase de projeto até o fim do ciclo de vida do produto, podendo ser aplicado em diferentes tipos de produtos.

A Abordagem *U-TURN* proposta é composta de 4 Macrofases e no final da Macrofase I existe um processo decisório, que baseado em resultados de teste de *Von Mises* de deformidade e deslocamento, decide a potencialidade de reutilização do material e sua aprovação para as próximas Macrofases. Os testes de *Von Mises* aplicados são definidos de acordo com o tipo de material do produto e por isso, além dos testes de deslocamento de deformidade pode ser necessário a aplicação de testes adicionais antes do processo decisório. Vale ressaltar que no caso de um material ser recusado em sua potencialidade de reutilização no processo decisório, mas possuir um alto valor agregado, é pertinente a sua passagem pela Abordagem outra vez, pois neste caso, o produto pode ser previamente desmontado e, somente a parte do produto em que se tem interesse passa pelos testes que determinam sua

potencialidade de aproveitamento que determinará seu prosseguimento ou não para as próximas Macrofases.

Quatro casos experimentais foram utilizados para a aplicação da Abordagem proposta, com 3 diferentes tipos de produtos descartados que originaram 3 novos produtos. No primeiro caso experimental, televisores LED de 32” descartados foram utilizados como matéria prima e transformaram-se, por meio da aplicação da Abordagem proposta, em luminárias fixas, de aplicação doméstica ou industrial. Este caso mostrou que a Abordagem assegura um processo de desenvolvimento sustentável de produto, pois garante que grande parte dos televisores que chegarem ao fim de seu ciclo de vida e que seriam descartados, retornem para as empresas que, utilizando a Abordagem *U-TURN*, desenvolvam e fabriquem as luminárias, assegurando mais um ciclo de vida a produtos que seriam simplesmente descartados. Além disso, propõe a participação de todos os *stakeholders* no processo criativo, facilitando a análise dos requisitos de desenvolvimento e manufatura, tornando todo o processo de concepção e desenvolvimento mais integrado e conciso.

O segundo caso experimental focou na abordagem circular da proposta, onde um produto pode retornar ao ciclo produtivo através da aplicação da Abordagem *U-TURN* quantas vezes estiver apto para reutilização, permitindo, dessa forma, que um só produto possua o potencial de várias sobrevidas, evitando seu descarte prematuro. Neste contexto, este experimento aplicou a Abordagem na concepção e desenvolvimento de um novo produto após o fim do ciclo de vida da luminária fixa que foi feita a partir de televisores tipo LED descartados do caso anterior. As luminárias ao fim de sua vida útil foram coletadas e entraram no processo produtivo de um novo produto, as pastas para arquivamento de projetos/documentos. Ao utilizar a parte externa da luminária como base para a criação da pasta de projetos, foi possível criar um produto resistente, leve, com um novo design. Assim, este caso mostrou que produtos podem ter mais de uma sobrevida e neste caso, um mesmo produto base - televisor LED- pode ser transformado, antes de ser precocemente descartado.

A terceira aplicação da Abordagem *U-TURN* reutilizou pneus descartados na concepção, desenvolvimento e manufatura de um novo produto – o pufe para decoração de ambiente. Neste caso experimental, o produto tem abordagem ecológica, pois é 100% reciclado utilizando além dos pneus descartados, rolhas de garrafas de vinho e papelão reciclado. Somado a isso, o produto possui uma vida útil superior a seus concorrentes fabricados com componentes primários pelo tipo de

material empregado em sua fabricação. Adicionalmente, neste caso desenvolveu-se um sistema fabril com *layout* de processos mostrando a versatilidade de aplicação da abordagem.

A transformação das carcaças de pneus em pufes decorativos atende a premissa de que a abordagem foi idealizada com o objetivo de satisfazer o processo de desenvolvimento de produtos diversificados e não somente produtos eletrônicos. Este caso experimental permitiu entregar ao consumidor final um produto resistente e estilizado oferecendo mais uma vida útil ou sobrevida a um produto que possui tempo indeterminado para se decompor na natureza.

O quarto e último caso experimental demonstrou como a abordagem se comporta quando um produto não consegue passar por todas as suas Macrofases. A lente de câmera fotográfica ao passar pela primeira Macrofase da Abordagem não apresentou potencialidade de reutilização. O principal motivo para a reprovação nesta etapa foi as propriedades físicas frágeis e, ao ser submetido ao teste de resistência adicional, denominado de teste por gravidade, ficou comprovado que o produto ao cair de uma altura de aproximadamente 1,74 metros seria totalmente destruído. Dessa forma, este caso pode demonstrar a proposta que a abordagem propõe quando o produto não consegue prosseguir, canalizando os esforços de seus usuários a fazer a correta destinação das amostras recusadas.

Nos casos experimentais desenvolvidos houve pouco ou nenhum retrabalho ao longo das linhas de produção idealizadas, mas produtos mais complexos, com diferentes geometrias, dificuldades de desmontagem, fragilidade de componentes, podem necessitar de retrabalho. Entretanto, essa possibilidade foi contemplada na abordagem, indicando os passos a seguir nestes casos específicos. Ao longo das linhas de produção criadas, todos os possíveis resíduos produzidos devem ser encaminhados para o setor de reaproveitamento para destinação adequada, podendo gerar, ainda, receita e/ou parceria para o fornecimento de embalagens para novos produtos. Dessa forma, pode-se considerar que os resultados obtidos nos experimentos mostraram que a abordagem *U-TURN* tem potencial de aplicação no processo de desenvolvimento de produto reutilizando resíduos, contribuindo de forma significativa para tornar o ciclo de desenvolvimento de produto com viés sustentável.

Ao analisar a abordagem criada, foi possível observar os seguintes pontos positivos:

- Idealização de ciclos produtivos mais adequados, desde sua fase de projeto (*design* produtos) até o fim do ciclo de vida e retorno do produto;
- Versatilidade de aplicação, podendo ser explorado para diferentes categorias de produtos, ramos industriais e tipos de materiais;
- A abordagem foi estruturada de forma a ser compreensível por diferentes tipos de usuários, garantindo a reutilização efetiva do material/produto descartado em um novo ciclo de produção orientado às premissas sustentáveis.

Dos pontos listados como positivos destaca-se como diferencial neste tema o fato de ser uma metodologia híbrida, que possa ser aplicada em diferentes tipos de empresas, permitindo que profissionais de diferentes níveis culturais possam compreender as premissas a serem seguidas.

Além dos pontos positivos, foi identificado também que a abordagem possui pontos que precisam ser trabalhados para assegurar sua continuidade. Destes pontos limitantes, destaca-se a não aplicação para todo tipo de produto, como mostrou o quarto caso no Capítulo 5. Outro ponto que necessita de melhoria é a exploração de diferentes produtos descartados e combinados para serem matérias primas na concepção, desenvolvimento e manufatura de um único produto final, ou ainda, como base para diferentes produtos finais. Além disso, existe a necessidade de criação de biblioteca padrão de partes/peças, que facilitará o projeto de novos produtos dentro da Abordagem proposta. Outro ponto limitante seria o fato de que se tratam de produtos reutilizados, então as empresas que aplicarem a abordagem proposta não conseguiriam alcançar certos níveis de qualidade e padronização, já que a matéria prima não será uniforme e nem com qualidade padrão, podendo apresentar defeitos nos produtos finais. Ou seja, a qualidade do produto feito pela abordagem *U-TURN* não pode ser comparado com produtos novos, feitos de matéria prima primária.

Com relação as limitações encontradas na análise do conteúdo das 13 pesquisas filtradas, em resumo, estas possuem as seguintes limitações que foram utilizadas para a concepção da abordagem *U-TURN*, são elas:

- As pesquisas de Park *et al.* (2009), Ometto *et al.* (2009), Zeng *et al.* (2014) e Zaman *et al.* (2015) possuíam como limitante a não apresentação de ideias para reutilização e reaproveitamento resíduos como matéria prima na produção de novos produtos. Com a abordagem criada os usuários possuem um passo a passo detalhado de como proceder na transformação de materiais que seriam descartados para concepção de novos produtos;

- As pesquisas de Amer *et al.* (2011), Rahe (2013), Short *et al.* (2013), Levi *et al.* (2015), Guarnieri *et al.* (2016), Ordoñez *et al.* (2016), Giannetti *et al.* (2017) e Stromberg *et al.* (2019) não apresentavam fluxograma de fácil entendimento para a concepção de novos produtos através reutilização de materiais descartados. Neste sentido, a Abordagem *U-TURN* apresenta 4 Macrofases construídas com linguagem simples e de fácil entendimento, permitindo que pessoas de diferentes níveis culturais possam aplicá-la;
- A pesquisa de Li *et al.* (2017), apresenta um fluxograma para transformação e reutilização de resíduos, mas como limitante sua ideia possui foco exclusivo para aplicação em produtos eletrônicos. A Abordagem *U-TURN* proposta é mais flexível, permitindo que diferentes empresas com variados tipos de produtos apliquem a abordagem em seus processos de desenvolvimento, como foi mostrado nos casos experimentais (pufe feito com carcaças de pneus, televisores LED sendo transformados em luminárias e pasta de armazenamento de projetos).

A Abordagem *U-TURN* proposta visa o máximo reaproveitamento de resíduos, que normalmente seriam descartados em aterros sanitários, para serem utilizados na concepção e desenvolvimento de novos produtos constituídos de matéria prima reaproveitada. A principal ideia da abordagem *U-TURN* é não ter gastos excessivos para transformação dos novos produtos, visando economia de processos, energia, recursos e tempo. Desta forma, com mínimas inserções de novos elementos é possível a criação dos novos produtos, sendo esta característica um pilar fundamental para propor um processo de desenvolvimento de produtos com viés sustentável.

Portanto, a abordagem *U-TURN* não tem a intensão de concorrer com modelos tradicionais de processo de desenvolvimento de produtos, visto que seus objetivos e resultados são distintos, não permitindo comparações ou concorrência.

