

## RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a) o  
texto completo desta Tese será  
disponibilizado somente a partir de  
27/01/2023.



EDUARDO JOSÉ PEREIRA MARTIN

***Framework* para avaliação dos aspectos ambientais e sociais da gestão de  
resíduos de garrafas pet pós-consumo**

BAURU  
2021

EDUARDO JOSÉ PEREIRA MARTIN

***Framework* para avaliação dos aspectos ambientais e sociais da gestão de  
resíduos de garrafas pet pós-consumo**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia de Bauru da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Bauru.

Área de Concentração: Gestão de Sistemas Produtivos

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra.Barbara Stolte Bezerra

BAURU  
2021

Martin, Eduardo José Pereira.

*Framework* para avaliação dos aspectos ambientais e sociais da cadeia de suprimentos reversa de garrafas PET / Eduardo José Pereira Martin, 2021.

165 f.

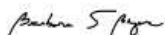
Orientadora: Profa. Dra. Barbara Stolte Bezerra

Tese (Doutorado)–Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2021.

1. Avaliação do Ciclo de Vida . 2. Integração. 3. PET. 4. ACV Social e 5. AHP. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. *Framework* para avaliação dos aspectos ambientais e sociais da gestão de resíduos de garrafas pet pós-consumo

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE EDUARDO JOSÉ PEREIRA MARTIN, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.**

Aos 27 dias do mês de janeiro do ano de 2021, às 09:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de EDUARDO JOSÉ PEREIRA MARTIN, intitulada **FRAMEWORK DA AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS DA GESTÃO DE RESÍDUOS DE GARRAFAS PET PÓS-CONSUMO**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof<sup>ra</sup>. Dr<sup>a</sup>. BARBARA STOLTE BEZERRA (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof<sup>ra</sup>. Dr<sup>a</sup>. ROSANE APARECIDA GOMES BATTISTELLE (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. ENZO BARBERIO MARIANO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO ROCCO LAHR (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Estruturas / Escola de Engenharia de São Carlos - USP, Prof. Dr. OTAVIO JOSE DE OLIVEIRA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Produção / Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP. Após a exposição pelo doutorando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.



Prof<sup>ra</sup>. Dr<sup>a</sup>. BARBARA STOLTE BEZERRA

Dedico este trabalho aos meus pais, Mauro e Nair, que sempre foram um referencial de conduta e persistência para mim. Aos meus irmãos, João Paulo, Luiz Gabriel e Mateus, pela oportunidade de crescer ao lado deles, vendo, em cada um, amor e companheirismo. Em especial, à minha esposa, uma companheira inseparável e admirável, sempre me impulsionando a prosseguir.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que sempre me direciona no caminho certo e me ajuda a enfrentar e a vencer a cada desafio que surge em minha vida.

À minha amada esposa, Fernanda, que caminha ao meu lado, sempre me apoiando em todos os nossos empreendimentos. Agradeço-a por ser minha amiga, minha conselheira e meu suporte nas horas mais difíceis.

Aos meus pais, Mauro Gabriel Martin e Nair Pereira Martin, pela educação, força, dedicação e amor que sempre me proporcionaram.

À minha orientadora, Barbara Stolte Bezerra, que me auxiliou em minha caminhada ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Renato de Campos, Rosane Ap. Gomes Battistelle, Manoel Henrique Salgado, pelo apoio ao longo do desenvolvimento do Doutorado.

Aos funcionários da seção de Graduação e Pós-Graduação e do Departamento de Engenharia de Produção, por estarem sempre dispostos a ajudar, contribuindo muito para o desenvolvimento deste trabalho.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Fluxograma metodológico para a elaboração dos <i>frameworks</i> para ACV ambiental e social da gestão do resíduo da garrafa PET pós-consumo e sua integração.....                                                                                 | 24 |
| Figura 2: Fluxograma metodológico da execução dos <i>frameworks</i> para ACV ambiental e social da gestão do resíduo da garrafa PET pós-consumo e sua integração – Estudo de caso.....                                                                      | 26 |
| Figura 3: Tripé da Sustentabilidade ( <i>Triple Bottom Line</i> ).....                                                                                                                                                                                      | 29 |
| Figura 4: Ciclo de vida da garrafa PET .....                                                                                                                                                                                                                | 31 |
| Figura 5: Coleta Seletiva Tradicional .....                                                                                                                                                                                                                 | 34 |
| Figura 6: Etapas da pesquisa .....                                                                                                                                                                                                                          | 35 |
| Figura 7: Número de artigos publicados ao longo dos anos.....                                                                                                                                                                                               | 38 |
| Figura 8: Foco de pesquisa .....                                                                                                                                                                                                                            | 46 |
| Figura 9: Setor analisado .....                                                                                                                                                                                                                             | 49 |
| Figura 10: Beneficiários da avaliação do ciclo de vida na cadeia de suprimentos.....                                                                                                                                                                        | 50 |
| Figura 11: Setores de aplicação da avaliação do ciclo de vida.....                                                                                                                                                                                          | 51 |
| Figura 12: Reciclagem da PET .....                                                                                                                                                                                                                          | 52 |
| Figura 13: Benefícios de desempenho.....                                                                                                                                                                                                                    | 53 |
| Figura 14: <i>Framework</i> metodológico para realização da ACV - Ambiental .....                                                                                                                                                                           | 61 |
| Figura 15: Limite do sistema para o cenário base (S1). .....                                                                                                                                                                                                | 70 |
| Figura 16: Limite do sistema para o cenário 2 (50% aterrado, 50% enviado para cooperativas de triagem, rejeito é aterrado).....                                                                                                                             | 71 |
| Figura 17: Limite do sistema para o cenário 3 (50% incinerados, 50% enviados para cooperativas de triagem, rejeitos de cooperativas de Bauru são incinerados, rejeitos de instalações de reciclagem em S. Carlos / Caieiras são depositados em aterro)..... | 72 |
| Figura 18: Limite do sistema para o cenário 4 (50% aterrado, 50% incinerado). .....                                                                                                                                                                         | 73 |
| Figura 19: Limite do sistema para o cenário 5 (100% enviado para cooperativas de triagem, o rejeito é depositado em aterro) .....                                                                                                                           | 74 |
| Figura 20: Limite do sistema para o cenário 6 (100% aterrado). .....                                                                                                                                                                                        | 75 |
| Figura 21: Limite do sistema para o cenário 7 (100% incinerado). .....                                                                                                                                                                                      | 75 |
| Figura 22: Limite do sistema para o cenário 8 (100% enviado para cooperativas de triagem, 50% coletado em Ecopontos, rejeito é depositado em aterro).....                                                                                                   | 76 |
| Figura 23: Limite do sistema para o cenário 9 (100% enviado para cooperativas de triagem, 75% coletado em Ecopontos, rejeito é depositado em .....                                                                                                          | 77 |



|                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 24: Impacto total para as categorias de mudança climática e destruição da camada de ozônio e discriminação das contribuições. ....      | 86  |
| Figura 25: Impacto total das categorias de acidificação terrestre e eutrofização de água doce e repartição das contribuições. ....             | 86  |
| Figura 26: Impacto total para as categorias de toxicidade humana, ecotoxicidades terrestres e de água doce e repartição das contribuições..... | 87  |
| Figura 27: <i>Framework</i> metodológico para realização da ACV - Social .....                                                                 | 101 |
| Figura 28: Metodologias para integração sustentável da Avaliação do ciclo de vida.....                                                         | 121 |
| Figura 29: Estrutura de avaliação do ciclo de vida e principais metodologias de análise de sustentabilidade .....                              | 122 |
| Figura 30: Etapas para integração das ACV's pelo método AHP.....                                                                               | 125 |
| Figura 31: Cenário base para estudo de ACV ambiental.....                                                                                      | 156 |
| Figura 32: Gráfico do <i>Framework</i> dos impactos ambientais .....                                                                           | 158 |
| Figura 33: Exemplo questionário para os Grupo 1 e 2 .....                                                                                      | 160 |
| Figura 34: Pontuação Final.....                                                                                                                | 161 |

## **LISTA DE QUADROS**

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Quadro 1: Categorias para classificar e codificar os artigos analisados.....                        | 38  |
| Quadro 2: Lista de inventário : descrição dos processos na ficha 2 “Processos Simapro”. ....        | 80  |
| Quadro 3: Resumo da revisão da literatura sobre Avaliação do Ciclo de Vida em resíduos de PET. .... | 98  |
| Quadro 4: Indicadores de categorias e subcategorias de partes interessadas .....                    | 107 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1: Resultados preliminares da pesquisa do banco de dados – Abril/ 2018.....                                                              | 36  |
| Tabela 2: Número Final de artigos selecionados.....                                                                                             | 37  |
| Tabela 3: Classificação e codificação dos estudos analisados .....                                                                              | 40  |
| Tabela 4: Os 10 artigos mais citados e suas citações totais na base de dados Scopus .....                                                       | 41  |
| Tabela 5: Autores com o maior número de publicações .....                                                                                       | 44  |
| Tabela 6: Frequência de artigos classificados por contexto .....                                                                                | 45  |
| Tabela 7: Frequência dos artigos classificados pelo método de pesquisa. ....                                                                    | 47  |
| Tabela 8: Resíduos sólidos municipais (RSU) e resíduos PET coletados em 2019.....                                                               | 64  |
| Tabela 9: Distâncias de Transportes estimadas para a coleta do resíduo da garrafa PET em Bauru. ....                                            | 66  |
| Tabela 10: Consumo de energia e entrada de materiais para reciclagem em Bauru (por ton. resíduo PET).....                                       | 78  |
| Tabela 11: Frota de coleta e transporte em Bauru. ....                                                                                          | 78  |
| Tabela 12: Resultados de impacto ambiental para todos os cenários. Os valores de impacto são expressos por tonelada (t) de resíduos de PET..... | 88  |
| Tabela 13: O sistema de pontuação proposto. ....                                                                                                | 109 |
| Tabela 14: Sistema de pontuação .....                                                                                                           | 110 |
| Tabela 15: Resumo dos resultados de sete subcategorias para os cinco cenários de eliminação .....                                               | 112 |
| Tabela 16: Resultados de saúde e subcategoria de segurança para os cinco cenários de eliminação.....                                            | 113 |
| Tabela 17: Pontuação de saúde e subcategoria de segurança para os cinco cenários de eliminação.....                                             | 113 |
| Tabela 18: Pontuações para os cinco cenários de eliminação .....                                                                                | 114 |
| Tabela 19: Pontuações finais para os cenários de descarte .....                                                                                 | 114 |
| Tabela 20: Comparação dos resultados .....                                                                                                      | 116 |
| Tabela 21: ACV-Social normalizada de 0 à 1 .....                                                                                                | 127 |
| Tabela 22: Matriz de preferência entre os cenários ACV-Social .....                                                                             | 127 |
| Tabela 23: Pontuações normalizadas para critérios ambientais .....                                                                              | 133 |
| Tabela 24: Intensidade de importância atribuída aos nove cenários de destinação final .....                                                     | 133 |
| Tabela 25: Prioridades entre os cenários – Ambiental .....                                                                                      | 134 |
| Tabela 26: Pontuações normalizadas para critérios sociais.....                                                                                  | 135 |

