

BENONE OTÁVIO SOUZA DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DE CENÁRIOS DE GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS
BASEADO NA TRANSIÇÃO DE ECOEFICIÊNCIA, NA SUB-REGIÃO DA
AMAZÔNIA OCIDENTAL, BRASIL**

Sorocaba
2020

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

*ciências
ambientais*

BENONE OTÁVIO SOUZA DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DE CENÁRIOS DE GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS
BASEADO NA TRANSIÇÃO DE ECOEFICIÊNCIA, NA SUB-REGIÃO DA
AMAZÔNIA OCIDENTAL, BRASIL**

Tese apresentada como requisito para a obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Araújo de Medeiros

Sorocaba
2020

O48a

Oliveira, Benone Otávio Souza de
Análise de Cenários de Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos
baseado na Transição de Ecoeficiência, na Sub-Região da Amazônia
Ocidental, Brasil / Benone Otávio Souza de Oliveira. -- Sorocaba,
2020

173 p. : il., tabs., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba
Orientador: Gerson Araújo de Medeiros

1. Amazônia Brasileira. 2. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). 3.
Avaliação Econômica. 4. Aspectos Conjunturais. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de
Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Sorocaba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ANÁLISE DE CENÁRIOS DE GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS BASEADO NA TRANSIÇÃO DE ECOEFICIÊNCIA, NA SUB-REGIÃO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, BRASIL

AUTOR: BENONE OTÁVIO SOUZA DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: GERSON ARAÚJO DE MEDEIROS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIAS AMBIENTAIS, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. GERSON ARAÚJO DE MEDEIROS
Departamento de Engenharia Ambiental / Instituto de Ciência e Tecnologia, Câmpus de Sorocaba, Unesp

Prof. Dr. SANDRO DONNINI MANCINI
Departamento de Engenharia Ambiental / Instituto de Ciência e Tecnologia, Câmpus de Sorocaba, Unesp

Prof. Dr. MICHEL XOCAIRA PAES
Departamento de Gestão Pública (GEP) / Fundação Getulio Vargas (FGV) - Escola de Administração de Empresas de São Paulo (EAESP)

Prof. Dr. BRUNO FERNANDO GIANELLI
Instituto Federal de São Paulo (IFSP)

Prof. Dr. MARCELO DAYRON RODRIGUES SOARES
Colegiado da Engenharia Ambiental, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA) / Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

Sorocaba, 19 de junho de 2020

Dedico,

A Deus e a minha família como uma demonstração de carinho, amor, agradecimento e recompensa por uma vitória tão difícil, mas que com a força incentivadora de vocês venci!

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo apoio, incentivo e união.

Aos meus pais (Bartolomeu Vitoriano e Maria de Nazaré), por me mostrar que qualquer ideal na vida tem como alicerce a humildade, educação e o conhecimento.

A minha esposa Yzane Oliveira, pelo apoio em todos os momentos de dificuldades, companheirismo, por ter suportado e compreendido minhas ausências. E por muitas vezes ter feito o papel de pai/mãe em minha ausência na educação de nossos filhos.

Aos meus amados filhos (Bernardo Oliveira e Isabella Oliveira), que diante da minha ausência presencial, me passavam carinho e amor.

Aos meus irmãos (Bartolomeu Júnior e Bruna Oliveira), que sempre me incentivaram e torceram por mim.

Ao professor Dr. Gerson Araújo de Medeiros pelo apoio, confiança, alegria, aprendizado, e incentivador na elaboração desse trabalho. Muitas vezes amigo nos momentos pessoais, principalmente no incentivo de sempre visitar a família.

À UNESP e a todos os seus funcionários.

Ao professor Dr. Admilson Írio Ribeiro pela generosidade de compartilhar seu conhecimento, amizade e, incentivo nos estudos.

Ao Prof. Dr. José Arnaldo Roveda e todos os demais professores do programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UNESP/ICT, pelos valiosos ensinamentos para o meu aprimoramento profissional.