7 CONCLUSÃO E PESQUISAS FUTURAS

7.1 CONCLUSÃO

Esta pesquisa discutiu inicialmente o crescente aumento da quantidade de resíduos descartados anualmente em todo o mundo, processos produtivos que foquem na reutilização de materiais se tornam não só importantes, mas essenciais. A partir deste estudo, foi possível propor a Abordagem *U-TURN* desenvolvida propondo um processo integrado de desenvolvimento com foco sustentável de produtos baseado na reutilização de materiais, estruturando todo o processo produtivo, desde sua fase de projeto até o fim do ciclo de vida do produto, para o reaproveitamento de diferentes materiais/produtos descartados como matéria-prima.

A revisão sistemática da literatura juntamente com a análise do conteúdo, objetivos específicos 1 e 2 desta pesquisa, forneceram um panorama abrangente sobre o tema da pesquisa e contribuíram para a ampliação e entendimento dos conceitos, abordagens, tecnologias, metodologias e suas aplicações. Tais conceitos foram exploradas nas mais recentes e relevantes pesquisas em processo de desenvolvimento sustentável de produtos utilizando produtos descartados como matéria prima, de acordo com várias etapas de filtragem das contribuições consideradas mais relevantes para o tema estudado. Após a análise do conteúdo relevante selecionado, ficou claro que as pesquisas não abordam na sua totalidade os requisitos exigidos num processo de desenvolvimento de produto (PDP) de forma global, mas se concentram em problemas específicos como tipo de material e/ou produto. Dessa forma, ficou evidente de que era necessário explorar com profundidade novas perspectivas em busca de soluções para o uso de resíduos no processo de desenvolvimento de produto.

A abordagem *U-TURN* desenvolvida, objetivo específico 3 da pesquisa, apresenta conceitualmente uma nova perspectiva cíclica oferecendo uma compreensão mais robusta sobre o Processo de Desenvolvimento de Produtos com foco sustentável utilizando materiais/produtos descartados como matéria-prima, incorporando o conceito do tripé de sustentabilidade na linha de produção, focando na redução do consumo de recursos naturais. Por ser uma abordagem cíclica é possível abranger a fabricação com foco na reutilização máxima de materiais descartados, permitindo que o mesmo material tenha dois ou mais novos ciclos de vida evitando seu descarte prematuro em aterros sanitários.

Os casos experimentais desenvolvidos corroboraram a potencialidade da Abordagem de concepção, desenvolvimento e manufatura de produtos reutilizando materiais descartados como matéria prima, atendendo o objetivo específico 4 da pesquisa. Os casos experimentais mostraram a Abordagem *U-TURN* aplicada em 3 diferentes tipos de produtos descartados que originaram 3 novos produtos sustentáveis. A aplicação da Abordagem em 1 único produto - televisores tipo LED - gerou o desenvolvimento de 2 novos produtos – uma luminária LED e uma pasta para arquivamento de projetos - aumentando em 200% a sobrevida de um mesmo material, mostrando a circularidade da proposta, onde um só produto tem o potencial de várias sobrevidas, evitando seu descarte prematuro. No caso experimental onde pneus foram transformados em pufes a premissa de que a abordagem foi idealizada para atender o processo de desenvolvimento com foco sustentável de produtos é diversificado e não foca somente produtos eletrônicos foi corroborada. E o quarto e último caso experimental demonstrou como a Abordagem se comporta quando um produto não consegue passar por todas as suas Macrofases, canalizando os esforços de seus usuários a fazer a correta destinação das amostras. Todos os produtos desenvolvidos permitem que uma parcela significativa de materiais que seriam descartados prematuramente ao final de sua primeira vida útil sejam reaproveitados e tenham “sobrevidas”, contribuindo para a retirada de produtos que impactam negativamente o meio ambiente quando descartados incorretamente.

A resposta da questão problema de pesquisa apresentada no Capítulo 1 é positiva, pois de acordo com os resultados obtidos, foi possível conceber a Abordagem Conceitual *U-TURN* que permite o desenvolvimento de produtos baseados na reutilização de materiais descartados (resíduos), considerando o processo desde a fase de design até o fim de seu ciclo de vida com foco sustentável. É preciso ressaltar que embora os resultados obtidos sejam promissores, o foco da Abordagem desenvolvida é no reaproveitamento de materiais/produtos descartados como matéria prima para o desenvolvimento sustentável de produtos e não é concorrente de PDPs tradicionais que não levam em consideração o processo de reutilização de materiais. A Abordagem *U-TURN* tem foco no desenvolvimento sustentável e, dessa forma, pertence a um outro nicho de mercado, focado a um público mais consciente dos problemas ambientais e com viés de consumo responsável, que consome produtos ambientalmente corretos pensando na preservação e sustentabilidade do planeta.

Os diferenciais inovadores da Abordagem desenvolvida nesta pesquisa se apresentam na forma de:

- inclusão no processo de desenvolvimento com foco sustentável de produto na perspectiva do reaproveitamento de material descartado, desde sua fase de projeto até o fim do ciclo de vida do produto;
- possibilidade de aplicação em diferentes categorias de produtos e tipos de materiais;
- abordagem cíclica para apoiar a produção contínua e com foco sustentável;
- estruturação de forma a ser compreensível por diferentes tipos de usuários, garantindo a reutilização efetiva do material/produto descartado em um novo ciclo de produção;

A principal vantagem da aplicação da abordagem *U-TURN* é o foco na diminuição do uso de recursos naturais para concepção de novos produtos, já que a abordagem foca na mínima alteração estrutural da matéria prima (produtos descartados) na hora de transformá-los em novos produtos. Além da diminuição/erradicação do uso de matéria prima primária, há também economia em processos, consumo de energia, tempo de ciclo (dentro da linha). A aplicação da Abordagem *U-TURN* no desenvolvimento com foco sustentável de produtos auxilia no alcance da sustentabilidade no processo produtivo além de permitir que todos os envolvidos na cadeia produtiva (*stakeholders*) estejam conectados, proporcionando assim uma maior eficiência requerida em todos os processos.

7.2 PESQUISAS FUTURAS

Para a continuidade da pesquisa sugere-se o aprofundamento da Abordagem na expansão de sua aplicação em uma maior gama de produtos. Além disso, pode-se também explorar o reaproveitamento de diferentes produtos descartados e combinados para serem matéria prima na concepção, desenvolvimento e manufatura de um único produto final, ou ainda, como base para diferentes produtos finais.

Além disso, para ter uma análise mais completa com relação a aceitabilidade destes produtos remanufaturados ao serem inseridos no mercado consumidor, se torna imprescindível a criação de pesquisas de público alvo para cada produto criado, bem como pesquisas de preço sugerido para venda, de acordo com a realidade do nicho de mercado ao qual estes novos produtos estarão inseridos.

7.3 PUBLICAÇÕES

Complementando os resultados obtidos com a pesquisa, 2 artigos científicos foram publicados:

- 1) “***Determination of key references on product development using discarded materials***” publicado na Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento. Esse artigo apresenta uma revisão sistemática e análise do conteúdo rigorosa para determinar as pesquisas e autores relevantes e recentes que estão impactando o desenvolvimento de produtos construídos e/ou remanufaturados utilizando materiais descartados ou resíduos. A pesquisa mostra como resultado a filtragem de 13 artigos os quais representam a base de conhecimento para construção de novas abordagens neste tema de estudo;
- 2) “***Preliminary product development approach for discarded materials reuse – U-TURN approach***” publicado no *2nd World Symposium on Social Responsibility and Sustainability*. Esse artigo propõe uma abordagem conceitual para o desenvolvimento sustentável de produtos reutilizando material descartado com o objetivo de reduzir a produção de resíduos ao longo da cadeia de produção bem como a extensão da vida útil do produto original. Nele foram demonstrados em detalhes como o processo produtivo deveria ocorrer, desde a fase da logística reversa de retorno até a expedição do novo produto criado de forma sustentável. Para alcançar este objetivo, o autor descreve 4 Macrofases a serem seguidas por usuários da abordagem.

REFERENCES

- ABRAMOVAY, R.; SPERANZA, J. S.; PETITGAND, C. Lixo zero: gestão de resíduos sólidos para uma sociedade mais próspera. São Paulo: Instituto Ethos, 2013.
- ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017. 8^o ed. São Paulo. Abelpre. 2018.72p. Acesso em: august 2018.
- ABREU, L. B. Aproveitamento de Resíduos de Painéis de Madeira Gerados pela Indústria Moveleira na Produção de Pequenos Objetos. Revista *Árvore*. Vol. 33, n. 1, p.171-177. Viçosa, MG. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v33n1/v33n1a18.pdf>>. Acesso em: 15 oct. 2018.
- ADVANCED. One Advanced - Increase business efficiency with an ERP system. Disponível em: <https://www.oneadvanced.com/solutions/enterprise-resource-planning> > :Acesso em: 05 nov. 2019.
- AJAYI, S. O.; OYEDLE, L.O.; Policy imperatives for diverting construction waste from landfill: Experts' recommendations for UK policy expansion. *Journal of Cleaner Production*, United Kingdom, 18 jan. 2017. 147, p. 57-65. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 09 feb. 2018
- AKOBENG, AK. Understanding systematic reviews and meta- -analysis. *Arch Dis Child*. 2005;90:845-8.
- ALI, H.; NORAZIAH, A.;RASHID A.; MAZNAH, I.; SHAHARUDDIN, A.; SARIFAH, Y. Solid waste management and the Willingness to pay for improved services towards achieving sustainable living. *Advances in natural and applied sciences*, Malaysia, 01 jan. 2012. 6 (1), p. 52-60. Disponível em: <<http://ISSN 1995-0772>>. Acesso em: 09 feb. 2018
- ALI, H.; NORAZIAH, A.;RASHID A.; MAZNAH, I.; SHAHARUDDIN. Waste prevention and life cycle assessment in municipal solid waste management towards sustainable environment. *Advances in natural and applied sciences*, Malaysia, 01 jan. 2012. 6 (1), p. 85-93. Disponível em: < <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-radiation-research-and-applied-sciences/call-for-papers/special-issue-on-advances-in-natural-and-applied-sciences>>. Acesso em: 10 feb. 2018.
- ALMEIDA, C.M.V.B. Material selection for environmental responsibility: the case of soft drinks packaging in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, Brazil, 05 maio 2016. 142, p. 173-179. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 06 feb. 2018.
- ALMEIDA, C.M.V.B.; RODRIGUIS, A.J.M.; AGOSTINHO, B.F.; GIANNETTI, B.F. Application of exergy-based approach for implementing design for reuse: The case of microwave oven. *Journal of Cleaner Production*, Brazil, 08 set. 2017. 168, p. 876-892. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. :Acesso em: 03 feb. 2018.
- ANDERSON, D.M. *Design for Manufacturability: How to Use Concurrent Engineering to Rapidly Develop Low-Cost, High-Quality Products for Lean Production*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2014.
- ANDREOLA, F.; SOUZA, M.T; ARCARO, S.; OLIVEIRA, T.M.N.; WERMUTH, T.B.; RODRIGUES, N.J.B. Recycling of industrial wastes in ceramic manufacturing: State