|                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 27: Intensidade de importância atribuída aos nove cenários de destinação final – SOCIAL.....              | 135 |
| Tabela 28: Prioridades entre os cenários – SOCIAL.....                                                           | 136 |
| Tabela 29: Pontuações normalizadas para critérios ambientais e sociais.....                                      | 137 |
| Tabela 30: Intensidade de importância atribuída aos nove cenários de destinação final – SOCIAL e AMBIENTAL ..... | 137 |
| Tabela 31: Prioridades entre os cenários – SOCIAL e AMBIENTAL .....                                              | 137 |
| Tabela 32: Índice de sustentabilidade entre os cenários.....                                                     | 137 |
| Tabela 33: Análise de sensibilidade índices de sustentabilidade .....                                            | 138 |
| Tabela 34: <i>Framework</i> fluxo de material ACV.....                                                           | 157 |
| Tabela 35: <i>Framework</i> fluxo de transporte ACV .....                                                        | 157 |
| Tabela 36: <i>Framework</i> para os resultados da ACV.....                                                       | 158 |
| Tabela 37: Pontuação <i>Framework</i> –Social.....                                                               | 161 |
| Tabela 38: Dados de entrada ACV Social, sem normalizar .....                                                     | 163 |
| Tabela 39: Dados de entrada da ACV sem normalizar .....                                                          | 164 |
| Tabela 40: Classificação final após integração (Social e Ambiental) .....                                        | 165 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|           |                                                                       |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|
| ACCE      | Avaliação do Ciclo e Vida Econômico                                   |
| ASCV      | Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida                        |
| ACVA      | Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental                                  |
| ABNT      | Associação Brasileira de Normas Técnicas                              |
| ACV       | Avaliação do Ciclo de Vida                                            |
| ACVS      | Avaliação do Ciclo de Vida Social                                     |
| AHP       | Análise Hierárquica do Processo                                       |
| AICV      | Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida                                 |
| ASCAM     | Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis de Bauru e região   |
| ASCV      | Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida                        |
| ATP       | Ácido Tereftálico Purificado                                          |
| B2B       | <i>Business-to-Business</i>                                           |
| BR        | Brasil                                                                |
| DS        | Desenvolvimento Sustentável                                           |
| EG        | Etileno Glicol                                                        |
| EMBURD    | Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru          |
| ETAR      | Estação de tratamento de águas residuais                              |
| EURO      | Europa                                                                |
| FEB       | Faculdade de Engenharia de Bauru                                      |
| GPL       | Gás Liquefeito de Petróleo                                            |
| ISO       | <i>International Organization for Standardization</i>                 |
| LCSA      | <i>Life Cycle Sustainability Assessment</i>                           |
| MAVT      | <i>Multiattribute Value Theory</i>                                    |
| MDCA      | <i>Multi-criteria decision analysis</i>                               |
| PE        | Polietileno                                                           |
| PET       | Polietileno Tereftalato                                               |
| PNRS      | Política Nacional de Resíduos Sólidos                                 |
| PROMITHEE | <i>Preference Ranking Organization Method for Enriched Evaluation</i> |
| SEMMA     | Secretaria Municipal do Meio Ambiente                                 |
| TOPSIS    | <i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i> |
| UNESP     | Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”              |

## SUMÁRIO

|                                                                                       |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....</b>                                                      | <b>VI</b>   |
| <b>LISTA DE QUADROS.....</b>                                                          | <b>VIII</b> |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                                                          | <b>IX</b>   |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>                                                     | <b>XI</b>   |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                                            | <b>17</b>   |
| 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA .....                                                        | 18          |
| 1.2. OBJETIVOS.....                                                                   | 19          |
| <b>1.2.1 Objetivo principal.....</b>                                                  | <b>19</b>   |
| <b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>                                               | <b>19</b>   |
| 1.3 JUSTIFICATIVA .....                                                               | 20          |
| 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....                                                       | 22          |
| 1.5 MÉTODOS UTILIZADOS NA TESE.....                                                   | 23          |
| <b>2. REVISÃO ESTRUTURADA SOBRE A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA GARRAFA PET .....</b> | <b>27</b>   |
| 2.1 INTRODUÇÃO.....                                                                   | 27          |
| 2.2 REVISÃO TEÓRICA .....                                                             | 28          |
| <b>2.2.1 Sustentabilidade.....</b>                                                    | <b>28</b>   |
| <b>2.2.2 Avaliação Do Ciclo De Vida.....</b>                                          | <b>30</b>   |
| 2.2.2.1 Ciclo de vida da garrafa PET.....                                             | 30          |
| 2.2.2.2 Conceito e aplicações da Avaliação do Ciclo de Vida .....                     | 31          |
| <b>2.2.3 Logística reversa .....</b>                                                  | <b>33</b>   |
| <b>2.2.4 Revisão estruturada da literatura .....</b>                                  | <b>35</b>   |
| 2.2.4.1 Resultados da Análise Bibliométrica.....                                      | 38          |
| 2.2.4.1.1 <i>Categorias Analisadas</i> .....                                          | 45          |
| 2.2.4.2. Discussões .....                                                             | 54          |
| <b>2.2.5 Considerações deste capítulo .....</b>                                       | <b>55</b>   |
| <b>3. AVALIAÇÃO AMBIENTAL DO DESCARTE DA GARRAFA PET .....</b>                        | <b>57</b>   |
| 3.1 INTRODUÇÃO.....                                                                   | 57          |
| 3.2 POLÍTICA DE GESTÃO DE RESÍDUOS NO BRASIL .....                                    | 59          |
| 3.3 <i>Framework</i> pAra aplicação da ACV ambiental .....                            | 61          |
| 3.4 Aplicação do <i>framework</i> da ACV ambiental na cidade de Bauru .....           | 63          |
| <b>3.4.1. Objetivo e escopo .....</b>                                                 | <b>63</b>   |

|                                                                                                                        |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>3.4.2. Inventário .....</b>                                                                                         | <b>78</b>  |
| <b>3.4.3 Avaliação de impacto .....</b>                                                                                | <b>84</b>  |
| <b>3.4.4 Avaliação de impacto .....</b>                                                                                | <b>85</b>  |
| 3.4.4.1 Resultados.....                                                                                                | 85         |
| 3.4.4.2 Discussão .....                                                                                                | 91         |
| <b>3.5 CONCLUSÃO DESTE CAPÍTULO .....</b>                                                                              | <b>94</b>  |
| <b>4. ACV SOCIAL DA GESTÃO DO RESÍDUO DA GARRAFA PET PÓS-CONSUMO .....</b>                                             | <b>96</b>  |
| 4.1 Introdução.....                                                                                                    | 96         |
| 4.2 Avaliação do ciclo de vida social (ACVS).....                                                                      | 97         |
| <b>4.2.1 Avaliação do ciclo de vida social (ACVS) da gestão do resíduo da garrafa PET pós-consumo .....</b>            | <b>98</b>  |
| <b>4.2.2 Avaliação do ciclo de vida social (ACVS) da gestão do resíduo da garrafa PET pós-consumo no Brasil.....</b>   | <b>100</b> |
| 4.3 <i>Framework</i> para aplicação da ACV Social .....                                                                | 101        |
| 4.4 Aplicação do <i>framework</i> da ACV ambiental na cidade de Bauru .....                                            | 103        |
| <b>4.4.1 Objetivo e escopo .....</b>                                                                                   | <b>103</b> |
| 4.4.1.1 Caracterização da área de estudo.....                                                                          | 104        |
| 4.4.1.2 Referência normativa ACVS .....                                                                                | 105        |
| 4.4.1.3 Objetivo .....                                                                                                 | 105        |
| <b>4.4.2 Inventário do ciclo de vida.....</b>                                                                          | <b>107</b> |
| <b>4.4.3 Avaliação de impacto .....</b>                                                                                | <b>108</b> |
| <b>4.4.4 Interpretação.....</b>                                                                                        | <b>111</b> |
| 4.4.4.1 Resultados da ACVS .....                                                                                       | 111        |
| 4.4.4.2 Avaliação do impacto social.....                                                                               | 113        |
| 4.4.4.3 Interpretação .....                                                                                            | 114        |
| 4.4.4.4 Discussão .....                                                                                                | 116        |
| <b>4.5 CONCLUSÃO DESTE CAPÍTULO .....</b>                                                                              | <b>117</b> |
| <b>5. INTEGRAÇÃO DA AVALIAÇÃO AMBIENTAL E SOCIAL DAS DESTINAÇÕES DO CICLO DE VIDA para GARRAFA PET .....</b>           | <b>119</b> |
| 5.1 INTRODUÇÃO.....                                                                                                    | 119        |
| 5.2 REVISÃO TEÓRICA .....                                                                                              | 120        |
| 5.3 <i>FRAMEWORK</i> PARA INTEGRAÇÃO DA AVALIAÇÃO AMBIENTAL E SOCIAL DAS DESTINAÇÕES DO CICLO DE VIDA GARRAFA PET..... | 124        |

|                                                                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.4 APLICAÇÃO DO <i>FRAMEWORK</i> DA INTEGRAÇÃO ACV AMBIENTAL E SOCIAL NA CIDADE DE BAURU .....                  | 129        |
| <b>5.4.1 Definir objetivos.....</b>                                                                              | <b>129</b> |
| 5.4.1.1 Objetivo e escopo .....                                                                                  | 129        |
| 5.4.1.2 Fronteiras do sistema .....                                                                              | 129        |
| <b>5.4.2 Definir critérios dos pilares .....</b>                                                                 | <b>132</b> |
| <b>5.4.3 Definir os pesos entre os cenários e a razão de consistência.....</b>                                   | <b>132</b> |
| 5.4.3.1 Resultados da ACV – Ambiental .....                                                                      | 132        |
| 5.4.3.2 Resultados da ACV –SOCIAL .....                                                                          | 134        |
| <b>5.4.4 Definir os pesos entre as ACV´s e a razão de consistência.....</b>                                      | <b>136</b> |
| <b>5.4.5 Ponderando as alternativas.....</b>                                                                     | <b>137</b> |
| 5.5 CONCLUSÃO DESTE CAPÍTULO .....                                                                               | 138        |
| <b>CONCLUSÃO DA TESE.....</b>                                                                                    | <b>141</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                                                         | <b>145</b> |
| <b>APÊNDICE A1 - Sistematização das contribuições dos artigos analisados.....</b>                                | <b>154</b> |
| <b>APÊNDICE A2 – <i>Framework</i> para avaliação do ciclo de vida ambiental de resíduos da garrafa pet.....</b>  | <b>156</b> |
| <b>Apêndice A3 – <i>Framework</i> para avaliação do ciclo de vida social de resíduos da garrafa pet.....</b>     | <b>160</b> |
| <b>APÊNDICE A4 – <i>Framework</i> para integração das ACV ambiental e social de resíduos da garrafa pet.....</b> | <b>163</b> |