Aos amigos de Doutorado/Mestrado, em especial a Narlon Xavier, Lucidalva Rodrigues, Katiane Kasperin, Michel Xocaira e Tatiele do Carmo pelo privilégio de compartilhar sua amizade, cooperação, crescimento, períodos de estudos e convivência.

Ao Secretário Municipal de Meio Ambiente do município de Humaitá-AM, representado pelo José Torres, que disponibilizou seu tempo na visita ao lixão municipal e suporte na caracterização dos RSU do município.

A empresa Ambiental Serviço Terceirização LTDA, representado pelo senhor Antônio por possibilitar a alteração das rotas diárias, o que possibilitou a realização das coletas.

A Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis Solidária do Município de Manicoré – ACRSMM representado pela presidente Teresinha Moraes dos Santos, que disponibilizou seu tempo e informações necessárias para esta pesquisa.

Ao Consórcio Intermunicipal de Saneamento da Região Central de Rondônia (CISAN Central/RO) representado pelo engenheiro ambiental Walleson Higor Corrêa Jordão, que disponibilizou seu tempo, apresentou o aterro e enfatizou os pontos positivos e negativos da disposição de RSU na Amazônia.

Aos alunos do curso de Engenharia Ambiental do IEAA/UFAM, por ser fazerem presentes durante a pesquisa de campo (triagem dos resíduos sólidos urbanos).

Ao Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente – Universidade Federal do Amazonas (IEAA/UFAM), por possibilitar meu afastamento da docência para qualificação em nível de doutorado. Como também ao suporte de logística e espaço físico no processo de triagem de resíduos.

Agradeço a todos que contribuíram, de forma direta ou indireta, para a realização deste trabalho.

“Não confunda derrotas com fracasso nem vitórias com sucesso. Na vida de um campeão sempre haverá algumas derrotas, assim como na vida de um perdedor sempre haverá vitórias. A diferença é que, enquanto os campeões crescem nas derrotas, os perdedores se acomodam nas vitórias”.

Roberto Shinyashiki

RESUMO

A tomada de decisão na gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) demanda uma avaliação integrada de aspectos políticos, culturais, sociais, econômicos e ambientais, para se delinear cenários que contemplem especificidades regionais. Neste contexto, a escolha do melhor cenário pode ser apoiada por modelos de avaliação do ciclo de vida (ACV), uma técnica que permite estimar os impactos ambientais de todas as etapas de um sistema de gestão dos resíduos sólidos urbanos (SGRSU). Deste modo, a presente pesquisa propôs e analisou cenários para a gestão dos RSU, baseado na transição da ecoeficiência, na sub-região da Amazônia Ocidental. Para isto, foi desenvolvido um estudo de caso na região do município de Humaitá, estado do Amazonas. Realizou-se, inicialmente, uma análise de aspectos conjunturais relacionados à gestão dos RSU na Amazônia por meio de um levantamento bibliográfico nos países dessa região, uma análise do arcabouço legal com base na Política Nacional de RSU, consulta a especialistas, caracterização quali-quantitativa dos resíduos gerados no meio urbano e avaliação *in loco* nos municípios de Humaitá, Manicoré e Ariquemes, utilizando da ferramenta SWOT. A consulta aos especialistas associada a um levantamento de aspectos econômicos e estruturais da região de Humaitá permitiu fundamentar a decisão de excluir a incineração e o tratamento mecânico biológico dos cenários de gestão dos RSU em ambiente amazônico. Assim, foram elaborados cinco cenários para o SGRSU de Humaitá, sendo o primeiro chamado de Cenário Base, no qual se dispõe todos os RSU em aterro sanitário. Os demais cenários envolveram percentuais de triagem de resíduos sólidos secos e posterior envio para a capital Manaus, no estado do Amazonas; percentuais de compostagem dos resíduos sólidos úmidos e de resíduos enviados para o aterro sanitário. O desempenho ambiental desses cenários foi simulado por meio da Avaliação do Ciclo de Vida, utilizando o software SimaPro e o método ReciPe midpoint. Na avaliação do desempenho econômico foram utilizados dados do município e informações da literatura científica. Na análise da ecoeficiência correlacionaram-se os impactos ambientais com os custos operacionais e de investimentos em cada cenário. Os resultados de ACV demonstraram melhor desempenho ambiental nos cenários que encaminhavam os resíduos secos (metais, PET e papel/papelão) por modal hidroviário para Manaus, bem como o tratamento dos resíduos úmidos pela compostagem, desviando do aterro, atingindo uma redução de até 39% dos impactos ambientais do SGRSU. Os maiores impactos ambientais foram observados no Cenário Base. A avaliação econômica mostrou que o cenário correspondente a triagem de 100% dos metais e PET e 30% de resíduos de papel/papelão para envio de barco a Manaus; compostagem de 100% dos resíduos orgânicos e aterramento dos demais resíduos recicláveis e rejeitos, alcançou o maior custo de investimento e operação (US\$ 422.000,00). A análise da ecoeficiência mostrou uma melhor transição do Cenário Base para aquele no qual a triagem dos metais e PET e o posterior envio por barco para Manaus atingia 100%; a compostagem dos resíduos orgânicos alcançava 100% e os demais resíduos recicláveis e rejeitos eram aterrados. Assim, o poder público municipal poderia elaborar políticas para se estabelecer cenários intermediários, até se atingir os maiores percentuais de triagem para a reciclagem dos resíduos secos e compostagem dos resíduos úmidos. A partir deste estudo, foi possível concluir que a abordagem metodológica de integração dos aspectos conjunturais, avaliação de desempenho ambiental e econômico e transição de ecoeficiência, permitiram a elaboração e identificação de cenários mais adequados ao momento histórico da sub-região da Amazônia Ocidental.