- of art and glass case studies. *Ceramics International*, Italy, 01 jun. 2016. 42, p. 13333-13338. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/ceramint>>. Acesso em: 09 feb. 2018.
- ANDREWS, D. The circular economy, design thinking and education for sustainability. *Local Economy: The Journal of the Local Economy Policy Unit*, v.30, n.3, pp.305-315, 2015.
- ANTQUEVES, L. M. C. A EDUCAÇÃO AMBIENTAL E ATIVIDADES LÚDICAS: UM INCENTIVO A MUDANÇA DE HÁBITOS NA GERAÇÃO DE LIXO. REMOA/UFSM - Revista Monografias Ambientais, Santa Maria, RS, ano 2015, v. 14, n. 2, p. 1-15, 3 ago. 2015. DOI <https://doi.org/10.5902/2236130818806>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/index.php/remoa/article/view/18806>. Acesso em: 2 out. 2020.
- APRIANTI S, E. A huge number of artificial waste material can be supplementary cementitious material (SCM) for concrete production: a review part II. *Journal of Cleaner Production*, Malaysia, 13 jan. 2016. 142, p. 4178-4194. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 02 feb. 2018.
- APRIANTI, E.; PAYAM, S.; SYAMSUL, B.; JAVAD, N. Supplementary cementitious materials origin from agricultural wastes: A review. *Construction and Building Materials*, Malaysia, 09 nov. 2014. 74, p. 176-187. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/conbuildmat>>. Accessed 09 feb. 2018.
- ARDENTE, F.; MATHIEUX, F.; RECCHIONI, M. Recycling of electronic displays: Analysis of pre-processing and potential ecodesign improvements. *Resources, Conservation and Recycling*, Italy, 08 out. 2014. 92, p. 158-171. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/resconrec>>. Acesso em: 09 feb. 2018.
- ARNETTE, A. N.; BREWER, B. Design for sustainability (DFS): the intersection of supply chain and environment. *Journal of Cleaner Production*, USA, 24 jul. 2014. 83, p. 374-390. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 03 feb. 2018.
- ASSEM, A.; HAMANI, K. Material Waste in the UAE Construction Industry: Main Causes and Minimization Practices. *Architectural Engineering and Design Management*, USA, 01 jan. 2011. 7 (4), p. 221-235. Disponível em: <<http://DOI:10.1080/17452007.2011.594576>>. Acesso em: 06 feb. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE VIDRO. Vidro o resíduo infinitamente reciclável. São Paulo: ABVIDRO, 2019. Disponível em: <https://abividro.org.br/2019/02/07/vidro-o-residuo-infinitamente-reciclavel/>. Acesso em: 30 out. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. São Paulo: ABRELPE, 2009.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. Logística empresarial. São Paulo: Atlas, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf>>. Acesso em: 1 maio 2014.
- ASTRATH, F. B. G. Excitação óptica tipo degrau nas técnicas fototérmicas : estudo de vidros ópticos e de materiais para produção de energia. Disponível em:

- <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/2627>.2011. Acesso em: 30 out. 2019.
- ATA, B. Optimizing Organic Waste to Energy Operations. *Manufacturing & Service Operations Management*, USA, 01 set. 2011. 1, p. 1-30. Disponível em: <<https://pubsonline.informs.org/journal/msom>>. Acesso em: 07 feb. 2018.
- ATLASON, R.S.; GIACALONE, D.; PARAJULY, K. Product design in the circular economy: Users' perception of end-of-life scenarios for electrical and electronic appliances. *Journal of Cleaner Production*, Denmark, 13 set. 2017. 168, p. 1059-1069. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 09 feb. 2018.
- AULETE, C. *Novíssimo dicionário contemporâneo da língua portuguesa*. Rio de Janeiro: Lexikon, 2011.
- AXSEN, J.; KURANI, K. S. Social Influence, Consumer Behavior, and Low-Carbon Energy Transitions. *Annual Review of*
- AZEVEDO, D. F. O. **Apostila de Análise estrutural com ANSYS Workbench: Static Structural**, Mogi das Cruzes, [s.e.], 2015. p. 137
- BADURDEEN, F.; SHUAIB, M.A.; LU, T.; JAWAHIR, I.S. Sustainable Value Creation in Manufacturing at Product and Process Levels: A Metrics-Based Evaluation. In *Hand book of Manufacturing Engineering and Technology*; Springer: London, UK, 2013; pp. 1–28.
- BAENAS, J.M.; BATTISTELLE, G.,R; JUNIOR, R.A.G.; ALCIDES, J. A study of reverse logistics flow management in vehicle battery industries in the midwest of the state of São Paulo (Brazil). *Journal of Cleaner Production*, Brazil, 29 out. 2010. 19, p. 168-172. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 02 feb. 2018.
- BAKSTER, M. *Projeto de Produto: guia prático para o design de novos produtos*. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
- BARBIERI, J. C. *Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudança da agenda 21*. Petrópolis: Vozes, 157 p.2007.
- BENNETT, M.; JAMES, P.; KLINKERS, L. (Eds.) *Sustainable Measures: Evaluation and Reporting of Environmental and Social Performance*; Routledge: Abingdon, UK, 2017.
- BHAMRA, T.; LOFTHOUSE, V. *Design for Sustainability: A Practical Approach*; Routledge: Abingdon, UK, 2016.
- BLIZZARD, J. L.; KLOTZ, L.E.; *A framework for sustainable whole systems design*. *Design Studies*, v.33, n.5, pp.456-479, 2012.
- BOFF, L. *Saber cuidar: ética do humano: compaixão pela terra*. 10. ed. Petrópolis: Vozes, 2004.
- BONACELLA, P. H.; MAGOSSO, L. R. *A poluição das águas*. 15. ed. São Paulo: Moderna, 1996.
- BRANCO, M. C.; LOURENÇO, I. C. Determinants of corporate sustainability performance in emerging markets: the Brazilian case. *Journal of Cleaner Production*, v.57, pp.134-141, 2013.
- BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos

- Sólidos e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 28 nov. 2010.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Prêmio gestão de resíduos: orgânicos, inorgânicos e perigosos. Brasília, DF: CNPq, 2012.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos–2007. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2009. 262 p. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 21 jan. 2011.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano nacional de resíduos sólidos. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/a3p/eixostematicos/gest%C3%A3o>>. Acesso em: 1 maio 2014.
- BRASIL. Planos de gestão de resíduos sólidos: manual de orientação. Brasília, DF, 2012.
- BRASIL. Secretaria de Comunicação Social da Presidência da República. Brasil terá nova forma para descarte de lixo em 2012. Disponível em: <http://www.secom.gov.br/sobre-a-secom/nucleo-de-comunicacao-publica/copy_of_em-questao-1/edicoes-anteriores/boletim-1280-10.05/brasileiros-terao-nova-forma-para-descarte-de-lixo>. Acesso em: 22 mai. 2011.
- BRITO, M.P. DEKKER, R. A *Framework for Reverse Logistics*. Springer, Berlin.
- BUEHLER, A. M.; FIGUEIRÓ, M. F.; CAVALCANTI, A. B.; BERWANGER, O. Diretrizes Metodológicas: elaboração de revisão sistemática e metanálise de ensaios clínicos randomizados. Ministério da Saúde – Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, p.96, 2012.
- BURRITT, R., SCHALTEGGER, S. (2012). Measuring the (UN) Sustainability of Industrial Biomass Production and Use. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal* 3(2), 109-133.
- BUSNAINA, A. A. Nanomanufacturing and sustainability: opportunities and challenges. *J Nanopart Res, USA*, 06 jul. 2013. 15, p. 1984 - 8-15. Disponível em: <<http://DOI.10.1007/s11051-013-1984-8>>. Acesso em: 18 feb. 2018.
- CAETANO, M.J.L. O pneu. Comportamento do pneu. Desgaste. Recauchutagem de pneus. Processos de recauchutagem”. Mamede. Disponível em: <http://ctborracha.com/wp-content/uploads/2017/04/Um-novo-m%C3%A9todo-para-a-determina%C3%A7%C3%A3o-da-capacidade-dos-misturadores-abertos.pdf>. 2008. Acesso em: 16 out. 2020.
- CARRIJO, C. P. Ações de logística reversa nas revendas de óleo combustível. Acesso em: 06. Feb. 2019.
- CASAGRANDE, J.; FASSI, E. Indústria moveleira e resíduos sólidos: considerações para o equilíbrio ambiental. São Paulo, 2004.
- CCM.Vida útil televisores LDC/LED/PLASMA. Disponível em: <<https://br.ccm.net/faq/6423-qual-e-a-vida-util-das-tvs-de-led-ou-plasma>>. Acesso em: feb. 2020.
- CESCHIN, F. GAZIULUSOY, I. Evolution of design for sustainability: from product design to design for system innovations and transitions. v.47, pp.118-163, 2016.