## RESUMO

A problemática dos resíduos é uma questão atual que precisa ser tratada com relevância. Apesar de a Política Nacional de Resíduos Sólidos ter sido instituída no ano de 2010, muito ainda tem que ser feito para seu pleno estabelecimento. Uma ferramenta que surgiu para potencializar a gestão de resíduos sólidos é Avaliação do Ciclo de Vida, porém sua utilização plena nos três pilares da sustentabilidade ainda é incipiente. Logo, este trabalho teve como objetivo estabelecer um *framework* para a realização de ACV e a ACV Social no momento em que a garrafa PET é descartada pelo usuário final, explorando alternativas que combinem a coleta seletiva convencional, utilização de Ecopontos e destinação final dos resíduos da garrafa PET não aproveitados para reciclagem. Este trabalho conseguiu atingir esse objetivo através de três objetivos específicos. O primeiro objetivo foi atingido através da revisão Estruturada da literatura onde foi possível mapear na literatura a aplicação da ACV dos resíduos de garrafa PET, evidenciando a lacuna de pesquisa e os fatores determinantes para a execução desta ferramenta. Esses fatores determinantes para a execução da ACV foram chamados de recomendações, e foram essas recomendações que serviram de entradas para a execução das ACV's e estabelecimento dos *Frameworks*. O segundo objetivo específico foi atingido através do estabelecimento de dois *Frameworks* para avaliar os impactos ambientais e sociais. Essas estruturas foram aplicadas no estudo de caso da cidade de Bauru, onde foram avaliadas 9 alternativas de destinação dos resíduos das garrafas PET descartadas. Nesta análise é possível encontrar a alternativa mais sustentável para destinação dos resíduos de garrafa PET, bem como uma estrutura base para nortear trabalhos futuros quanto aos pilares ambiental e social, analisados separadamente. Por fim, o terceiro objetivo específico foi atingido através do estabelecimento de um *framework* de integração das avaliações do ciclo de vida quanto aos impactos ambientais e sociais, utilizando a metodologia AHP modificada. A modificação do AHP se deu pela utilização dos resultados normalizados das ACV ambiental e social aplicados ao Vetor de Eigen para o estabelecimento de pesos entre os elementos analisados (Cenários e Pilares). Os três *frameworks* desenvolvidos podem ser utilizados em cidades que buscam realizar uma gestão sustentável quanto aos seus resíduos sólidos urbanos, assim atendendo os princípios legais das legislações em vigor, e gerando processos mais eficientes.

**Palavras Chave:** Avaliação do Ciclo de Vida, Integração, PET, ACV Social, AHP.

## ABSTRACT

The adequate waste disposal is a current issue that needs to be addressed. Although the advances of Brazilian National Solid Waste Policy settled in 2010, there is a long way to its fulfillment establishment. A tool that has emerged to enhance the management of solid waste is the Life Cycle Assessment. However, the use of the three pillars of sustainability in the LCA procedures is still incipient. Therefore, this work aimed to establish a framework for performing LCA and Social LCA at the time when the PET bottle is discarded by the end user, exploring alternatives that combine conventional selective collection, use of Ecopoints and final disposal. In order to achieve that, three specific objectives are established. The first objective was achieved through a systematic review of the literature where it was possible to map the application of the LCA of PET bottle waste, highlighting research gaps and the determining factors for the implementation of LCA. These determining factors for the execution of the LCA were called recommendations, and it was these recommendations that served as inputs for the execution of the LCAs and establishment of the Frameworks. The second specific objective was achieved through the establishment of two Frameworks to assess environmental and social impacts. These structures were applied in the case study of the city of Bauru, where 9 alternatives for the disposal of waste from discarded PET bottles were evaluated. In this analysis it is possible to find the most sustainable alternative for the disposal of PET bottle waste. Finally, the third specific objective was achieved through the establishment of a framework for the integration of LCA regarding environmental and social impacts, using the modified AHP methodology. The modification of the AHP was achieved using the normalized results of the environmental LCA and related to the Eigen Vector for the establishment of weights among the necessary elements (Scenarios and Pillars). The three frameworks developed can be used as a tool in cities that want to carry out sustainable management regarding its solid urban waste. Thus, complying with the legislation, and generating more efficient processes.

**Keywords:** Life Cycle Assessment, Integration, PET, Social LCA, AHP.

## 1. INTRODUÇÃO

O comércio atua como um elemento chave para aumentar a extração, processamento e degradação de recursos naturais. A situação fica mais crítica quando se nota uma relação comercial focada exclusivamente no aspecto econômico, não tendo relação com a dinâmica ambiental de regeneração de recursos naturais gerando uma questão de insustentabilidade (HUANG *et al* 2017).

Essa questão problemática se torna resolúvel quando se estabelece uma dinâmica de comercialização sustentável em longo prazo, onde se torna imprescindível a inclusão de aspectos ambientais e sociais na negociação. Sendo imperativa a utilização de robustos modelos de governança para atingir o objetivo de progresso da sustentabilidade quanto aos pilares: Ambiental, Social e Econômico (SAUTIER *et al.*, 2018).

Uma das iniciativas em resposta a essa questão, no Brasil, foi à instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) para permitir o enfrentamento do manejo impróprio dos resíduos sólidos. O PNRS tem como objetivo a prevenção e redução na geração de resíduos, instituindo a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos: dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, o cidadão e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos na Logística Reversa dos resíduos e embalagens pós-consumo (MMA, 2015).

Entretanto conforme último estudo da ABRELPE (2018/2019) a geração de lixo no Brasil teve um incremento de 0,39% per capita entre os anos de 2017 e 2018. No ano 2018 a estimativa de geração de lixo foi de 79 milhões de toneladas, onde apenas 92% foram coletados (72,7 milhões). E ainda 40,5% dos 72,7 milhões de toneladas de resíduos sólidos coletados no país em 2018 tiveram como destino lixões e aterros controlados, que são locais inadequados e oferecem riscos ao meio ambiente e à saúde (ABRELPE, 2018/2019).

Dentre os descartes de resíduos sólidos de grande potencial para a reciclagem destaca-se o resíduo de PET (Polietileno tereftalato), principalmente nos resíduos de garrafas PET. Segundo os últimos dados do censo da ABI PET (2016a) 51% das 274.000 toneladas do resíduo de PET são reaproveitados, o restante cerca de 130 mil toneladas são descartadas de maneira inadequada.

Um fator limitante para evolução da reciclagem do PET no Brasil é o sistema de coleta seletiva convencional. A grande maioria dos consumidores não se preocupa em separá-lo, descartando-o juntamente com materiais orgânicos e outros materiais em seu

lixo domiciliar, que vem a diminuir o padrão produtivo nas cooperativas de reciclagem (FORMIGONI; SANTOS; MEDEIROS, 2014).

Com a responsabilidade compartilhada sobre os resíduos, as fontes geradoras podem financiar as soluções ambientais, como os Ecopontos, e assim melhorar o sistema de coleta convencional e atender a PNRS. Porém, essas soluções precisam ser avaliadas em relação ao seu benefício ambiental. Surge nessa área a ferramenta da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) o qual potencializa essa ação, identificando os impactos causados pela geração dos resíduos, tratamento e disposição dos mesmos (PARK; GUPTA, 2015).

Os atores envolvidos neste processo de gestão de resíduos de garrafa PET (Coletores de resíduos, Cooperados e Motoristas, operadores do Aterro) são afetados socialmente de acordo com os diferentes roteiros de destinação final. (HUERTAS-VALDIVIA et al, 2020).

Essas pessoas que desenvolvem na prática a operacionalização da gestão de resíduos sofrem frente à sociedade, sendo por vezes marginalizados. Onde suas atividades em si não são valorizadas, o que se reflete tanto na projeção de carreira quanto na remuneração que lhes é oferecida (FORMIGONI; SANTOS; MEDEIROS, 2014).

Assim, torna-se necessário utilizar uma ferramenta que mensure e seja elemento norteador para comparação entre as alternativas de destinação final de resíduos sobre a ótica do aspecto social. Foolmaun e Ramjeeawon (2013a) apontam a Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACVS) como elemento essencial para mensurar os impactos sociais.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Apesar da cadeia de suprimentos reversa do PET pós-consumo ser viável, a coleta dos materiais recicláveis ainda pode ser aperfeiçoada no Brasil e no mundo. Embora a maioria dos consumidores possua algum conhecimento sobre os impactos ambientais causados pelo descarte de materiais recicláveis no lixo doméstico comum, a evolução da reciclagem ocorre lentamente. E, como consequência, a disponibilidade do material reciclado do tipo PET é limitada, promovendo uma influência negativa em seu custo e dificultando a absorção desse material pelo mercado (FORMIGONI; SANTOS; MEDEIROS, 2014).