Palavras-Chave: Amazônia Brasileira. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Avaliação Econômica. Aspectos Conjunturais.

ABSTRACT

The Decision-making in the management of waste solid urban (MSW) requires an assessment integrated of aspects political, cultural, social, economic and environmental, for if to outline scenarios that include regional specificities. In this context, the choice of the best scenario can be supported by life cycle assessment models (LCA), a technique that allows estimating the impacts environmental of all stages of a solid urban waste management system (SGRSU). In this way, the present research proposed and analyzed different scenarios for the management of MSW, based on the transition of eco-efficiency, in the sub-region of the Western Amazon. For this, was developed a case study in the region of the municipality of Humaitá, state of Amazonas. It took place, initially, an analysis of conjunctural aspects related to the management of MSW in the Amazon through a bibliographic survey in the countries of that region, an analysis of the legal framework based on the National Policy of MSW, consultation with specialists, characterization qualitative and quantitative from waste generated in the urban environment and on-site assessment in the municipalities of Humaitá, Manicoré and Ariquemes, using the SWOT tool. The consultation with specialists associated with a survey of aspects economic and structural of the region of Humaitá provided the basis for the decision to exclude incineration and biological mechanical treatment from the scenarios for the management of waste solid in environment Amazonian. Thus, were elaborate five scenarios for the SGRSU of Humaitá, the first being called the Base Scenario, in which all MSW are disposed of in a landfill. The other scenarios involved percentages of sorting of dry solid waste and subsequent shipment to the capital Manaus, in the state of Amazonas, percentages of composting of wet solid waste and waste sent to the landfill. The performance environmental of these scenarios was simulated through Life Cycle Assessment, using the software SimaPro and the method ReciPe midpoint. In the evaluation of performance economic, data from the current situation were used of the municipality and information from the scientific literature. In the analysis of eco-efficiency correlated the impacts environmental with costs operating and investment in each scenario. The LCA results showed better performance environmental in scenarios that sent waste dry (metals, PET and paper/cardboard) by waterway modal to Manaus, as well as the treatment of wet waste by composting, deviating from the landfill, achieving a reduction of up to 39 % of SGRSU environmental impacts. The greatest environmental impacts were observed in the Base Scenario. The evaluation economic showed that the scenario corresponds to the screening of 100% of metals and PET and 30% of waste paper/cardboard to send of boat to Manaus; composting 100% of organic waste and landfilling of other recyclable and tailings waste, reached the highest investment and operating cost (US \$ 422,000.00). The analysis of eco-efficiency showed a better transition from the Base Scenario for one in which the screening of PET and metals and the subsequent shipment to Manaus reached 100%; the composting of organic waste reached 100% and the other recyclable and tailings was landfilled. Thus, the municipal public power could develop policies to establish intermediate scenarios, until the highest percentages of sorting for the recycling of dry waste and composting of wet waste are achieved. From this study, it was possible to conclude that the approach methodological of integration of the conjunctural aspects, evaluation of performance environmental and economic and transition of eco-efficiency, allowed the elaboration and identification of scenarios more adequate to the moment historical of the sub-region of the Western Amazon.