- CHARNET, R.; CHARNET, E.M.R.; FREIRE, C.A.L.; BONVINO, H. Análise de Modelos de Regressão Linear com Aplicações. 2. ed. São Paulo: Unicamp, 2008. 368 p.
- CHAVES, L. I. Panorama do Design para Sustentabilidade. 1º Simpósio Paranaense de Design Sustentável. Anais. Curitiba, 2009.
- CHENG, L. C. E FILHO, L. D. R. M. QFD – Desdobramento da função qualidade na gestão de desenvolvimento de produtos. São Paulo: Editora Blucher, 2007.
- CLINE, A. A *framework* for reverse logistics: the case of post-consumer carpet in the US. *International Journal of Commerce and Management, USA*, 08 out. 2013. 25, p. 466-489. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/1056-9219.htm>>. Acesso em: 02 feb. 2018.
- COLLEDANI, M.; COPANI, G.; TOLIO, T. Integrated process and system modelling for the design of material recycling systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology, Italy*, 01 jan. 2013. 62, p. 447-452. Disponível em: <<http://ees.elsevier.com/cirp/default.asp>>. Acesso em: 05 feb. 2018.
- COMISSÃO EUROPEIA. Europa 2020. Disponível em: <http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/priorities/sustainable-growth/index_pt.htm>. Acesso em: 03 jun. 2017.
- COSTA, R.N.A. Viabilidades térmica, econômica e de materiais de um sistema solar de aquecimento de água a baixo custo para fins residenciais. 2007. 150 f. Dissertação Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 01 jun 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15527>. Acesso em: 18 dec. 2019.
- COUTINHO, F. M. B.; COSTA, M. P. M.; GUIMARÃES, M. J. O. C.; SOARES, B. G. Comparative study of different types of polybutadiene on the toughening of polystyrene. *Polímeros, Brazil*, v. 17, n. 4, p. 0-9, 17 dez. 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282007000400011>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282007000400011. Accessed:Acesso em: 17 dec. 2019
- CRISTOBAL, J.; CASTELLANI, V.; MANFREDI, S. SALA, S. Prioritizing and optimizing sustainable measures for food waste prevention and management. *Waste Management, Italy*, 14 nov. 2017. 72, p. 3-16. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/wasman>>. Acesso em: 09 feb. 2018.
- DAVIS, G. E-waste and the sustainable organisation: Griffith University's approach to e-waste. *International Journal of Sustainability in Higher Education, Australia*, 28 maio 2013. 10, p. 21-32. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/14676370910925226>>. Acesso em: 04 feb. 2018.
- DE BEIR, J. Life Cycle Of Products And Cycles. *Macroeconomic Dynamics, USA*, 01 jan. 2010. 14, p. 212-230. Disponível em: <<http://doi:10.1017/S1365100509090269>>. Acesso em: 05 feb. 2018
- DE GIORGI, C. New Products And Industrial Processes From Waste. *Acta Technica, Romania*, 01 jan. 2011. 1, p. 1-6. Disponível em: <<http://acta.fih.upt.ro>>. Acesso em: 07 feb. 2018.
- DE MAGALHÃES, R. F.; DANILEVICZM, A.M.F.; SAURIN, T.A. Reducing construction waste: A study of urban infrastructure projects. *Waste Management, Brazil*, 24 maio

2017. 67, p. 265-277. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/wasman>>. Acesso em: 09 feb. 2018.
- DEL BORGHI, A; BINAGHI, L; DEL BORGHI, M; GALLO, M. The application of the environmental product declaration to waste disposal in a sanitary landfill: four case studies. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 12: 40–49, 2007.
- DEMAJOROVIC, J. et al. Os desafios da gestão compartilhada de resíduos sólidos face à lógica do mercado. [S.l.]: USP, 2014. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/GT/GT11/jacupes_demajorovic.pdf>. Acesso em: 20 maio 2014.
- DENG, L.; LI, W.; LIU, Z. Different Subsidies' Impact on Equilibrium Decision-making of Closed-loop Supply Chain. *Journal of Industrial Engineering and Management, China*, 01 set. 2014. 7 (5), p. 1061-1075. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3926/jiem.1149>>. Acesso em: 04 feb. 2018.
- DEUTZ, P.; MCGUIRE, M. Integrating Sustainable Waste Management into Product Design: Sustainability as a Functional Requirement. *Sustainable Development, United Kingdom*, 05 mar. 2010. 18, p. 229-239. Disponível em: <<http://DOI:10.1002/sd.469>>. Acesso em: 05 feb. 2018
- DIAS, S. M. F. Proposição de uma matriz de indicadores de sustentabilidade em gestão integrada de resíduos sólidos urbanos e sua aplicação em um estudo de caso. 2009. 58f. Monografia (Progressão de carreira no magistério superior) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.
- DING, Z.; WANG, Y.; ZOU, P.X.W. An agent based environmental impact assessment of building demolition waste management: Conventional versus green. *Journal of Cleaner Production, China*, 11 jun. 2016. 133, p. 1136-1153. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 02 feb. 2018.
- Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-24803-3_1. 2004. Acesso em: 10 mar. 2019.
- DU, Y.; CAO, H.; CHEN, X.; BENTAO, W. Reuse-oriented redesign method of used products based on axiomatic design theory and QFD. *Journal of Cleaner Production, China*, 05 set. 2012. 39, p. 79-86. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 09 feb. 2018.
- DUBEY, R.; GUNASEKARAN, A.; PAPADOPOULOS, T. Green supply chain management enablers: Mixed methods research. *Sustainable Production and Consumption, Plymouth, EUA*, v. 10, n. 1016, p. 1-47, out. 2015. Disponível em: <<https://www.journals.elsevier.com/sustainable-production-and-consumption>>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- DUBOIS, M. Efficient Waste Management Policies and Strategic Behavior with Open Borders. *Environ Resource Econ, Belgium*, 26 nov. 2014. 62, p. 907-923. Disponível em: <<http://DOI 10.1007/s10640-014-9851-3>>. Acesso em: 04 feb. 2018.
- ELSEVIER. Journal Metrics Visualization. About SJR: Expositiones Mathematicae - SJR. 2018. Disponível em: <<https://journalinsights.elsevier.com/journals/0723-0869/sjr>>. Acesso em: 23 aug. 2018 *Environment and Resources*, v.37, pp.311-340, 2012.
- EMERSON, J. et al. Environmental Performance Index – EPI. New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy-Yale University, USA. Disponível em:

- <<http://epi.yale.edu/>>. Acesso em: 20 jun. de 2018.
- EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Towards the circular economy - Vol. 1: Economic and business rationale for an accelerated transition. Isle of Wight: EMF, 2012.
- FARIA, A. F. Roteiros para as aulas de laboratório da disciplina projeto de produto. Universidade Federal de Viçosa, 2007. MONTGOMERY, C. A. & PORTER, M. E. Estratégia: a busca da vantagem competitiva. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1998.
- FATIMAH, Y.; BISWAS, W.; MAZHAR, I.; ISLAM, M. Sustainable manufacturing for Indonesian small- and medium-sized enterprises (SMEs): the case of remanufactured alternators. *Journal of Remanufacturing*, Australia, 01 jan. 2013. 3:6, p. 1-11. Disponível em: <<http://www.journalofremanufacturing.com/content/3/1/6>>. Acesso em: 09 feb. 2018.
- FERCOQ, A.; LAMOURI, S. Lean/Green integration focused on waste reduction techniques. *Journal of Cleaner Production*, France, 21 jul. 2016. 137, p. 597-578. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: feb. 2018.
- FERNANDES, P. Circular Economy As A Way Of Increasing Efficiency In Organizations. *The porto Protocol*, online, ano 2020, v. 1, n. 1, p. 0-1, 28 jan. 2020. Disponível em: <https://www.portoprotocol.com/circular-economy-as-a-way-of-increasing-efficiency-in-organizations/>. Acesso em: 5 out. 2020.
- FERNANDES, P. T., Modelo de Referência para Processo de Design Orientado à Sustentabilidade. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- FERRARI DE SÁ, R. Método Conceitual para Aplicação da Biomimética como Ferramenta de Apoio ao Processo de Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis - BIOS. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, P. 170, Curitiba, 2017.
- FERRARI DE SÁ, R., Método Conceitual para Aplicação da Biomimética como Ferramenta de Apoio ao Processo de Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis - BIOS. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, PUCPR.
- FOERSTL, K., Azadegan, A., Leppelt, T., and Hartmann, E. (2015). Drivers of supplier sustainability: Moving beyond compliance to commitment. *Journal of Supply Chain Management* 51(1), 67-92.
- FORQUILHINHANOTICIAS. Blog – Acic com pontos de entrega voluntaria lixo eletrônico. Disponível em: < <https://www.forquilhaanoticias.com.br/acic-vira-ponto-coleta-para-programa-logistica-reversa> >. Acesso em: feb. 2020.
- FORSOFT. Software ERP – O melhor software para sua empresa. Disponível em: <https://www.forsoft.com.br/forsoft-erp> > :Acesso em: 20 jan. 2020.
- FORTUNA, L. M.; DIYAMANDOGU, V. Disposal and acquisition trends in second-hand products. *Journal of Cleaner Production*, USA, 09 nov. 2016. 142, p. 2454-2462. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 04 feb. 2018.
- FRANCISCO, Papa. Carta encíclica: laudato si sobre o cuidado da casa comum. São

- Paulo: Paulinas, 2015.
- FRANTZESKAKI, N.; KABISCH, N.; MCPHEARSON, T. Advancing urban environmental governance: understanding theories, practices and processes shaping urban sustainability and resilience. *Environmental Science and Policy*, v.62, pp.1-6, 2016.
- FUSCO, J. P. A.; SACOMANO, J. B.; BARBOSA, F. A.; AZZOLINI, W. J. *Administração de Operações: da formulação estratégica ao controle operacional*, 2003.
- GACIA-SERNA, J., PEREZ, B. L; COCOCERO, M. J. (2007). New trends for design towards sustainability in chemical engineering: green engineering. *Chemical Engineering Journal*, 133(1-3), 7-30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2007.02.028>.
- GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões Sistemáticas da Literatura: passos para sua elaboração. *Epidemiol.Serv.Saúde*, Vol .23(1), pp.183-184, 2014.
- GARFIELD, E. The History and Meaning of the Journal Impact Factor. 2006. Disponível em: <<https://libguides.fe.up.pt/publicacao-cientifica/revistas>>. Acesso em: 14 ago. 2018.
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/mauriciofacanha/ensino-superior/redacao-cientifica/livros/gil-a.-c.-como-elaborar-projetos-de-pesquisa.-sao-paulo-atlas-2002./view>>. Acesso em: 01 ago. 2018.
- GODOY, A. S. Introdução à Pesquisa Qualitativa e suas Possibilidades. *RAE Artigos – Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, v.35, n.2, p.57-63, Mar/abr.1995.
- GONÇALVES, P. A cultura do supérfluo: lixo e desperdício na sociedade de consumo. Rio de Janeiro: Garamond, 2011.
- GREEN, K. W.; Zelbst, P. J.; Meacham, J.; Bhadauria, V. S. (2012). Green supply chain management practices: impact on performance. *Supply Chain Management: International Journal* 17(3), 290-305.
- GRIPPI, S. Lixo: reciclagem e sua história: guia para as prefeituras brasileiras. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.
- GUARNIERI, P.; SILVA, L.C.; LEVINO, N.A. Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case. *Journal of Cleaner Production*, Brazil, 11 jun. 2016. 133, p. 1105-1117. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 03 feb. 2018.
- GUEDES, P. C. P. G. Emergência do Polo Moveleiro de Linhares e Políticas para o Setor no Espírito Santo (1960-1995). 142f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em História Social das Relações Políticas da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2008.
- GUIMARÃES, L. B. M. (Org.). *Ergonomia de Produto: evolução dos objetos, funções do produto, design ergonômico e design sustentável*. 5ed. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2006.
- GUIMARÃES, L. B. M. *Design/Desenvolvimento de Produto: conceitos definições e*