Isto posto, deve-se entender a reciclagem do PET como uma cadeia de suprimento para outros setores, abrangendo o aspecto da sustentabilidade. A coleta dos resíduos está no início da cadeia reversa do PET. No entanto, a grande maioria das coletas são realizadas por coletores (catadores), submetidos às condições sub-humanas. Sendo em sua grande maioria pessoas sem perspectivas de empregabilidade em outros setores, devido ao baixo índice de escolaridade, problemas de saúde; e que, se sujeitam às condições precárias e com baixa remuneração. Essa situação é agravada pela localização dispersa dos resíduos, forçando os coletores a buscarem esses materiais nas ruas em condições de alta insalubridade e periculosidade.

Dessa forma, a existência de Ecopontos pode contribuir para a solução da precariedade da atividade dos coletores, minimizando os custos de transporte e incentivando a população a separar o material reciclável. Logo se faz necessário efetuar uma avaliação aprofundada, sistêmica e interdisciplinar sobre a problemática em função de três premissas: o resíduo da garrafa PET como uma cadeia de suprimento para outros setores; o impacto social sobre as condições dos coletores, e o impacto ambiental da utilização de formas diferentes de coleta através dos Ecopontos.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo principal

Este trabalho tem o objetivo de apresentar um *framework* para a integração entre a ACV Ambiental e a ACV Social no momento em que a garrafa PET é descartada pelo usuário final, explorando alternativas que combinem a coleta seletiva convencional, utilização de Ecopontos e destinação final dos resíduos da garrafa PET não aproveitados para a reciclagem.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo principal foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- A. Definir quais são os fatores que realmente influenciam na avaliação da sustentabilidade, através da identificação dos fatores determinantes para aplicação da avaliação do ciclo de vida (ACV) na fronteira do descarte da

garrafa PET pelo usuário final até as cooperativas de reciclagem da garrafa PET e destino final dos resíduos, por meio de uma revisão estruturada da literatura.

- B. Criar um *framework* para avaliar os impactos ambientais e sociais, e aplicar essa estrutura de avaliação sobre um estudo de caso contendo 9 alternativas de destinação de resíduos de garrafas PET descartadas pelo usuário final no município de Bauru, São Paulo.
- C. Agregar os impactos ambientais e sociais em um único sistema e realizar a análise de sensibilidade através da atribuição de pesos sobre as perspectivas da ACV Ambiental e Social utilizando um *framework*. Aplicando essa estrutura sobre os dados do estudo de caso.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A relevância de estudos e práticas voltadas ao desenvolvimento sustentável teve forte crescimento após a emissão do Relatório de Brundtland no ano de 1987, onde houve uma disseminação do conceito de sustentabilidade a nível mundial. As organizações passaram a debater formas de atingir o desenvolvimento sustentável através da integração de aspectos ecológicos, sociais em seus produtos e processos produtivos (KLEWITZ e HANSEN, 2014).

Nesta busca pela sustentabilidade, Fiorini e Jabbour (2017) apontam a importância de pesquisas que utilizem de sistemas de informação para integrar os aspectos ambientais, sociais e econômicos nas organizações. Evidenciando essa ação como essencial para gerar uma gestão sustentável, possibilitando as organizações perseguir o desenvolvimento sustentável pela incorporação de práticas que levam a empresa atingir a sustentabilidade.

Sistemas de integração da avaliação do ciclo de vida sob os aspectos ambiental, social e econômico tem se mostrado relevantes para busca da sustentabilidade, conforme definido nos modelos apresentados por Kloeppfer (2008). (2008).

Porém, especificamente sobre os resíduos de garrafas PET existe uma necessidade de aprofundar estudos da integração sobre os impactos socioambientais. Isto pode ser constatado através do resultado da revisão estruturada da literatura apontada no capítulo 2. De 22 artigos selecionados com a temática central sobre avaliação do ciclo de vida de resíduos da garrafa PET, apenas os dois trabalhos de

Foolmaun e Ramjeawon no ano de 2013 focaram nas integrações entre os pilares da sustentabilidade. Integração socionambiental em Foolmaun e Ramjeawon (2013a) e integração social, econômica e ambiental em Foolmaun e Ramjeawon (2013b).

Os demais trabalhos: Navajas et al. (2017), Van Uytvanck et al. (2017), Aganovic et al. (2017), Hottle et al. (2017), Accorsi et al. (2015), Elduque et al. (2015), Akanuma et al. (2014), Kuczenski e Geyer (2013), Amienyo et al. (2013), Kang et al. (2017), Chen et al. (2016), Saleh (2016), Leejarkpai et al. (2016), Ingrao et al. (2016), Ingrao et al. (2014), Manfredi e Vignali (2015), Van Uytvanck et al. (2014), Papong et al. (2014), Toniolo et al. (2013) e Park e Gupta (2015), focaram majoritariamente no aspecto ambiental dos respectivos sistemas analisados. Evidenciando um gap a ser preenchido através desta pesquisa.

Essa pesquisa no SCOPUS revelou uma lacuna no emprego da avaliação do ciclo de vida em países em desenvolvimento, apenas 27% dos trabalhos: Foolmaun e Ramjeawon (2013), Saleh (2016), Leejarkpai et al. (2016), Papong et al. (2014) e Park e Gupta (2015), focaram em países em desenvolvimento. Sobre essa lacuna Saleh evidencia a necessidade de se empregar a utilização da ACV em países em desenvolvimento como forma de fomentar a sustentabilidade dos processos empresariais de maneira sinérgica à legislação local.

Observada a recomendação de Saleh (2016) justifica-se aplicar o estudo em uma cidade brasileira (Bauru-SP) para gerar um cenário que potencializa a colaboração entre empresas, sociedade e governo para promover a Política Nacional dos Resíduos Sólidos Brasileira (BRASIL, 2010). Recomendação ratificada por Foolmaun e Ramjeawon (2013b), onde demonstrou essa sinergia entre os apontamentos sustentáveis da ACV e a vinculação ao desenvolvimento de políticas públicas para o desenvolvimento sustentável.

Jabbour et al. (2014) mostrar que pode ser salutar aplicar esse tipo de pesquisa em uma cidade brasileira sob dois aspectos. O primeiro refere-se ao aspecto de colaboração para o estabelecimento da PNRS e outro ponto na divulgação do modelo sustentável de gestão à outros países, visto que o Brasil é um país de alta relevância na América do Sul.

A partir dos argumentos colocados, observa-se a importância de desenvolver um *framework* para a avaliação do ciclo de vida socioambiental de garrafas PET. Fornecendo assim uma estrutura base que poderá ser utilizada em outras cidades e

países. Contribuindo assim para o estabelecimento de políticas públicas e as diretrizes de desenvolvimento sustentável.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta tese foi escrita pensando cada capítulo como um artigo científico independente, respectivamente o Capítulo 2, Capítulo 3, Capítulo 4 e Capítulo 5. Contudo, todos os trabalhos apresentam uma conexão com o tema central: Uma estrutura para Avaliação do Ciclo de Vida da gestão dos resíduos da garrafa PET pós-consumo. Descreve-se a seguir a estrutura base de cada capítulo:

- **Capítulo 1 → Introdução.**

Apresenta a caracterização sobre a problemática dos resíduos da garrafa PET, os objetivos a serem alcançados, justificativa da pesquisa, estrutura do trabalho e a metodologia de pesquisa.

- **Capítulo 2: Revisão estruturada sobre a avaliação do ciclo de vida da garrafa PET**

Apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre os resíduos de Garrafa PET pós-consumo (Logística Reversa, Ciclo de vida da garrafa PET e Avaliação do Ciclo de Vida). E por fim uma avaliação Estruturada da literatura sobre a aplicação da ACV no descarte da garrafa PET, evidenciando a lacuna de pesquisa e escopo deste trabalho. Neste capítulo, buscou-se atender ao objetivo específico A.

- **Capítulo 3: Avaliação ambiental do descarte da garrafa PET**

Nesta seção apresenta-se o *framework* para a ACV ambiental e os respectivos resultados e discussões do estudo de área, abordando os impactos ambientais dos diferentes cenários propostos para a gestão do resíduo da garrafa PET pós-consumo. Neste capítulo, buscou-se atender ao objetivo específico B.

- **Capítulo 4: Avaliação social do descarte da garrafa PET**

Este capítulo apresenta o *framework* para a ACV Social e os respectivos resultados e discussões do estudo de área, abordando os impactos sociais dos diferentes cenários propostos para a gestão do resíduo da garrafa PET pós-consumo. Neste capítulo, buscou-se atender ao objetivo específico B.



- **Capítulo 5: Integração da avaliação ambiental e social das destinações do ciclo de vida para garrafa PET**

Ocorre a descrição dos métodos para agregar os indicadores. Revisão dos métodos de normalização e ponderação; Definição do método escolhido e justificativas para a escolha do respectivo método. Neste capítulo, buscou-se atender ao objetivo específico C.

- **Capítulo 6: Conclusões**

Apresentação das conclusões e limitações da presente pesquisa, finalizando com as recomendações para futuros trabalhos.

## 1.5 MÉTODOS UTILIZADOS NA TESE

Este trabalho utilizou a metodologia multimétodo devido à complexidade de sua temática. Esta seção se dedica a descrever brevemente os métodos utilizados ao longo desta pesquisa e suas respectivas inter-relações, sendo que as especificidades metodológicas de cada capítulo são descritas em seus próprios capítulos: No capítulo 3, o item 3.3 descreve a metodologia para aplicação do *framework* da ACV ambiental; No capítulo 4, o item 4.3 descreve a metodologia para aplicação do *framework* da ACV social; e já no capítulo 5, o item 5.3 descreve a metodologia para aplicação do *framework* de integração entre a ACV Ambiental e a ACV social.

Constata-se que a abordagem multimétodo se destaca por ser uma das formas mais completas para avaliar situações de alta complexidade, pois ela combina a força das grandes amostras e sua capacidade de generalização, com o emprego de estudos de caso que tem uma capacidade de identificação causais (DE OLIVEIRA, 2015).

Seguindo a segunda recomendação (R2) oriunda da etapa de revisão estruturada da literatura (Capítulo 2) para a integração entre os pilares social e ambiental, empregou-se a abordagem multimétodos, também chamada de multicritério, apontada por Akhtar et al. (2015), De Luca et al. (2018), Hossaini *et al*, (2015), Opher; Friedler; Shapira, (2019) e Ekener et al. (2018).