Keywords: Brazilian Amazon. Life Cycle Assessment (LCA). Evaluation Economic. Conjunctural Aspects.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Fases de uma ACV.	29
Figura 2 - Abordagem metodológica da pesquisa.	46
Figura 3 - Extensão da região Amazônica.	48
Figura 4 - Município de Humaitá e Região de estudo.	49
Figura 5 - Fronteira do Sistema	58
Figura 6 - Problemas, limitações e barreiras enfrentadas pelos municípios do interior da região Amazônica.	76
Figura 7 - Planejamento da gestão de resíduos agregam ganhos.	77
Figura 8 - Alternativas de disposição e tecnologias de tratamento dos RSU, com potencial para sub-região da Amazônia Ocidental.	78
Figura 9 – Alternativas de gestão de resíduos sólidos urbanos que se enquadrariam em ambientes amazônicos.	79
Figura 10 - Barreiras e limitações para atrair empresas recicladoras para Amazônia.	81
Figura 11 - Processo de queima dos resíduos sólidos urbanos.	85
Figura 12 - Local de disposição no período chuvoso.	86
Figura 13 - Fluxo de resíduos secos via logística terrestre (Humaitá-São Paulo) e fluvial (Humaitá-Manaus).	88
Figura 14 - Lixeiras adaptadas na área urbana do município de Humaitá.	94
Figura 15 - Armazenamento de materiais recicláveis da ACRSMM no município de Manicoré-AM.	99
Figura 16 - Sistema de tratamento de efluentes gerados no Aterro Sanitário de Ariquemes.	103
Figura 17 - Impactos totais e as contribuições – por meio da pontuação única (A) de cada categoria de impacto para todos os cenários.	116
Figura 18 - Ecoeficiência em termos de custos operacionais e de investimentos referentes aos impactos ambientais.	125
Figura 19 - Ecoeficiência em termos de custos operacionais e de investimentos referentes aos impactos ambientais nas categorias avaliadas.	126

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de energia e combustível nas diferentes etapas do SGIRSU.	61
Tabela 2 - Valores de referência para Avaliação Econômica por unidade.....	63
Tabela 3 - Trabalhos publicados na área de gestão de RSU na região Amazônica no intervalo temporal de 2007-2019.....	65
Tabela 4 - Principais indicadores territoriais e demográficos dos países da Amazônia Continental.	69
Tabela 5 - Informações compiladas de relatórios oficiais sobre os resíduos sólidos dos países que compõem a Amazônia Continental.....	69
Tabela 6 - Quantidades de recicladoras de plástico na Amazônia Brasileira.....	74
Tabela 7 - Distribuição dos especialistas, segundo os estados da federação e regiões do Brasil.	75
Tabela 8 - Cenários avaliados pelos especialistas, com destaque para os índices de reaproveitamento dos resíduos e suas formas de destinação.	82
Tabela 9 - Resposta dos especialistas (questionário) quanto aos cenários de gestão dos RSU no município de Humaitá - AM.....	83
Tabela 10 - Aspectos e potenciais impactos ambientais observados no local de disposição de resíduos.....	95
Tabela 11 - Amostragem e Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos do município de Humaitá-AM.....	96
Tabela 12 - Quantidade de resíduos secos enviadas via embarcações mistas, bem como o envio para usina de compostagem e aterramento.	108
Tabela 13 - Inventário do ciclo de vida (entradas e saídas) usados na ACV de RSU anualmente de Humaitá, Amazonas.	109
Tabela 14 - Etapas e suas contribuições ao impacto ambiental na categoria mudança climática para cada um dos cenários avaliados, por meio do método de caracterização.....	110
Tabela 15 - Etapas e suas contribuições ao impacto ambiental na categoria toxicidade humana para cada um dos cenários, por meio do método de caracterização.	111
Tabela 16 - Etapas e suas contribuições ao impacto ambiental na categoria acidificação para cada um dos cenários avaliados, por meio do método de caracterização.....	112
Tabela 17 - Etapas e suas contribuições ao impacto ambiental na categoria eutrofização para cada um dos cenários avaliados, por meio do método de caracterização.....	113