- modelos. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2009.
- HARTINIA, S. The relationship between lean and sustainable manufacturing on performance: literature review. *Industrial Engineering and Service Science*, Indonesia, 01 jan. 2015. 4, p. 38-45. Disponível em: <<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>>. Acesso em: 10 feb. 2018.
- HATCHER, G. D. Design for remanufacturing in China: a case study of electrical and electronic equipment. *Journal of Remanufacturing*, United Kingdom, 04 jan. 2013. 3:3, p. 1-11. Disponível em: <<http://www.journalofremanufacturing.com/content/3/1/3>>. Acesso em: 03 feb. 2018.
- HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, L. H. *Capitalismo natural: criando a próxima revolução industrial*. Tradução: Luiz A. de Araújo, Maria Luiza Felizardo. São Paulo: Cultrix, 2007.
- HELERBROCK, Rafael. "Cálculo do consumo de energia elétrica"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/energia-eletrica.htm>. Acesso em 28 de agosto de 2020
- HOOGMARTENS, R.; EYCKMANS, J.; VAN PASSEL, S. A Hotelling model for the circular economy including recycling, substitution and waste accumulation. *Resources, Conservation & Recycling*, Belgium, 09 out. 2017. 128, p. 98-109. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/resconrec>>. Acesso em: 02 feb. 2018.
- HUANG, C.; CHANG, Z.Y. Corporate Memory: Design to better reduce, reuse and recycle *Computers & Industrial Engineering*, Taiwan, 31 out. 2015. 91, p. 48-65. Disponível em: <<http://homepage: www.elsevier.com/locate/caie>>. Acesso em: 03 feb. 2018.
- HUANG, C.; LIANG, W.Y.; CHUANG, H.F.; CHANG, Z.Y. A novel approach to product modularity and product disassembly with the consideration of 3R-abilities. *Computers & Industrial Engineering*, Taiwan, 01 set. 2011. 62, p. 96-107. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/caie>>. Acesso em: 02 feb. 2018.
- IKHLAYEL, M. Development of management systems for sustainable municipal solid waste in developing countries: a systematic life cycle thinking approach. *Journal of Cleaner Production*, Japan, 19 jan. 2018. 180, p. 571-586. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 04 feb. 2018.
- INMETRO, BRASIL - Consumo: PBE - Televisores. In: INMETRO - Consumo: PBE - Televisores. Web. [S. l.], 4 maio 2020. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/televisores.pdf>. Acesso em: 6 ago. 202
- INSTITUTION OF WASTE MANAGEMENT. Ever-decreasing circles: closing in on the circular economy. Presented by "RWM Ambassadors" at RMW 2014. Birmingham: RMW/CIWM, 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Educação e condições de vida*. Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/indicadoresminimos/tabela3.shtm>>. :Acesso em: 21 aug. 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa nacional de saneamento básico*. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em:

- <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 10 maio 2018.
- IONESCU, G.; RADA, E. C.; RAGAZZI, M.; MERLER, G.; MOEDINGER, F.; RABONI, M.; TORETTA, V. Integrated municipal solid waste scenario model using advanced pretreatment and waste to energy processes. *Energy Conversion and Management*, Romania, 27 ago. 2013. 76, p. 1083-1092. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/enconman>>. Acesso em: 05 feb. 2018.
- JAWAHIR, I. BEYOND the 3R's: 6R concepts for next generation manufacturing: Recent trends and case studies. In *Proceedings of the Symposium on Sustainability and Product Development*, Chicago, IL, USA, 7–8 August 2008
- JOVANE, F.; YOSHIKAWA, H.; ALTING, L.; BOËR, C. R.; WESTKAMPER, E.; WILLIAMS, D.; TSENG, M.; SELIGER, G.; PACI, A. M. The incoming global technological and industrial revolution towards competitive sustainable manufacturing. *CIRP Ann.* 2008, 57, 641–659.
- KAHHAT, R.; JUNBEUM, K.; MING, X.; BRADEN, A.; ERIC, W.; PENG, Z. Exploring e-waste management systems in the United States. *Resources, Conservation and Recycling*, USA, 02 maio 2008. 52, p. 955-964. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/resconrec>>. Acesso em: 05 feb. 2018.
- KARWASZ, A. ESTIMATING THE COST OF PRODUCT RECYCLING WITH THE USE OF ECODESIGN SUPPORT SYSTEM. *Management and Production Engineering Review*, Poland, 19 feb. 2016. 7, p. 33-39. Disponível em: <<http://DOI:10.1515/mper-2016-0004>>. Acesso em: 04 feb. 2018.
- KAYHAN, S.; KUTLU, S.; SEDA, T. A study of litter and waste management policies at (primary) eco-schools in Istanbul. *Waste Management & Research*, Turkey, 04 jan. 2012. 30, p. 80-88. Disponível em: <<http://sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav> DOI: 10.1177/0734242X10389106 wmr.sagepub.com> Acesso em: 02 feb. 2018.
- KAZAZIAN, T. (Org.). *Haverá a idade das coisas leves: design e desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Ed. Senac, 2005.
- KIM, J.; YONGWOO, H.; KWANGHO, P. An assessment of the recycling potential of materials based on environmental and economic factors; case study in South Korea. *Journal of Cleaner Production*, South Korea, maio 2009. 17, p. 1264-1271. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 02 feb. 2018.
- KLETTI, J. (ORG) *Manufacturing execution system – MES*. Springer, Mosbach, 2007.
- KOLLIKATHARA, N.; STERN, E.; FENG, H. A purview of waste management evolution:: Special emphasis on USA. *Waste Management*, USA, 14 set. 2008. 29, p. 974-985. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/wasman>>. Acesso em: 02 feb. 2018.
- KRALJ, D. Experimental study of recycling lightweight concrete with aggregates containing expanded glass. *Process Safety and Environmental Protection*, Slovenia, 12 mar. 2009. 87, p. 267-273. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/psep>>. Acesso em: 05 feb. 2018.
- KUCUKVAR, M.; EGILMEZ, G.; TARATI, O. Evaluating environmental impacts of alternative construction waste management approaches using supply- chain-linked life-cycle analysis. *Waste Management & Research*, USA, 01 jan. 2014. 32(6), p. 500-508. Disponível em: <<http://10.1177/0734242X14536457>>. Acesso em: 04 feb.

2018.

- KUIK, S. S. Sustainable supply chain for collaborative manufacturing. *Sustainable supply chain for collaborative manufacturing*, Australia, 01 jan.. 22, p. 984-1001. Disponível em: <[https:// doi.org/10.1108/1741038111177449](https://doi.org/10.1108/1741038111177449)>. Acesso em: 10 feb. 2018
- IACOVIDOU, E.; OHANDJA, D.G.; VOULVOULIS, N. Food waste disposal units in UK households: The need for policy intervention. *Science of the Total Environment*, United Kingdom, 06 mar. 2012. 423, p. 1-7. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/scitotenv>>. Acesso em: 05 feb. 2018.
- LAWLOR, R. Delaying Obsolescence. *Sci Eng Ethics*, United Kingdom, 03 maio 2014. 21, p. 401-427. Disponível em: <<http://DOI 10.1007/s11948-014-9548-6>>. Acesso em: 03 feb. 2018.
- LAZO, S. B.; SHORT, T. Introducing the All Seeing Eye of Business: a model for understanding the nature, impact and potential uses of waste. *Journal of Cleaner Production*, United Kingdom, 11 out. 2012. 40, p. 141-150. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 05 feb. 2018.
- LEITE, M. V.; JUNIOR, J.; MARINS, F. A. S.; MIRANDA, G.W.A. Implantação de Controle Baseado no Sistema de Execução Da Manufatura (MES): análise em empresa de usinagem No setor aeronáutico. *Revista Produção Online*, v.9, n.4, p. 727-746, dez. de 2009. Disponível em <http://www.producaoonline.org.br/index.php/rpo/article/view/380>. Acesso em: 15 dez. 2020.
- LIMA, V.; FUNK, M.; MARCENERO, L.; REGAZZONI, C.; RAUTERBERG, M. Designing for action: An evaluation of Social Recipes in reducing food waste. *Int. J. Human-Computer Studies*, Italy, 23 dez. 2016. 100, p. 18-32. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/ijhcs>>. Acesso em: 03 feb. 2018.
- LIU, Y.; KONG, F.; ERNESTO, D.R.S.G. Dumping, waste management and ecological security: Evidence from England. *Journal of Cleaner Production*, China, 20 dez. 2016. 167, p. 1425-1437. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 04 feb. 2017.
- LOU, E.; MATIVENGA, P.T. Amin Mohamed et al. What should be recycled: An integrated model for product recycling desirability. *Journal of Cleaner Production*, United Kingdom, 01 abr. 2017. 154, p. 51-60. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 09 feb. 2018.
- MAGEE, D.J. Systematic reviews (meta-analysis) and functional outcome measures (apostila). *Developmental Editor: B. Aindow*, 1998.
- MANZINI, E.; VEZOLLI, C. O Desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais. Tradução: Astrid de Carvalho. São Paulo: Edusp Editora, 2005.
- MARTINS, M. MERINO, B.; A gestao de design como estratégia organizacional. Londrina: Eduel, 2008.
- MARTINS, P. G. LAUGENI, F. P. Administração da produção. São Paulo:, 2006.
- MARTINUZZI, A. Research on waste reduction technologies in Europe: An analysis of FP7-funded projects and networks. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, Austria, 01 jan. 2017. 25, p. 216-226. Disponível em:

- <<https://doi.org/10.1108/MEQ-06-2013-0070>>. Acesso em: 09 feb. 2018.
- MASI, D. de. O futuro do trabalho: fadiga e ócio na sociedade pós-industrial. 10. ed. Rio de Janeiro: José Olímpio, 2010.
- MATTIODA, R. A.; MAZZI, A.; CANGIOLIERI, O.; SCIPIONI, A. Determining the principal references of the social life cycle assessment of products. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v.20, n.8, pp.1155-1165, 2015.
- MAVROPOULOS, A.; TSAKONA, M.; ANTHOULI, A. Urban waste management and the mobile challenge. *Waste Management & Research*, Greece, 01 jan. 2015. 33(4), p. 381-387. Disponível em: <<http://sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav> DOI: 10.1177/0734242X15573819>. Acesso em: 10 feb. 2018.
- MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. 2002, New York: North Point Press.
- MELARE, A. V. S.; MONTENEGRO, G.; FACELI, K.; CASEDEI, V. Technologies and decision support systems to aid solid-waste management: a systematic review. *Waste Management*, Brazil, 09 nov. 2016. 59, p. 567-584. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/wasman>>. Acesso em: 10 feb. 2018.
- MELLA, J. Y.; PONGRACZ, E.; KEISKI, R. Electronic waste recovery in Finland: Consumers' perceptions towards recycling and re-use of mobile phones. *Waste Management*, Finland, 18 mar. 2015. 45, p. 374-384. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/wasman>>. Acesso em: 04 feb. 2018.
- MENDES, C. N.; BUENO, C.; OMETTO, A. R.; Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil. Nov 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-65132015005010112&script=sci_arttext>. Acesso em: 16 dez. 2020.
- MENZEL, V. Can companies profit from greener manufacturing? *Measuring Business Excellence*, Netherlands, 04 jan. 2010. 14, p. 22-31. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/13683041011047830>>. Acesso em: 03 feb. 2018.
- MILIOS, L. Plastic recycling in the Nordics: A value chain market analysis. *Waste Management*, Denmark, 21 mar. 2018. 2018, p. xx-xx. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/wasman>>. Acesso em: 07 abr. 2018
- MILLER, G. T. *Ciência ambiental*. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Manual para elaboração do plano de gestão integrada de resíduos sólidos dos consórcios públicos. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/1_manual_elaborao_plano_gesto_integrada_rs_cp_125.pdf>. Acesso em: 14 oct. 2018.
- MONTENEGRO, R.S.P.; PAN, S.S.K. Panorama do setor de borrachas. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/borrach2.pdf> (2007).
- MORAES, R. Análise do conteúdo. *Revista Educação*, Porto Alegre, vol.22(37), pp.7-32, 1999.
- MOTA, B.; GOMES, M.I.; CARVALHO, A.; BARBOSA-POVOA, A.P. Towards supply chain sustainability: Economic, environmental and social design and planning. *J. Clean. Prod.* 2015, 105, 14–27.
- MULLER, M. F.; ESMANIOTO, F.; HUBER, N.; LOURES, E. R.; CANGIOLIERI

- JUNIOR, O. A Systematic Literature Review of Interoperability in the Green Building Information Modeling Lifecycle. *Journal Of Cleaner Production*, v. 223, p. 397-312, 2019.
- MUNDIM, A.P.F.; ROZENFELD, H.; AMARAL, D.C.; SILVA, S.L.; GUERRERO, V.; HORTA, L.C. Aplicando o cenário de desenvolvimento de produtos em um caso prático de capacitação profissional. Núcleo de Manufatura Avançada, Escola de Engenharia de São Carlos, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2002000100002&script=sci_arttext&lng=pt>. Acesso em: 05 apr. 2019.
- MURDOCH, M. The Road to Zero Waste: A Study of the Seattle Green Fee on Disposable Bags. *ENVIRONMENTAL REVIEWS AND CASE STUDIES*, Indonesia, 12 mar. 2010. 12, p. 66-75. Disponível em: <<http://doi:10.10170S1466046609990470>>. Acesso em: 10 feb. 2018.
- O' RAMONI, M. An entropy-based metric for product remanufacturability. *Journal of Remanufacturing, USA*, 04 jan. 2012. 2:2, p. 1-8. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 02 feb. 2018.
- O'Brien, J. A. *Administração de Sistemas de Informação: Uma Introdução*. Edição 13, Vol. 07. São Paulo. Editora: Mc Graw Hill, 2007.
- OKUMURA, M. L. M., *MODELO CONCEITUAL DE PROJETO ORIENTADO PARA TECNOLOGIA ASSISTIVA - MPOTA*. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- ONGONDO, F.O.; WILLIAMS, I.D. Mobile phone collection, reuse and recycling in the UK. *Waste Management, United Kingdom*, 03 mar. 2011. 31, p. 1307-1315. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/wasman>>. Acesso em: 07 feb. 2018.
- ORDONEZ, I.; RAHE, U. Collaboration between design and waste management: Can it help close the material loop? *Resources, Conservation and Recycling, Sweden*, 03 jan. 2013. 72, p. 108-117. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/resconrec>>. Acesso em: 03 feb. 2018.
- OYEDELE, L. O.; REGAN, M. F.; ELNOKALY, A.; MEDING, J. V.; AHMED, A.A.; EBOHON, O. J. Reducing waste to landfill in the UK: identifying impediments and critical solutions. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development, United Kingdom*, 01 jan. 2013. 10, p. 131-142. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/20425941311323136>>. Acesso em: 09 feb. 2018
- PACELLI, F.; OSTUZZI, F.; LELI, M. Reducing and reusing industrial scraps: a proposed method for industrial designers. *Journal of Cleaner Production, Italy*, 06 set. 2014. 86, p. 78-87. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 09 feb. 2018.
- PADILHA, T. C. C.I; MARINS, F. A. S. *Sistemas ERP: Características, custos e tendências*. *Revista Produção*, v. 15, n. 1, p. 102-113, 2005.
- PALISAITIENE, J. K.; SUNDIN, E.; POKSINSKA, B. Remanufacturing challenges and possible lean improvements. *Journal of Cleaner Production, Sweden*, 09 nov. 2017. 172, p. 3225-3236. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 09 feb. 2018.
- PALOMBINI, F. L.; CIDADE, M. K. J., JACQUES, J. How sustainable is organic

- packaging? A design method for recyclability assessment via a social perspective: A case study of Porto Alegre city (Brazil). *Journal of Cleaner Production*, Brazil, 04 nov. 2016. 142, p. 2593-2605. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 05 feb. 2018.
- PANERO, J.; ZELNIK, M. Dimensionamento humano para espaços interiores: um livro de consulta e referência para projetos. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2002.
- PATERSON, D.A.P.; WINIFRED, F.C.J. End-of-life decision tool with emphasis on remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, United Kingdom, 07 feb. 2017. 148, p. 653-664. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/wasman>>. Acesso em: 04 feb. 2018.
- PAVIANNI, J. Problemas de filosofia da educação. Petrópolis: Vozes, 1988.
- PEREIRA, J. A., Modelo de desenvolvimento integrado de produto orientado para projetos de P&D do setor elétrico brasileiro. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- PETERSEN, M. BROCKHAUS, S. Dancing in the dark: Challenges for product developers to improve and communicate product sustainability. *Journal of Cleaner Production*, USA, 24 maio 2017. 161, p. 345-354. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 03 feb. 2018.
- PETTERSEN, I. N. Fostering absolute reductions in resource use: the potential role and feasibility of practice-oriented design. *Journal of Cleaner Production*, Norway, 11 feb. 2015. 132, p. 252-265. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 05 feb. 2018.
- PIDONE, L. A. O pneu. Utilização das diretrizes ROHS e WEEE para equipamentos eletromédicos fabricados no Brasil. Digital Library USP. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-02032012-144225/publico/2011PidoneUtilizacao.pdf>. 2011. Acesso em: 25 out. 2020.
- PIETZSCH, N.; RIBEIRO, J.L.D.; DE MEDEIROS, J.F. Benefits, challenges and critical factors of success for Zero Waste: A systematic literature review. *Waste Management*, Brazil, 29 maio 2017. 67, p. 324-353. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/wasman>>. Acesso em: 03 feb. 2018.
- PIGOSSO, D.C.A.; ZANETTE, E.T.; FILHO, A.G. Ecodesign methods focused on remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, Brazil, 08 set. 2009. 18, p. 21-31. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 04 feb. 2018.
- PIMENTA, H. C. D.; GOUVINHAS, R. P. Implementação da Produção mais Limpa em uma Indústria Têxtil: Vantagens Econômicas e Ambientais. *Cleaner production initiatives and challenges for a sustainable world*, Brazil, v. 3, n. 1, p. 0-9, 2011. Disponível em: http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/5b/1/pimenta_hcd%20-%20paper%20-%205b1.pdf. Acesso em: 06 fev. 2020
- PLATAFORMA SUCUPIRA. Qualis periódicos. Disponível em: <<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/veiculoPublicacaoQualis/listaConsultaGeralPeriodicos.jsf>>. Acesso em: Jun 2018.
- POKHAREL, S.; MUTHA, A. Perspectives in reverse logistics: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, Singapore, 13 jan. 2009. 53, p. 175-182. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/resconrec>>. Acesso em: 07 feb. 2018.
- POLAT, O.; CAPRAZ, O.; GUNGOR, A. Modelling of WEEE recycling operation