Empregando-se o método AHP para realizar a integração entre as metodologias de ACV ambiental e social. Sendo esse método AHP recomendado pelas revisões estruturadas da literatura conduzida por Visentin et al. (2020) e Costa; Quinteiro; Dias (2019). Contudo observa-se que neste trabalho contornou a parcialidade do método

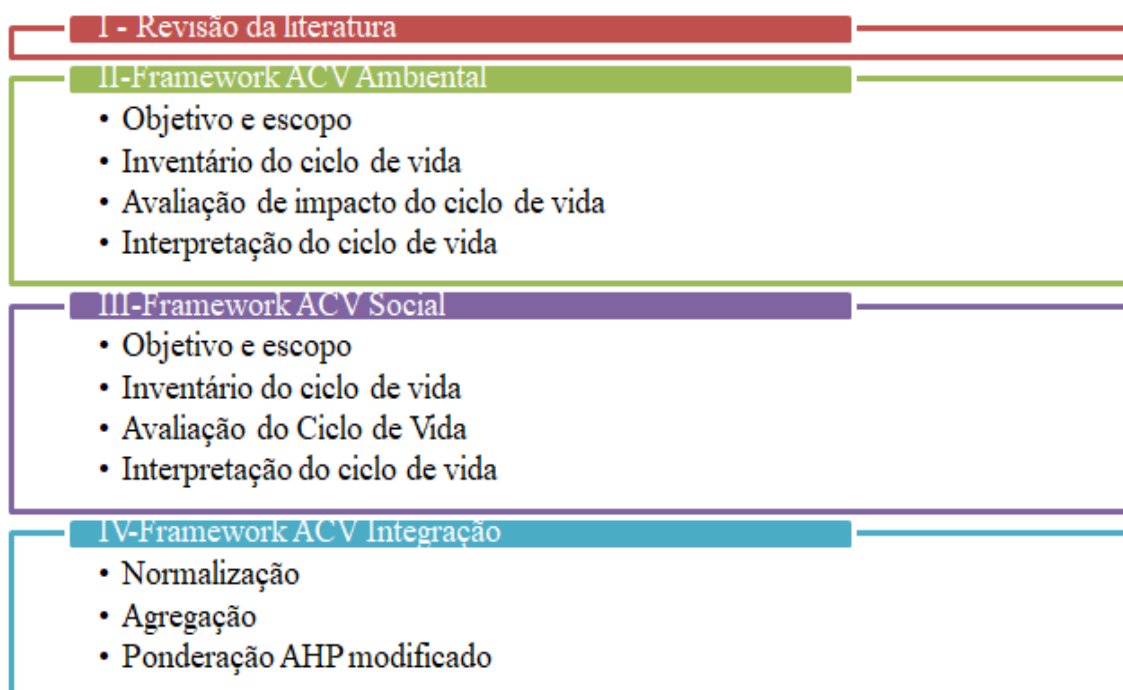
AHP pela alteração no processo de ponderação (Esta alteração é descrita no item 5.3 do capítulo 5).

Com relação aos procedimentos e técnicas este trabalho é exploratório, pois busca empiricamente a familiarização com o problema, no intuito de torná-lo explícito (GIL, 2019).

Quanto à aplicação buscou-se estabelecer um conjunto de linhas guia para nortear a execução de trabalhos futuros, caracterizando-se pela elaboração de um *framework* para aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida da garrafa PET pós-consumo. Conforme Tako e Kotiadis (2015) o emprego de um *framework* tem a finalidade de auxiliar a execução de uma ferramenta de trabalho, e sua execução é facilitada pelo detalhamento dos passos de aplicação.

Assim, esta pesquisa pode ser caracterizada como exploratória e aplicada. Pois, procura entender e vincular conhecimentos teóricos da literatura existente à resolução prática de um sistema de gestão do resíduo da garrafa PET pós-consumo. Este trabalho se desenvolveu em quatro fases, onde a Figura 1 ilustra o fluxograma metodológico da pesquisa que é descrito a seguir.

Figura 1: Fluxograma metodológico para a elaboração dos *frameworks* para ACV ambiental e social da gestão do resíduo da garrafa PET pós-consumo e sua integração



Fonte: Elaborado pelo autor.

- I. A primeira etapa de revisão da literatura é fundamental para que se possa encontrar mais informações sobre a temática abordada, e também especificamente em relação à gestão sustentável na cadeia escolhida.

A primeira etapa gerou as entradas para alimentar tanto a ACV Ambiental quanto a ACV Social.

- II. A segunda etapa consistiu na aplicação da normativa da ISO 14040 (ABNT, 2014a) e ISO 14044 (ABNT, 2014b).

Essas normas apresentam linhas direcionadoras para a execução da avaliação do ciclo de vida. Onde a ACV é dividida em quatro etapas, a saber: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação.

- III. A terceira etapa consiste na utilização das Diretrizes da UNEP/SETAC, (2009) e categorias e subcategorias UNEP/SETAC (2013), para a avaliação do ciclo de vida social.

Adotaram-se neste *framework* os padrões da ISO 14040 (ABNT, 2014a) e ISO 14044 (ABNT, 2014b) integradas às diretrizes da UNEP/SETAC (2009 e 2013) para promover a integração entre os sistemas.

- IV. A quarta etapa trata da utilização da metodologia de normalização para comparação dos cenários analisados, onde os mesmos são agregados via adicional (metodologia mais empregada de acordo com Costa et al. (2019). Os dados normalizados seguem para a fase de ponderação através do método AHP modificado (Método estabelecido nesse trabalho, onde os pesos são estabelecidos pelos resultados dos impactos socioambientais através do cálculo do Vetor de Eigen).

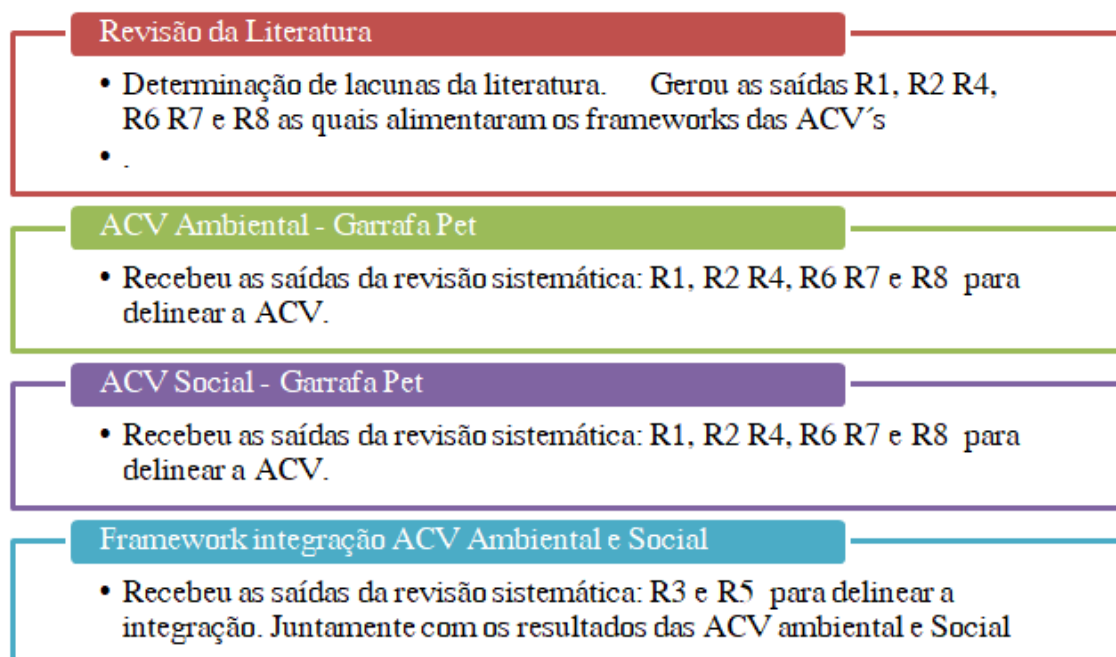
Para avaliar os resultados estabelecidos nessa etapa utilizou-se como ferramenta a análise de sensibilidade para aferir os pesos (prioridades), como referendado em Foolmaun e Ramjeawon (2013a).

A Figura 2 mostra o passo a passo da execução dos três *frameworks* propostos quanto à aplicação para o estudo de caso dos resíduos de garrafas PET para cidade de Bauru/SP/Brasil: o primeiro *framework* foi aplicado para a ACV ambiental, o segundo *framework* para ACV social e ambiental, e o terceiro *framework* para a integração dos resultados da ACV ambiental com a ACV social.

O resultado da revisão estruturada da literatura (Capítulo 2) gerou entradas para delinear os elementos dos construtos para estabelecer cada etapa da ACV (Limites, unidade funcional, cenários da Avaliação do ciclo de vida Ambiental e Social).

Na Figura 2 é mostrada que as ACV Ambiental e Social também foram elementos de entrada para a integração do sistema através do método AHP modificado.

Figura 2: Fluxograma metodológico da execução dos *frameworks* para ACV ambiental e social da gestão do resíduo da garrafa PET pós-consumo e sua integração – Estudo de caso



Fonte: elaborado pelo autor.

Os capítulos quatro, cinco e seis descrevem de maneira mais minuciosa a execução de cada *framework*, tendo como aplicação 9 cenários de gestão do resíduo da garrafa PET pós-consumo, para a cidade de Bauru, Estado de São Paulo, Brasil.

## CONCLUSÃO DA TESE

Este capítulo final da tese apresenta a síntese dos resultados e contribuições encontradas alcançados em resposta aos objetivos estabelecidos. Por fim é descrito as sugestões de estudos futuros.

A problemática dos resíduos é um tema atual que precisa ser tratado com relevância. Essa problemática foi discutida no Capítulo 1. Onde foi definido o objetivo geral da tese: Estabelecer um *framework* para a realização de ACV e a ACV Social no momento em que a garrafa PET é descartada pelo usuário final, explorando alternativas que combinem a coleta seletiva convencional, utilização de Ecopontos e destinação final dos resíduos da garrafa PET não aproveitados para reciclagem.

Para alcançar esse objetivo este trabalho foi segregado em três objetivos específicos. A seguir apresenta-se esses objetivos específicos e as principais contribuições encontradas referente a cada um deles.