Tabela 18 - Projeção do crescimento populacional, da geração de resíduos sólidos urbanos a serem dispostos no aterro sanitário em consonância com os cenários propostos.....	118
Tabela 19 - Custos anuais operacionais e de investimentos do SGRSU para o cenário base.	119
Tabela 20 – Materiais e custos para construção de um galpão de triagem.....	120
Tabela 21 - Custos anuais operacionais e de investimentos do SGRSU para o C1.	120
Tabela 22 - Custos anuais operacionais e de investimentos do SGRSU para o C2.	121
Tabela 23 - Custos anuais operacionais e de investimentos do SGRSU para o C3.	122
Tabela 24 - Custos anuais operacionais e de investimentos do SGRSU para o C4.	123
Tabela 25 - Receita anual com a implantação dos cenários.	124
Tabela 26 - Dados de entrada e saída das unidades de destinação dos RSU para o Cenário Base.	169
Tabela 27 - Dados de entrada e saída das unidades de destinação dos RSU para o “C1” anual.	170
Tabela 28 - Dados de entrada e saída das unidades de destinação dos RSU para o “C2” anual.	171
Tabela 29 - Dados de entrada e saída das unidades de destinação dos RSU para o “C3” anual.	172
Tabela 30 - Dados de entrada e saída das unidades de destinação dos RSU para o “C4” anual.	173
Tabela 31 - Avaliação econômica anual para cada cenário em reais sem amortização.	174

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1- Categorias de impacto e indicadores ambientais para a AICV.	61
Quadro 2 - Análise SWOT da ACRSMM.	97
Quadro 3 - Análise SWOT do Aterro Sanitário de Ariquemes.	102
Quadro 4 - Métodos para avaliação de impactos.	150
Quadro 5 - Softwares de apoio a ACV.	151
Quadro 6 - Banco de dados de ICV.	152

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACRSMM - Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis Solidária do Município de Manicoré

ACV - Avaliação de Ciclo de Vida

AICV - Avaliação do impacto de Ciclo de Vida

CISAN - Consórcio Intermunicipal de Saneamento

CO - Monóxido de Carbono

CO₂ - Dióxido de Carbono

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

DA - Digestão Anaeróbia

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DOC - Carbono Orgânico Degradável

EEA - European Environment Agency

EPA - Agência de Proteção Ambiental

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICV - Análise de inventário de Ciclo de Vida

IPAAM - Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas

LCT - Life Cycle Thinking

MP - Material Particulado

PGIRSU - Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos

PH – Potencial Hidrogeniônico

PIB - Produto Interno Bruto

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSD - Resíduos Sólidos Domiciliares

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SGRSU - Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos

SNIS - Sistema Nacional de Informação de Saneamento

SO₂ - Dióxido de Enxofre

UF - Unidade Funcional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 HIPÓTESE	21
3 OBJETIVOS	21
4 REVISÃO DE LITERATURA	22
4.1 RESÍDUOS SÓLIDOS: CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO	22
4.2 ESTRATÉGIAS DE GESTÃO DOS RSU	23
<i>4.2.1 Estados Unidos e União Européia</i>	<i>26</i>
<i>4.2.2 Brasil</i>	<i>27</i>
4.3 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV)	28
<i>4.3.1 Softwares e banco de dados utilizados na ACV</i>	<i>32</i>
<i>4.3.2 Avaliação de ciclo de vida aplicada à gestão dos RSU: estudos de caso</i>	<i>33</i>
4.4 CUSTEIO DO CICLO DE VIDA (CCV)	36
4.5 TRANSIÇÃO DA ECOEFICIÊNCIA	37
4.6 ANÁLISE SWOT - FORÇAS, OPORTUNIDADES, FRAQUEZAS E AMEAÇAS	39
4.7 ANÁLISE DE ASPECTOS CONJUNTURAIS	40
5 METODOLOGIA	46
5.1 TIPO DE PESQUISA	46
5.2 ETAPAS DA PESQUISA	46
<i>5.2.1 Diagnóstico da Amazônia e da região de Humaitá</i>	<i>46</i>
<i>5.2.2 Análise da conjuntura da gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos</i>	<i>50</i>
<i>5.2.2.1 Revisão sobre a gestão dos resíduos sólidos na Amazônia</i>	<i>51</i>
<i>5.2.2.2 Análise da Conjuntura Legal</i>	<i>51</i>
<i>5.2.2.3 Análise da Conjuntura na Amazônia: Avaliação de estratégias de gestão dos RSU na Amazônia por especialista</i>	<i>52</i>
<i>5.2.2.4 Análise da Conjuntura: Diagnóstico in loco da gestão de sólidos na região de Humaitá</i>	<i>53</i>
<i>5.2.2.4.1 Análise SWOT de estratégias de gestão dos RSU: Cooperativas e Aterro Sanitário</i>	<i>56</i>
<i>5.2.3 ACV do SGRSU do município de Humaitá-AM</i>	<i>56</i>
<i>5.2.4 Modelagem da ACV</i>	<i>57</i>
<i>5.2.4.1 Objetivo</i>	<i>57</i>
<i>5.2.4.2 Escopo</i>	<i>57</i>

5.2.4.3	<i>Função e Unidade Funcional (U.F)</i>	57
5.2.4.4	<i>Sistema de Produto e Fronteiras do Sistema</i>	57
5.2.4.5	<i>Tipo e Qualidade de Dados</i>	58
5.2.4.6	<i>Inventário do ciclo de vida (ICV)</i>	59
5.2.4.7	<i>Avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV)</i>	61
5.2.4.8	<i>Interpretação dos resultados</i>	61
5.2.5	<i>Avaliação dos impactos econômicos</i>	62
5.2.6	<i>Análise de Ecoeficiência</i>	63
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
6.1	GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA REGIÃO AMAZÔNICA	64
6.2	ASPECTOS DA CONJUNTURA DA GESTÃO DOS RSU NA SUB-REGIÃO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL	75
6.2.1	<i>Estratégias de gestão dos RSU na Amazônia: Perspectivas por especialista</i>	75
6.2.2	<i>Diagnóstico in loco da gestão dos resíduos sólidos na região de Humaitá</i>	83
6.2.2.1	<i>Análise SWOT de estratégias de gestão dos RSU: Cooperativas</i>	97
6.2.2.2	<i>Análise SWOT de estratégias de gestão dos RSU: Aterro Sanitário</i>	101
6.3	<i>Avaliação e sistematização de cenários de gestão de RSU</i>	105
6.3.1	<i>Inventário do Ciclo de Vida (ICV)</i>	109
6.3.2	<i>Avaliação de Impactos no Ciclo de Vida (AICV)</i>	110
6.3.3	<i>Método de Normalização</i>	115
6.3.4	<i>Avaliação Econômica</i>	117
6.4	ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA	124
6.5	DIRETRIZES E AÇÕES PARA ELABORAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS DE GESTÃO DE RSU	127
7	CONCLUSÕES	129
	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	131
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
	APÊNDICE A – MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS NA ACV	150
	APÊNDICE B – SOFTWARES USADOS NA ACV	151
	APÊNDICE C – BANCO DE DADOS DE ICV	152
	APÊNDICE D - INSTRUMENTO PARA COLETA DE DADOS: QUESTIONÁRIO	153
	APÊNDICE E - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	163