- planning under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, Turkey, 03 feb. 2018. 180, p. 769-779. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 18 feb. 2018.
- PORTAL BRASIL. Lei do tratamento do lixo é regulamentada. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2011/01/lei-do-tratamento-do-lixo-e-regulamentada>> Acesso em 14 mai. 2018.
- PORTAL DE PERIÓDICOS CAPES/MEC. Buscar Base. Disponível em: <http://www.periodicos.capes.gov.br/index.php?option=com_pmetabusca&mn=70&smn=78&base=find-db-1&type=b&Itemid=121>.
- RATHORE, P.; KOTA, S.; CHAKRABARTI, A. Sustainability through remanufacturing in India: a case study on mobile handsets. *Journal of Cleaner Production*, India, 29 jun. 2011. 19, p. 1709-1722. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 09 feb. 2018.
- RODRIGUES, A.P. Developing criteria for performance assessment in municipal solid waste management. *Journal of Cleaner Production*, Brazil, 08 abr. 2018. 186, p. 748-757. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 04 feb. 2018.
- RODRIGUES, F. L.; CAVINATTO, V. M. Lixo: de onde vem?, para onde vai?. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2003.
- ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.
- RSA - ROYAL SOCIETY OF ARTS. Investigating the role of design in the circular economy. The Great Recovery Project - Report 01 Revisited. Londres: RSA, 2014.
- SABHARWAL, S.; GARG, S. Determining cost effectiveness index of remanufacturing: An evaluation of Social Recipes in reducing food waste. *Int. J. Production Economics*, India, 28 abr. 2013. 144, p. 521-532. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/ijpe>>. Acesso em: 03 feb. 2018.
- SAKAI, S.; YANO, J.; HIRAI, Y.; ASARI, M.; YANAGAWA, R.; Waste prevention for sustainable resource and waste management. *J Mater Cycles Waste Manag*, Japan, 01 jan. 2017. 19, p. 1295-1313. Disponível em: <<http://doi:10.1007/s10163-017-0586-4>>. Acesso em: 10 feb. 2018
- SAKUNDARINI, N.; TAHA, Z.; RASHID, S.H. A. Multi-objective optimization for high recyclability material selection using genetic algorithm. *Int J Adv Manuf Technol*, United Kingdom, jan. 2013. 68, p. 1441-1451. em: <<http://DOI 10.1007/s00170-013-4933-x>>. Acesso em: 18 feb. 2018.
- SALATIEL, M.; SAMPAIO, G.; FONTES, A.; SANTANA, D. Desenvolvimento de sistema PIMS e MES para tratamento de efluentes, *Controle e Automação*, ano 11, n. 143, p. 82-85, 2008.
- SALES, O. P., Modelo de Avaliação de Novos Projetos Considerando a Estratégia Organizacional de um Empresa de Serviços. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- SAMARA, B. S.; MORSCH, M. A. Comportamento do consumidor: conceitos e casos. São Paulo: Pretince Hall, 2005.

- SAMPAIO, R.F; MANCINI, M.C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, Belo Horizonte, 27 dez. 2006. São Carlos, volume II, p. 83-89. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=1413-3555&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 16 out. 2018.
- SAMSUNG. Perfil consumidor. Disponível em: <<https://news.samsung.com/br/consumidor-considera-tamanho-da-tela-como-diferencial-na-hora-de-escolher-uma-tv-aponta-pesquisa-da-samsung>>. Acesso em: fev. 2020.
- SANTINI, A.; MORSELLI, L.; PASSARINI, F.; VASSURA, I. End-of-Life Vehicles management: Italian material and energy recovery efficiency. *Waste Management, Italy*, 12 out. 2010. 31, p. 489-494. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/wasman>>. Acesso em: 04 fev. 2018.
- SANTOS, J. M. A.; BELINE, S. *Geografia: manual*. 3. ed. São Paulo: IBEP, 2013.
- SARATH, P.; BONDA, S.; MOHANTY, S.; NAYAK, S.K. Mobile phone waste management and recycling: Views and trends. *Waste Management, India*, 14 set. 2015. 46, p. 536-545. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/wasman>>. Acesso em: 07 fev. 2018.
- SARAVIA-PINILLA, M. H.; BELTRAN, D.C.; ACOSTA, G. G. A comprehensive approach to environmental and human factors into product/service design and development: A review from an ergoecological perspective. *Applied Ergonomics, Colômbia*, 01 jan. 2016. 57, p. 62-71. Disponível em: <<https://www.journals.elsevier.com/applied-ergonomics>>. Acesso em: 02 fev. 2018.
- SCHALCH, V. et al. *Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos*. São Carlos: USP, 2002.
- SCHRECK, M. Incentivizing secondary raw material markets for sustainable waste management. *Waste Management, USA*, 31 maio 2017. 67, p. 354-359. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/wasman>>. Acesso em: 05 fev. 2018.
- SEFOUHI, L.; KALLA, M.; BAHMED, L. Assessment of different methods of treatment for an integrated municipal waste management for an Algerian city. *Management of Environmental Quality: An International Journal, Brazil*, 05 nov. 2013. 25, p. 493-504. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/MEQ-01-2013-0008>>. Acesso em: 03 fev. 2018.
- SELVEFORS, A.; REXFELT, O.; RENSTROM, S.; STROMBERG, H. Use to use - A user perspective on product circularity. *Journal of Cleaner Production, Sweden*, n. 412-96, 14 sep. 2019. 223, p. 1014-1028. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282007000400011>. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/jclepro>. Acesso em: 30 nov. 2019.
- SETTI, P. H. P., MÉTODO PARA DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE PRODUTO BASEADO NA ENGENHARIA DE VALOR E DFA EM UM AMBIENTE DE ENGENHARIA SIMULTÂNEA. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- SHAFIGH, P.; MAHMUD, H.B.; JUMAAT, M.Z. Agricultural wastes as aggregate in concrete mixtures: A review. *Construction and Building Materials, Malaysia*, 18 dez. 2013. 53, p. 110-117. Disponível em:

- <<http://www.elsevier.com/locate/conbuildmat>>. Acesso em: 02 feb. 2018.
- SHIRASUNA, M. MES: Situação presente e expectativa do futuro, *Controle e Automação*, ano 11, n. 143, p. 66-71, 2008. SILVA JR, P. R. DE M. A pergunta certa, *Controle e Automação*, ano 11, n. 143, p. 47, 2008.
- SHU, L.H.; DUFLOU, J.; HERRMANN, C.; SAKAO, T.; SHINOMURA, Y. Design for reduced resource consumption during the use phase of products. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Japan, 27 jul. 2017. 66, p. 635-658. Disponível em: <<http://ees.elsevier.com/cirp/default.asp>>. Acesso em: 03 feb. 2018.
- SIAMINWE, L.; CHINSEMBU, K.; SYAKALIMA, K. Policy and Operational Constraints for the Implementation of Cleaner Production. *Journal of Cleaner Production* 13, 1037–1047. (2005)
- SILVA, S.L. Proposição de um modelo para caracterização das conversões do conhecimento no processo de desenvolvimento de produtos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade de São Paulo, São José dos Campos, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde26092003-163308/publico/SLSilva.pdf>>. Accessed:Acesso em: 05 apr. 2019.
- SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006. SILVA, S.L. Proposição de um modelo para caracterização das conversões do conhecimento no processo de desenvolvimento de produtos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade de São Paulo, São José dos Campos, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde26092003-163308/publico/SLSilva.pdf>>. Accessed:Acesso em: 05 apr. 2019.
- SIMBOLI, A.; TADDEO, R.; MORGANTE, A. Value and Wastes in Manufacturing. An Overview and a New Perspective Based on Eco-Efficiency. *Administrative Sciences*, Italy, 01 jan. 2014. 4, p. 173-191. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/journal/admsci>>. Acesso em: 10 feb. 2018.
- SINGH, J.; LAURENTI, R.; SINHA, R. Progress and challenges to the global waste management system. *Waste Management & Research*, Sweden, 01 jan. 2014. 32 (9), p. 800-812. Disponível em: <<http://sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav> DOI: 10.1177/0734242X14537868>. Acesso em: 09 feb. 2018.
- SINGH, J.; ORDONEZ, I. Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy *Journal of Cleaner Production*, Sweden, 21 dez. 2015. 134, p. 342-353. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 09 feb. 2018.
- SINGH, S. Towards zero waste manufacturing: A multidisciplinary review. *Journal of Cleaner Production*, Singapore, 11 set. 2017. 168, p. 1230-1243. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 10 feb. 2018.
- SJR. Journal Ranking. Disponível em: <[http:// www.scimagojr.com/aboutus.php](http://www.scimagojr.com/aboutus.php) >. Acesso em: 20 aug. 2018.
- SOMMERHUBER, P. F.; WELLING, J.; KRAUSE, A. What should be recycled Substitution potentials of recycled HDPE and wood particles from post-consumer packaging waste in Wood–Plastic Composites *Waste Management*, Germany, 12

- set. 2015. 46, p. 76-85. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/wasman>>. Acesso em: 09 fev. 2018.
- SONG, Q.; LI, J.; ZENG, X. Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy. *Journal of Cleaner Production*, China, 21 ago. 2014. 104, p. 199-210. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 07 fev. 2018.
- SOO, V. K.; PEETERS, J.; PARASKEVAS, D.; COMPSTON, P. Sustainable aluminium recycling of end-of-life products: A joining techniques perspective. *Journal of Cleaner Production*, Australia, 28 dez. 2017. 178, p. 119-132. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 09 fev. 2018.
- SPADA, A. The influence of shelf life on food waste: A model-based approach by empirical market evidence. *Journal of Cleaner Production*, Italy, 10 nov. 2017. 172, p. 3410-3414. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 10 fev. 2018.
- SROUR, I. M.; CHEHAB, G.R.; EL-FADEL, M. Pilot-based assessment of the economics of recycling construction demolition waste. *Waste Management & Research*, Lebanon, 01 jan. 2013. 31 (11), p. 1170-1179. Disponível em: <<http://sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav>> DOI: 10.1177/0734242X13479430>. Acesso em: 07 fev. 2018.
- STRAUCH, M. Gestão de recursos naturais e resíduos. In: STRAUCH. *Resíduos: como lidar com recursos naturais*. São Leopoldo: Oikos, 2008. p. 29-82.
- SUBRAMANIAN, N.; GUNASEKARAN, A. Cleaner supply-chain management practices for twenty-first-century organizational competitiveness: Practice-performance *framework* and research propositions. *International Journal of Production Economics*, 164, 216-233 (2015).
- SZEJKA, A. L.; CANCELIERI JR., O.; PANETTO, H.; LOURES, E. R.; AUBRY, A. Semantic interoperability for an integrated product development process: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, v.55, n.22, pp.6691-6709, 2017.
- TAKAHASHI, S. & TAKAHASHI, V. P. *Gestão de inovação de produtos: estratégia, processo, organização e conhecimento*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2007.
- ULRICH, K. & EPPINGER, S. *Product design and development*. New York: McGraw-Hill, 1995.
- TANSEL, B. From electronic consumer products to e-wastes: Global outlook, waste quantities, recycling challenges. *Environment International*, USA, 08 out. 2015. 98, p. 37-45. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/envint>>. Acesso em: 05 fev. 2018.
- TANSKANEN, P. Management and recycling of electronic waste. *Acta Materialia*, Finland, 11 maio 2012. 61, p. 1001-1011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2012.11.005>>. Acesso em: 06 fev. 2018.
- TECCHIO, P. In search of standards to support circularity in product policies: A systematic approach. *Journal of Cleaner Production*, Italy, 31 maio 2017. 168, p. 1533-1546. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 05 fev. 2018.
- TEIXEIRA, G. F. G., *Método de Planejamento Estratégico do Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos Sustentáveis (PEPDIPS)*. 2017.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, PUCPR.