O Objetivo específico A foi “Definir quais são os fatores que realmente influenciam na avaliação da sustentabilidade, através da identificação dos fatores determinantes para aplicação da avaliação do ciclo de vida (ACV) na fronteira do descarte da garrafa PET pelo usuário final até as cooperativas de reciclagem da garrafa PET e destino final dos resíduos, por meio de uma revisão estruturada da literatura”.

No capítulo 2, em resposta a esse objetivo específico A foi realizada a revisão estruturada da literatura sobre a avaliação do ciclo de vida da Garrafa PET, abordando uma revisão bibliográfica sobre os resíduos de Garrafa PET (Logística Reversa, Ciclo de vida da garrafa PET e Avaliação do Ciclo de Vida). Nesta etapa foi possível mapear sistematicamente a literatura quanto a aplicação da ACV dos resíduos de garrafa PET, evidenciando a lacuna de pesquisa e os fatores determinantes para a execução desta ferramenta. Esses fatores determinantes para a execução da ACV foram chamados de recomendações, e no total foram 8, a saber:

R1: Promover um número maior de estudos em países em desenvolvimento, integrando diferentes abordagens de reciclagem entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Assim integrando vários contextos distintos dentro da sustentabilidade: Financeira, Ambiental e Social.

R2: Verificar a associação direta entre a economia circular dentro da cadeia do PET, buscando uma análise que dê retorno dos resíduos de PET às cadeias de produtos existentes.

R3: Recomenda-se empregar a técnica estudo de caso para avaliar os impactos do sistema sob a ótica da ISO 14040 e ISO 14044 para aspectos ambientais e esse mesmo conjunto de normas em consonância com as diretrizes da UNEP/SETAC (2009, 2013) para o aspecto social, realizando a integração das ACV pela abordagem multicritério.

R4: Utilizar a avaliação do ciclo de vida para quantificar cenários de coleta seletiva, além da etapa de transporte. Como por exemplo, a estocagem intermediária ao longo do processo: Ecoponto e ponto fixo.

R5: Comparar o valor local dos valores encontrados na ACV referente aos dados primários com os valores disponibilizados em banco de dados consolidados, e assim criar uma normalização para os demais itens do sistema analisado. E, só então realizar a análise do sistema.

R6: Recomenda-se utilizar dados primários na etapa de coleta seletiva, posto que eles são a porta da reciclagem e diferentes maneiras de coletar podem influenciar nos impactos sobre o sistema.

R7: Vincular a aplicação aos tipos de reciclagem às aplicações dos materiais reaproveitados, favorecendo assim a avaliação do ciclo de vida e a economia circular.

R8 : Utilizar metodologias que integrem os indicadores social, operacional, financeiro e ambiental de modo a agregá-los em indicadores globais do sistema, para assim consolidar análises de sensibilidade que possam mensurar o peso de cada área de maneira quantitativa.

Essas recomendações serviram de entradas para a execução das ACV's e estabelecimento dos *Frameworks*.

Ainda no Capítulo 2 estabeleceu-se as fases do *framework* para a execução das ACV's social e ambiental bem como sua integração através do método do AHP modificado, integrando assim as conexões entre os objetivos específicos e o geral. Nesta seção realizou-se a descrição dos materiais e métodos adotados para a condução do trabalho, contendo: *Framework* para aplicação da integração da ACV Social e Ambiental, bem como os *frameworks* para avaliação Ambiental e Social.

Também neste capítulo é transcrito o caminho metodológico entregue no estudo de caso de resíduos de garrafas PET, objeto de estudo (município de Bauru, a seleção e caracterização dos tratamentos fim de vida); desenvolvimento dos cenários (o dimensionamento e a descrição dos sistemas de tratamento); modelagem dos cenários (definição do modelo hidrológico e seus principais dados de entrada); delimitação de objetivos e escopo do estudo de ACV e ACV-S.

No capítulo 3 (Objetivo específico B) foi possível estabelecer um *framework* para avaliar os impactos ambientais, e aplicar essa estrutura de avaliação sobre um estudo de caso contendo 9 alternativas de destinação de resíduos de garrafas PET descartadas pelo usuário final no município de Bauru, São Paulo. Onde foi possível encontrar a rota mais sustentável (aspecto ambiental) para destinação dos resíduos de garrafa PET, bem como uma estrutura base para nortear trabalhos futuros.

No estudo de caso observou-se que os cenários de reciclagem superaram os cenários de incineração em todas as categorias de impacto analisadas, indicando que a reciclagem pode ser uma opção melhor do que a incineração, do ponto de vista ambiental, para o município de Bauru.

Já no capítulo 4 foi possível completar o atendimento ao Objetivo específico B atendendo o pilar social. Onde foi possível estabelecer um *framework* para avaliar os impactos sociais e aplicar essa estrutura de avaliação sobre um estudo de caso contendo 9 alternativas de destinação de resíduos de garrafas PET descartadas pelo usuário final no município de Bauru, São Paulo.

Neste capítulo 4 encontrou-se a rota mais sustentável quanto aos requisitos do pilar Social para destinação dos resíduos de garrafa PET bem como uma estrutura base para nortear trabalhos futuros. O estudo demonstrou que a maneira como se coleta os resíduos recicláveis influencia diretamente os impactos sociais sobre o sistema. Ainda foi possível estabelecer através da metodologia utilizada um ranking dos melhores cenários quanto aos impactos sociais positivos.

Por fim, no capítulo 5 foi possível atender o Objetivo específico C gerando uma estrutura em forma de *framework* para integrar os impactos ambientais e sociais.

Ao longo do capítulo 5 pode se estabelecer um caminho para encontrar a rota mais sustentável com relação aos aspectos socioambientais para destinação dos resíduos de garrafa PET através de um *framework*. Assim, podendo nortear trabalhos futuros nesta aplicação.

Esse capítulo utilizou a metodologia AHP Modificado onde estruturou a integração das ACV's em 5 etapas: Definir os objetivos, Definir critérios dos pilares, Definir os pesos entre os cenários e a razão de consistência, Definir os pesos entre os pilares (Ambiental /Social) e a razão de consistência, Ponderando as alternativas.

Neste capítulo modificou-se a utilização da metodologia AHP devido às críticas quanto a possível parcialidade do painel de especialistas ao darem peso para os sistemas analisados.

Assim, utilizou-se os resultados normalizados das avaliações do ciclo de vida para servirem de base de ponderação entre os cenários. De maneira análoga realizou a ponderação entre os pilares de sustentabilidade Social e Ambiental. Por meio da utilização do método de Vetor de Eigen foram estabelecidas as prioridades (peso) entre os elementos analisados sem participação de especialistas. Assim, o método AHP modificado apresentado pode apoiar a tomada de decisão de maneira imparcial, focalizando nos resultados dos impactos para realizar a ponderação.

### **Sugestão de pesquisas futuras**

Este trabalho não considerou a quantidade de resíduos de PET coletados informalmente pelos catadores devido à falta de informações e dados oficiais da cidade de Bauru. Sugere-se que trabalhos futuros busquem estimar o volume e a destinação dos resíduos de PET coletados dessa forma em Bauru e em outras localidades utilizando os *frameworks* propostos.

Sugere-se para próximos trabalhos empregar outras análises de sensibilidade nos próximos trabalhos a variação do modo de coleta para os cenários de coleta convencional atrelados ao Aterro e Incineração. Também seria de grande valia aplicar essa metodologias para outros tipos de resíduos sólidos urbanos.

E por fim, sugere-se para próximos trabalhos que seja incluído na integração do modelo apresentado o pilar econômico da avaliação do ciclo de vida.



## REFERÊNCIAS

ABIPET. Associação Brasileira da Indústria do PET. **Censo da reciclagem no Brasil**, 10<sup>a</sup> Edição. 2016a.

ABIPET. Associação Brasileira da Indústria do PET. **Indústria no PET no Brasil – Mercado, Perspectivas, Reciclagem** (2016b). Disponível em: <http://www.abipet.org.br/uploads/File/Market%20Overview%202013.pdf>  
Acesso em: 20/03/2017.

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

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

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil de 2014**. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>. Acesso em 08/10/2020

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil de 2018/2019**. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>. Acesso em 08/10/2020

ACCORSI, Riccardo; VERSARI, Lorenzo; MANZINI, Riccardo. Glass vs. Plastic: Life Cycle Assessment of Extra-Virgin Olive Oil Bottles across Global Supply Chains. **Sustainability**, [s.l.], v. 7, n. 3, p.2818-2840, 2015.

AGANOVIC, Kemal et al. Pilot scale thermal and alternative pasteurization of tomato and watermelon juice: An energy comparison and life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 141, p.514-525, jan. 2017.

AKANUMA, Yasuhiko; SELKE, Susan E. M.; AURAS, Rafael. A preliminary LCA case study: comparison of different pathways to produce purified terephthalic acid suitable for synthesis of 100 % bio-based PET. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, [s.l.], v. 19, n. 6, p.1238-1246, 25, 2014.

AKHTAR, S. et al. Life cycle sustainability assessment (LCSA) for selection of sewer pipe materials. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 17, n. 4, p. 973–992, 2015.

AMIENYO, D. et al. Life cycle environmental impacts of carbonated soft drinks. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 1, p. 77–92, 2013.

AMLINGER, F.; PEYR, S.; CUHLS CARSTEN, C. Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment. **Waste Management and Research**, v. 26, n. 1, p. 47–60, 2008.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução RDC nº 20, de 26 de março de 2008**, 2008.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA.. **Consulta Alimentos**, (2020). Disponível em: <https://consultas.anvisa.gov.br/#/alimentos/c/?nomeProduto=PET&categorias=4300031> Acesso em 08/10/2020.

ARAÚJO, A. C. MATSUOKA, E. M.; UNG, J. E; HILSDORF, W. C.; SAMPAIO, M. Logística reversa no comércio eletrônico: um estudo de caso. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 20, n. 2, p. 303-320, 2013.

ARCESE, G.; LUCCHETTI, M. C.; MASSA, I. Modeling Social Life Cycle Assessment framework for the Italian wine sector. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 1027–1036, 2017.

ARCESE, G.; LUCCHETTI, M. C.; MERLI, R. Social life cycle assessment as a management tool: Methodology for application in tourism. **Sustainability (Switzerland)**, v. 5, n. 8, p. 3275–3287, 2013.