APÊNDICE F - QUESTIONÁRIO APLICADO À ASSOCIAÇÃO DE CATADORES DE MANICORÉ - AM.....	167
APÊNDICE G - QUESTIONÁRIO APLICADO AO GESTOR DO ATERRO SANITÁRIO DE ARIQUEMES - RO.....	168
APÊNDICE H - CÁLCULOS DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ENTRADAS E SAÍDAS) DAS UNIDADES DE TRATAMENTO DE RSU PARA TODOS OS CENÁRIOS.....	169
APÊNDICE I – CÁLCULO ECONÔMICO DOS CENÁRIOS	174

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico associado à rápida industrialização, urbanização e crescimento populacional intensificaram a taxa de geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), especialmente nos países de economias emergentes, tornando a sua gestão um desafio de proporção global (GUERRERO *et al.*, 2013).

Tal aumento na produção de resíduos sólidos acarreta graves danos ambientais, como a poluição do solo, ar, águas superficiais e subterrâneas, bem como a propagação de doenças, conforme relatado em estudos realizados em diferentes países, como na China (YAY, 2015), Índia (SHARMA e CHANDEL, 2017), Brasil (OLIVEIRA *et al.*, 2016), Turquia (YILDIZ *et al.*, 2013), Bolívia (FERRONATO *et al.*, 2018), Portugal (HERVA *et al.*, 2014), Espanha (FERNANDEZ-NAVA *et al.*, 2014) e Itália (RIPA *et al.*, 2017).

O agravamento da degradação ambiental relacionada aos RSU pode ser potencializado pela falta de planejamento urbano, a escassez de mão de obra qualificada, informações insuficientes, restrições financeiras, dentre outros fatores, trazendo desafios aos gestores e autoridades municipais (RIPA *et al.*, 2017).

Um marco histórico na gestão dos resíduos sólidos no Brasil foi à promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual propõe uma visão sistêmica como um de seus princípios e fundamenta a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, incorporando a população, empresas, prefeituras e governos estaduais e federais (BRASIL, 2010).

Logo, a PNRS segue a tendência mundial de hierarquização, no qual se priorizam ações de redução do volume de resíduos, desde o início do processo e em todas as fases da cadeia, como o reaproveitamento, a reciclagem e a compostagem, o que deveria permitir somente a disposição de rejeitos nos aterros (POLETTO *et al.*, 2016).

Nesta conjuntura, inovações tecnológicas e novas tendências para a gestão de resíduos sólidos vêm surgindo com o objetivo de atender a demanda crescente de materiais, bem como contrapor os impactos ambientais, sociais e econômicos (PAES *et al.*, 2020a).

Assim, a abordagem de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) tem crescido rapidamente nos últimos anos, por ser uma ferramenta robusta para auxiliar a tomada de decisões, tornando-se de suma importância na avaliação de impactos ambientais na gestão de RSU, bem como permite orientar alternativas e cenários de gestão ambientalmente adequada para os resíduos sólidos (LAURENT *et al.*, 2014a). Outra abordagem refere-se ao desempenho

econômico na gestão dos resíduos sólidos a qual vem sendo potencializada com base no Pensamento do Ciclo de Vida, em defluência da correlação e importância da análise econômica em um sistema de gestão (COLVERO *et al.*, 2020).