- TEIXEIRA, G.F.G.; CANGIOLIERI JR, O. How to make Strategic Planning for Corporate Sustainability?. *Journal Of Cleaner Production*, v. 230, p. 1421-1431, 2019.
- TERRA. Blog – Média horas brasileiro assiste TV. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/diversao/tv/blog-sala-de-tv/brasileiro-passa-em-media-5-horas-por-dia-diante-da-tv,fbbb34cbca28180b72805407aa1688dao62ier5r.html>>. Acesso em: feb. 2020.
- THE GREAT RECOVERY | RE-DESIGNING THE FUTURE. Report: the great recovery - rearranging the furniture. Disponível em: <<https://www.thersa.org/discover/publications-and-articles/reports/the-great-recovery-rearranging-the-furniture>>. Acesso em: 24 jul. 2019.
- THESAURUS.COM. Synonym. Disponível em: <<http://www.thesaurus.com/browse/synonym>>. Acesso em: out. 2015.
- TIAN, G. Technology innovation system and its integrated structure for automotive components remanufacturing industry development in China. *Journal of Cleaner Production*, China, 16 set. 2014. 85, p. 419-432. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 10 feb. 2018.
- TISCHER, A.; BESIQU, M.; GRAUBNER, C.A. Efficient waste management in construction logistics: a refurbishment case study. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 09 jul. 2013. 6, p. 159-171. Disponível em: <<http://DOI.10.1007/s12159-013-0105-5>>. Acesso em: 04 feb. 2018.
- TIZZARD, A. An introduction to computer-aided engineering. XVI. ed. rev. London, UK: McGraw-Hil, 1994. 293 p. v. III. ISBN 0077079744 9780077079741. DOI 9780077079741. Disponível em: <<https://www.abebooks.com/servlet/BookDetailsPL?bi=30321740609&cm>>. Acesso em: 17 sep. 2019.
- UNITED NATIONS - Geospatial Information Section. Disponível em: <<http://www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm>>. Acesso em: 07 feb. 2018.
- UNITED NATIONS CONFERENCE ON THE HUMAN ENVIRONMENT (1972). Disponível em: <<https://www.encyclopedia.com/environment/energy-government-and-defense-magazines/united-nations-conference-human-environment-1972>>. Environmental Science: In Context. Acesso em: 26 Aug. 2019
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. "STOCKHOLM 1972: report of the united nations conference on the human environment. Disponível em: <<http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?documentID=97>>. Acesso em: 26 aug. 2019
- UNITED NATIONS. "U.N. CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (1992)." Disponível em: <<http://www.un.org/geninfo/bp/enviro.html>> (:Acesso em: 26 Aug. 2019.
- UNRUH, G. U., Método Conceitual de Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos Eletrodomésticos Orientado para a Usabilidade. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade

- Católica do Paraná, Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- UNRUH, G. U., MODELO DE ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE NECESSIDADES HUMANAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS - HUNE. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- VALARINHO, L. G. C. S. Construção em Vidro Estrutural. Comportamento Estrutural de Vigas Mistas Vidro-Gfrp. Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa. Dissertação de Mestrado. Lisboa, 2010.
- VELEVA, V.; BODKIN, G.; TODOROVA, S. The need for better measurement and employee engagement to advance a circular economy: Lessons from Biogen's "zero waste" journey. *Journal of Cleaner Production*, USA, 31 mar. 2017. 154, p. 517-529. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 10 feb. 2018
- WAGNER, J. Incentivizing sustainable waste management. *Ecological Economics*, USA, 14 dez. 2010. 70, p. 585-594. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/ecocon>>. Acesso em: 05 feb. 2018.
- WANG, J. Identifying best design strategies for construction waste minimization. *Journal of Cleaner Production*, China, 27 dez. 2014. 92, p. 237-247. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 05 feb. 2018.
- WARD, M. N.; WELLS, B.; DIYAMANDOGLU, V. Development of a *framework* to implement a recycling program in an elementary school. *Resources, Conservation and Recycling*, USA, 25 mar. 2018. 86, p. 138-146. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/resconrec>>. Acesso em: 04 feb. 2018.
- WILTS, H.; DEHOUST, G.; JEPSEN, D.; KNAPPE, F. Eco-innovations for waste prevention — Best practices, drivers and barriers. *Science of the Total Environment*, Germany, 06 jul. 2013. 461-462, p. 823-829. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/scitotenv>>. Acesso em: 04 feb. 2018.
- WINKLER, J.; BILLITEWSKI, B. Comparative evaluation of life cycle assessment models for solid waste management. *Waste Management*, Germany, 10 maio 2008. 27, p. 1021-1031. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/resconrec>>. Acesso em: 03 feb. 2018.
- WU, E.M.Y.; TSAI, C.C.; KUO, S.L. Development of a New Municipal Solid Waste Management System: Multi-Objective Programming for a Merged Metropolis. I-Shou University Research Development Program, Taiwan, 25 mar. 2018. 1, p. 1-8. Disponível em: <<http://NSC-100-2221-E214-024>>. Acesso em: 04 feb. 2018.
- Y - CUGN. L'Écho du Tri. Printemps. Nancy, Trimestriel, N°17, p.2, 2008.
- YANG, Q.; YU, S.; JIANG, D. A modular method of developing an eco-product family considering the reusability and recyclability of customer products. *Journal of Cleaner Production*, China, 07 ago. 2016. 64, p. 254-265. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 02 feb. 2017
- YATES, J.K. Sustainable methods for waste minimisation in construction. *Construction Innovation*, USA, 01 jan. 2011. 13, p. 281-301. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/CI-Nov-2011-0054>>. Acesso em: 10 feb. 2018.
- YEAP, K. S.; YAACOB, M.N.; RAO, S.P. Incorporating waste into an experimental school prototype: lessons regarding materials reclamation opportunities. *Waste Management & Research*, Malaysia, 01 jan. 2012. 30(12), p. 1251-1260. Disponível

- em: <<http://10.1177/0734242X12465459>>. Acesso em: 05 feb. 2018
- YEHEYIS, M.; HEWAGE, K.; ALAM, M.S; ESKICIOGLU, C. An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. *Clean Techn Environ Policy*, Canada. 25 abr. 2012. 15, p. 81-91. Disponível em: <<http://DOI 10.1007/s10098-012-0481-6>>. Acesso em: 03 feb. 2018.
- YU, Rui et al. Efficient reuse of the recycled construction waste cementitious materials. *Journal of Cleaner Production*, Netherlands, 14 maio 2014. 78, p. 202-207. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 04 feb. 2018.
- ZAMAN, A. U. A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines. *Journal of Cleaner Production*, Austrália, 17 out. 2014. 91, p. 12-25. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 02 feb. 2018.
- ZAMAN, A. U. Challenges and Opportunities in Transforming a City into a “Zero Waste City”. *Challenges*, Australia, 02 nov. 2011. 2, p. 73-93. Disponível em: <<http://doi:10.3390/challe2040073>>. Acesso em: 03 feb. 2018.
- ZAMAN, A. U. Identification of key assessment indicators of the zero waste management systems. *Ecological Indicators*, Australia, 17 set. 2013. 36, p. 682-693. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/ecolind>>. Acesso em: 05 feb. 2018.
- ZAMAN, A. U.; LEHMANN, S. The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a ‘zero waste city’. *Journal of Cleaner Production*, Australia, 31 jan. 2013. 50, p. 123-132. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 10 feb. 2018.
- ZAMORANO, M.; MOLERO, E.; GRINDLAY, A.L.; ROJAS, M.I. R. Diagnosis and proposals for waste management in industrial areas in the service sector: case study in the metropolitan area of Granada (Spain). *Journal of Cleaner Production*, Spain, 13 jul. 2011. 19, p. 1946-1955. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>.
- ZELKO, M.; OVAVCOVA, E. Transforming Raw Material Industry With Respect To The Environment. *European Scientific Journal*, Slovak Republic, 2013. p. 1857-7881. Disponível em: <<https://eujournal.org/index.php/esj>>. Acesso em: feb. 2018.
- ZEN, I.S.; SUBRAMANIAM, D.; SULAIMAN, H.; SALEH, A.; OMAR, W.; SALIM, M.R. Institutionalize waste minimization governance towards campus sustainability: A case study of Green Office initiatives in Universiti Teknologi Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, Malaysia, 11 jul. 2016. 135, p. 1407-1422. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 05 feb. 2018.
- ZENG, X.; LI, J. Measuring the recyclability of e-waste: an innovative method and its implications. *Journal of Cleaner Production*, China, 17 maio 2016. 131, p. 156-162. Disponível em: <<http://Www.elsevier.com/locate/jclepro>>. Acesso em: 06 feb. 2018.