ARIVUMANI, A. Sustainable Development | 1 Case Studies. v. 11, n. 7, p. 296–300, 2017.

AZIZ, R.; CHEVAKIDAGARN, P.; DANTERAVANICH, S. Life cycle sustainability assessment of community composting of agricultural and agro industrial wastes. **Journal of Sustainability Science and Management**, v. 11, n. 2, p. 57–69, 2016.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Logística Empresarial**. Editora Bookman , 5 ed. 2009.

BENAVIDES, P. T. et al. Exploring Comparative Energy and Environmental Benefits of Virgin, Recycled, and Bio-Derived PET Bottles. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 6, n. 8, p. 9725–9733, 2018.

BIOLCHINI, J. . et al. Systematic review in software engineering. System Engineering and Computer Science Department COPPE/UFRJ. **Technical Report ES**, v. 679, n. 5, p. 1–30, 2005.

BOLLIGER, R.; BAUER, CH. Sachbilanzen von Energiesystemen. Final report No. 6 ecoinvent data v2.0, vol. 6. Dübendorf and Villigen, Switzerland: Swiss Center for LCI, PSI, 2007.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, Brasil, 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm).. Acesso em: 20/03/2015.

BRUNDTLAND, G. H.; COMUM, Nosso Futuro. Relatório Brundtland. **Our Common Future: United Nations**, 1987.

CADENA, E.; COLÓN, J.; ARTOLA, A.; SÁNCHEZ, A.; Font, X. Environmental impact of two aerobic composting technologies using Life Cycle Assessment. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 14 (5), pp. 401-410, 2009

CARLISLE, A. A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano Estocolmo, 1972. **The Forestry Chronicle**, v. 48, n. 3, pág. 118-118, 1972.

CHAHLA, G. A.; ZOUGHAIB, A. Agent-based conceptual framework for energy and material synergy patterns in a territory with non-cooperative governance. **Computers and Chemical Engineering**, v. 131, 2019.

CHEN, L.; PELTON, R. E.; SMITH, T. M. Comparative life cycle assessment of fossil and bio-based polyethylene terephthalate (PET) bottles. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 137, p.667-676, nov. 2016.

CHILTON, T.; BURNLEY, S.; NESARATNAM, S. A life cycle assessment of the closed-loop recycling and thermal recovery of post-consumer PET. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 12, p. 1241–1249, 2010.

COELHO, T. M.; CASTRO, R.; JR, J. A. G. PET containers in Brazil: Opportunities and challenges of a logistics model for post-consumer waste recycling. **“Resources, Conservation & Recycling”**, n. January, 2011.

CORRÊA, A. P.M; SILVA, M. E. A Logística Reversa Sob a Perspectiva Produção-Mercado-Consumo: O Caso O Boticário. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. Vol.2, n. 1, p. 97-122, 2013.

COSTA, D.; QUINTEIRO, P.; DIAS, A. C. A systematic review of life cycle sustainability assessment: Current state, methodological challenges, and implementation issues. **Science of the Total Environment**, v. 686, p. 774–787, 2019.

DE LUCA, A. I. et al. Evaluation of sustainable innovations in olive growing systems: A Life Cycle Sustainability Assessment case study in southern Italy. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 1187–1202, 2018.

DE OLIVEIRA, F. L. Triangulação metodológica e abordagem multimétodo na pesquisa sociológica: vantagens e desafios. **Ciências Sociais Unisinos**, v. 51, n. 2, p. 133–143, 2015.

DOKA, G.). Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. Final report ecoinvent data v2.0, vol. 13. Dübendorf, Switzerland: Swiss Center for LCI, Empa – TSL, 2007.

DOKA, G.. Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. Final report ecoinvent data v2.1, vol. 13. Dübendorf, Switzerland: Swiss Center for LCI, Empa – TSL, 2008.

DOKA, G.. Updates to Life Cycle Inventories of Municipal Waste Incineration. Zürich, Switzerland., 2013.

DOS SANTOS, M. F. N.; BATTISTELLE, R. A. G.; BEZERRA, B. S.; VARUM, HUMBERTO S.A. Comparative study of the life cycle assessment of particleboards made of residues from sugarcane bagasse (*Saccharum spp.*) and pine wood shavings (*Pinus elliottii*). **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 345-355, 2014

EKENER, E. et al. Developing Life Cycle Sustainability Assessment methodology by applying values-based sustainability weighting - Tested on biomass based and fossil

transportation fuels. **Journal of Cleaner Production**, v. 181, p. 337–351, 2018.

ELDUQUE, A. et al. LCI databases sensitivity analysis of the environmental impact of the injection molding process. **Sustainability (Switzerland)**, v. 7, n. 4, p. 3792–3800, 2015.

ELKINGTON, J. Triple bottom line revolution: reporting for the third millennium. **Australian CPA**, v. 69, p. 75, 1994.

FIORINI, P. DE C.; JABBOUR, C. J. C. Information systems and sustainable supply chain management towards a more sustainable society: Where we are and where we are going. **International Journal of Information Management**, v. 37, n. 4, p. 241–249, 2017.

FOOLMAUN, R. K.; RAMJEAUN, T. Life cycle sustainability assessments (LCSA) of four disposal scenarios for used polyethylene terephthalate (PET) bottles in Mauritius. **Environment, Development and Sustainability**, v. 15, n. 3, p. 783–806, 2013a.

FOOLMAUN, R. K.; RAMJEEAWON, T. Comparative life cycle assessment and social life cycle assessment of used polyethylene terephthalate (PET) bottles in Mauritius. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 1, p. 155–171, 2013b.

FORMIGONI, A.; SANTOS, S. DA C.; MEDEIROS, B. T. Logística reversa e sustentabilidade para a melhoria da cadeia: Uma abordagem no panorama da reciclagem PET no Brasil. **RMS-Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, v. 4, n. 3, p. 108–125, 2014.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GLEICK, P H; COOLEY, H s. Energy implications of bottled water. **Environmental Research Letters**, v. 4, n. 1, p. 1-6, 2009.

GOEDKOOPE, Mark et al. ReCiPe 2008. **A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level**, v. 1, p. 1-126, 2009.

GOMES, T. S.; VISCONTE, L. L. Y.; PACHECO, E. B. A. V. Life Cycle Assessment of Polyethylene Terephthalate Packaging: An Overview. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 27, n. 3, p. 533–548, 2019.

GOVINDAN, K.; SARKIS, J.; PALANIAPPAN, M. An analytic network process-based multicriteria decision making model for a reverse supply chain. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 68, n. 1–4, p. 863–880, 2013.

HOSSAINI, N. et al. AHP based life cycle sustainability assessment (LCSA) framework: a case study of six storey wood frame and concrete frame buildings in Vancouver. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 58, n. 7, p. 1217–1241, 2015.

HOTTLE, Troy A.; BILEC, Melissa M.; LANDIS, Amy E.. Biopolymer production and end of life comparisons using life cycle assessment. **Resources, Conservation And Recycling**, v. 122, p.295-306, 2017.

HUANG, Shupe; AN, Haizhong; VIGLIA, Silvio; BUONOCORE, Elvira; FANG, Wei; ULGIATI, Sergio. Revisiting China-Africa trade from an environmental perspective. **Journal Of Cleaner Production**, v. 167, p. 553-570, 2017.

HUERTAS-VALDIVIA, I. et al. Social life-cycle assessment: A review by bibliometric analysis. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 15, p. 1–25, 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de geografia e Estatística **Panorama: Brasil/São Paulo/Bauru**. 2020.

INGRAO, C. et al. Recycled-PET fibre based panels for building thermal insulation: Environmental impact and improvement potential assessment for a greener production. **Science of the Total Environment**, v. 493, p. 914–929, 2014.

INGRAO, Carlo et al. A comparative Life Cycle Assessment of external wall-compositions for cleaner construction solutions in buildings. **Journal Of Cleaner Production**, v. 124, p.283-298, 2016.

JABBOUR, A.B. L, JABBOUR, C.J. C, SARKIS, J; GOVINDAN. K. Brazil's new national policy on solid waste: challenges and opportunities. **Clean Technol. Environ. Policy**, v. 16, n. 1, p. 7–9, 2014.

JUNGBLUTH, N.; CHUDACOFF, M.; DAURIAT, A.; DINKEL, F.; DOKA, G.; Faist Emmenegger, M.; Gnansounou, E.; Kljun, N.; Spielmann, M.; Stettler, C.; Sutter, J. . Life Cycle Inventories of Bioenergy. **Final report ecoinvent v2.0**, vol.17, 2007.

KÄGI, T.; ZSCHOKKE, M.; STETTLER, C. Life Cycle Inventories for Swiss Recycling Processes-Part Carbotech: Recycling of Cardboard, Glass, PE, PET, Tinplate. **Im Auftrag des BAFU**, 2017.

KANG, D. H.; AURAS, R.; SINGH, J. Life cycle assessment of non-alcoholic single-serve polyethylene terephthalate beverage bottles in the state of California. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 116, p. 45–52, 2017.

KELLER, M. Handbook emission factors for road transport 3.1. **Bern: INFRAS.**, 2010.

KLEWITZ, J.; HANSEN, E. G. Sustainability-oriented innovation of SMEs: A systematic review. **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 57–75, 2014.

KLOEPFFER, Walter. Life cycle sustainability assessment of products. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 13, n. 2, p. 89, 2008.

KOMLY, C. E. et al. Multiobjective waste management optimization strategy coupling life cycle assessment and genetic algorithms: Application to PET bottles. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 69, p. 66–81, 2012.

KUCZENSKI, B.; GEYER, R. PET bottle reverse logistics - Environmental performance of California's CRV program. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 2, p. 456–471, 2013.

LAGE JUNIOR, M.; GODINHO FILHO, M. Variations of the kanban system: Literature review and classification. **International Journal of Production Economics**, v. 125, n. 1, p. 13–21, 2010.

LEEJARKPAI, Thanawadee; MUNGCHAROEN, Thumrongrut; SUWANMANEE, Unchalee. Comparative assessment of global warming impact and eco-efficiency of PS (polystyrene), PET (polyethylene terephthalate) and PLA (polylactic acid) boxes. **Journal Of Cleaner Production**, v. 125, p.95-107, 2016.

LUZ, L. M. DA et al. Integrating life cycle assessment in the product development process: A methodological approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 193, p. 28–42, 2018.

MANFREDI, M.; VIGNALI, G.. Comparative Life Cycle Assessment of hot filling and aseptic packaging systems used for beverages. **Journal Of Food Engineering**, v. 147, p.39-48, 2015.

MARTIN, E. J. P. et al. Dataset for life cycle assessment of pet bottle waste management options in Bauru, Brazil. **Data in Brief**, v. 33, p. 106355, 2020.

MARTIN, E. J. P. et al. Life cycle comparative assessment of pet bottle waste management options: A case study for the city of Bauru, Brazil. **Waste Management**, v. 119, p. 226–234, 2021.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, v. 26, n. 1, p.160-175, 2015.

MICHAUD, J.-C. et al. Environmental benefits of recycling - 2010 update. **Waste resource action programme. WRAP**, n. March, p. 1–252, 2010.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>. Acesso em: 13/11/2015.

NAKATANI, Jun et al. Life-cycle assessment of domestic and transboundary recycling of post-consumer PET bottles. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 15, n. 6, p. 590-597, 2010.

NAVAJAS, A.; URIARTE, L.; G., L. M. Application of eco-design and life cycle assessment standards for environmental impact reduction of an industrial product. **Sustainability**, v. 9, n. 10, p. 1724, 2017.

NEMECEK, T.; KÄGI, T.; BLASER, S. Life cycle inventories of agricultural production systems. **Final report ecoinvent v2. 0 No**, v. 15, 2007.

NEUGEBAUER, S. et al. Calculation of Fair wage potentials along products' life cycle – Introduction of a new midpoint impact category for social life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 1221–1232, 2017.

NEVES, Fábio de Oliveira. Gestão dos resíduos sólidos urbanos na bacia do Paraná III: propostas para uma agenda de pesquisa. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 38, p.

169 - 194, 2016.

NZILA, C. et al. Multi criteria sustainability assessment of biogas production in Kenya. **Applied Energy**, v. 93, p. 496–506, 2012.

OLIVEIRA, L. R.; MEDEIROS, R. M.; TERRA, P. B.; QUELHAS, O. L.G. Sustentabilidade: da evolução dos conceitos à implementação como estratégia nas organizações. **Production**, v. 22, n. 1, p. 70-82, 2011.

OPHER, T.; FRIEDLER, E.; SHAPIRA, A. Comparative life cycle sustainability assessment of urban water reuse at various centralization scales. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 24, n. 7, p. 1319–1332, 2019.

PAPONG, S. et al. Comparative assessment of the environmental profile of PLA and PET drinking water bottles from a life cycle perspective. **Journal Of Cleaner Production**, v. 65, p.539-550, 2014.

PARK, J. Y.; GUPTA, C. Evaluating localism in the management of post-consumer plastic bottles in Honolulu, Hawai'i: Perspectives from industrial ecology and political ecology. **Journal of Environmental Management**, v. 154, p. 299–306, 2015.

PETTI, L.; SERRELI, M.; DI CESARE, S. Systematic literature review in social life cycle assessment. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 23, n. 3, p. 422–431, 2018.

PRADO, M. R.; NETO, G. K. A análise do ciclo de vida como ferramenta de otimização de processos e gestão ambiental. Voos Revista Polidisciplinar Eletrônica da Faculdade Guairacá, v. 1, n. 1, 2005.

PLANO DIRETOR PARTICIPATIVO. **Etapas do Projeto**. 2020. Disponível em: <https://sites.bauru.sp.gov.br/planodiretor/etapas.aspx?i=4>. Acesso em 02/02/2020.

PLANO MUNICIPAL SANEAMENTO BÁSICO. **Sistema de Manejo dos Resíduos Sólidos e Limpeza Urbana**, 2016. Disponível em: [https://www2.bauru.sp.gov.br/arquivos/arquivos\\_site/sec\\_meioambiente/plano\\_saneamento/Sistema\\_de\\_Manejo\\_dos\\_Residuos\\_Solidos\\_e\\_Limpeza\\_Urbana.pdf](https://www2.bauru.sp.gov.br/arquivos/arquivos_site/sec_meioambiente/plano_saneamento/Sistema_de_Manejo_dos_Residuos_Solidos_e_Limpeza_Urbana.pdf). Acesso em 10/03/2019.

PLANO MUNICIPAL SANEAMENTO BÁSICO. **Variável Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos**. 2014. Disponível em: [https://www2.bauru.sp.gov.br/arquivos/arquivos\\_site/sec\\_meioambiente/plano\\_residuos/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20do%20PMSB%20Bauru.pdf](https://www2.bauru.sp.gov.br/arquivos/arquivos_site/sec_meioambiente/plano_residuos/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20do%20PMSB%20Bauru.pdf). Acesso em 10/03/2019.

PRASARA-A, J.; GHEEWALA, S. H. Applying Social Life Cycle Assessment in the Thai Sugar Industry: Challenges from the field. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 335–346, 2018.

PLASTICS EUROPE – Association of Plastics Manufacturers. An Eco-profile and Environmental Product Declaration of the PET Manufacturers in Europe: Polyethylene Terephthalate (PET) (Bottle grade), 2017. Disponível em: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/eco-profiles>. Acesso em: 10/02/2018.

PLASTICS INSIGHT. Polyethylene Terephthalate (PET): Production, Price, Market and its Properties, 2019. Disponível em: <https://www.plasticsinsight.com/resin-intelligence/resin-prices/polyethylene-terephthalate/>. Acesso em: 09/05/2019.

PRETTY, J. N.; MASON, C.r F.; NEDWELL, D. B.; HINE, R. E.; LEAF, S.; DILS, R.. Environmental Costs of Freshwater Eutrophication in England and Wales. **Environmental Science & Technology**, v. 37, n. 2, p. 201-208, 2003.

RIGAMONTI, L.; GROSSO, M.; GIUGLIANO, M. Life cycle assessment of sub-units composing a MSW management system. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 16–17, p. 1652–1662, 2010.

ROY, P-O.r; DESCHÊNES, L.; MARGNI, M.. Life Cycle Impact Assessment of Terrestrial Acidification: modeling spatially explicit soil sensitivity at the global scale. **Environmental Science & Technology**, v. 46, n. 15, p. 8270-8278, 18, 2012.

SAFDAR, N. et al. Reverse logistics network design of e-waste management under the triple bottom line approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 272, p. 122662, 2020.

SALEH, Y.. Comparative life cycle assessment of beverages packages in Palestine. **Journal Of Cleaner Production**, v. 131, p.28-42, set. 2016.

SAUTIER, M. et al. Sustainability: A tool for governing wine production in New Zealand? **Journal of Cleaner Production**, v. 179, p. 347–356, 2018.

SHEN, L.; WORRELL, E.; PATEL, M. K. Open-loop recycling: a lca case study of pet bottle-to-fibre recycling. **Resources, Conservation And Recycling**, v. 55, n. 1, p. 34-52, 2010.

SILVA, R. R.; RODRIGUES, F. T. R. L. Análise do ciclo de vida e da logística reversa como ferramentas de gestão sustentável: o caso das embalagens PET. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, SC, Brasil, v. 7, n. 13, p. 44-58, 2015.

SOUSA, S. R. Normalização de critérios ambientais aplicados à avaliação do ciclo de vida. **Dissertação De Mestrado**, p. 87, 2008.

SOUZA, D. M.; TEIXEIRA, R. F.M.; OSTERMANN, O. P. Assessing biodiversity loss due to land use with Life Cycle Assessment: are we there yet?. **Global Change Biology**, v. 21, n. 1, p.32-47, 2014.

SPINELLI, M. V. P. et al. Estudo Sustentvel da Capacidade de Carga Antrópica e a sua Influência no Ponto de Equilíbrio da Resiliência Ambiental (Sustainable Study of the Anthropic Carrying Capacity and Its Influence on the Point of Equilibrium of the Environmental Resilience). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 09, n. 1, p. 185-199.1, 2016.

SU, S. et al. BIM-DLCA: An integrated dynamic environmental impact assessment model for buildings. **Building and Environment**, v. 183, n. August, p. 107218, 2020.

SUNDQVIST, J.O. Avaliações de ciclos de vida e resíduos sólidos - Diretrizes para



tratamento e disposição de resíduos sólidos na ACV (Relatório Final). **Agência Sueca de Proteção Ambiental**. Retirado de: Avaliações de ciclos de vida e resíduos sólidos - Diretrizes para tratamento e disposição de resíduos sólidos em ACV, 1999.

TAKO, A. A.; KOTIADIS, K. PartiSim: A multi-methodology framework to support facilitated simulation modelling in healthcare. **European Journal of Operational Research**, v. 244, n. 2, p. 555–564, 2015.

TONIOLO, S. et al. Comparative LCA to evaluate how much recycling is environmentally favourable for food packaging. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 77, p. 61–68, 2013.

UNEP/SETAC. **Guidelines for social life cycle assessment of products**. Paris: United Nations Environment Program SETAC Life Cycle Initiative United Nations Environment Programme, 2009.

UNEP/SETAC. **The Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA)**. Paris: United Nations Environment Program SETAC Life Cycle Initiative United Nations Environment Programme, 2013.

VAN UYTVANCK, P. P. et al. Impact of Biomass on Industry: Using Ethylene Derived from Bioethanol within the Polyester Value Chain. **Acs Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 2, n. 5, p.1098-1105, 2014.

VAN UYTVANCK, P.p. et al. Impact on the Polyester Value Chain of Using p-Xylene Derived from Biomass. **Acs Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 5, n. 5, p.4119-4126, 2017.

VISENTIN, C. et al. Life cycle sustainability assessment: A systematic literature review through the application perspective, indicators, and methodologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 270, 2020.

WALL, G. Beyond sustainable development. **Tourism Recreation Research**, v. 43, n. 3, p. 390–399, 2018.

WEBB, H. K. et al. Plastic degradation and its environmental implications with special reference to poly(ethylene terephthalate). **Polymers**, v. 5, n. 1, p. 1–18, 2013.

WULF, C. et al. Lessons Learned from a Life Cycle Sustainability Assessment of Rare Earth Permanent Magnets. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 6, p. 1578–1590, 2017.

ZIMDARS, C.; HAAS, A.; PFISTER, S. Enhancing comprehensive measurement of social impacts in S-LCA by including environmental and economic aspects. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 23, n. 1, p. 133–146, 2018.