Estudos têm sido publicados, em países desenvolvidos e em desenvolvimento, utilizando-se da ferramenta ACV para a avaliação dos impactos ambientais de diferentes cenários de gestão de resíduos sólidos, como no Brasil (PAES *et al.*, 2020a), China (ZHAO *et al.*, 2018), Bélgica (BELBOOM *et al.*, 2013), Espanha (FERNANDEZ-NAVA *et al.*, 2014), Portugal (HERVA *et al.*, 2014), Índia (SHARMA e CHANDEL, 2017), Itália (RIPA *et al.*, 2017), Nepal (DANGI *et al.*, 2011), Turquia (YAY, 2015), Malásia (SAHERI *et al.*, 2012), Irã (RAJAEIFAR *et al.*, 2015), Rússia (TULOKHONOVA e ULANOVA, 2013).

Contudo, poucos estudos integram ACV com avaliação econômica, por meio da relação dos custos e impactos ambientais. Nesta conjuntura, a transição de ecoeficiência têm sido cada vez mais aplicada para avaliar o desempenho das estratégias de gestão dos RSU, visto que este processo associa o desempenho ambiental e econômico (YANG *et al.*, 2015).

Dentro deste contexto, ainda são escassos estudos de ACV relacionados à gestão de RSU, considerando os fatores ambientais, sociais e econômicos, em regiões vulneráveis como a Amazônica. Uma série de questões emerge nessa área geográfica do planeta, relacionadas à gestão dos resíduos sólidos urbanos. A primeira é o seu caráter de isolamento geográfico, tanto no Brasil quanto nos países que dela fazem parte.

Na Amazônia brasileira outra questão importante refere-se à sua diversidade de realidades, pois existem zonas metropolitanas relevantes, como na capital Manaus, no estado do Amazonas. Essa área metropolitana apresenta uma condição econômica, demográfica e social distinta daquela do interior do estado. Tal conjuntura favorece estratégias específicas de gestão dos RSU, em razão do mais alto potencial de investimento financeiro, como a instalação de indústrias de reciclagem, a construção e manutenção de aterro sanitário, a logística reversa e a responsabilidade compartilhada (MANNARINO *et al.*, 2016).

Assim, visando contribuir para a tomada de decisão e alternativas sustentáveis para a melhoria da gestão de resíduos sólidos urbanos na sub-região da Amazônia Ocidental, mais especificamente no município de Humaitá, levanta-se o desafio de se elaborar cenários de gestão dos RSU baseado na transição de ecoeficiência, nos aspectos conjunturais da Amazônia, em análises ambientais e econômicas por meio da ACV, avaliações *in loco*, consulta a especialistas e técnica SWOT.

2 HIPÓTESE

A abordagem metodológica para a seleção e análise de cenários de gestão dos resíduos sólidos urbanos alinhados ao momento histórico da sub-região da Amazônia Ocidental inclui: uma análise de aspectos conjunturais e consulta a especialistas; avaliação dos impactos ambientais, baseada no ciclo de vida, e dos aspectos econômicos, integrando-os pela transição de ecoeficiência.

3 OBJETIVOS

A presente pesquisa visou propor e analisar cenários para a gestão dos resíduos sólidos urbanos na sub-região da Amazônia Ocidental, por meio da transição de ecoeficiência. Nesse estudo, considerou-se a correlação entre o desempenho ambiental e econômico, de modo a estruturar e propor diretrizes e ações de melhorias para o Sistema de Gestão dos Resíduos Sólidos, tomando-se como estudo de caso o município de Humaitá, Amazonas.

Os objetivos Específicos desta pesquisa são:

- a) Levantar as estratégias de gestão dos resíduos sólidos urbanos nos países da região Amazônica, baseado em levantamento bibliográfico.
- b) Analisar aspectos da conjuntura do sistema de gestão dos RSU na sub-região da Amazônia Ocidental, tomando como estudo de caso o município de Humaitá, buscando verificar e identificar suas lacunas e deficiências.
- c) Propor cenários de gestão dos resíduos sólidos urbanos baseado em consulta a especialistas e análise de aspectos conjunturais;
- d) Avaliar os impactos ambientais e econômicos desses cenários, considerando as etapas de coleta, tratamento e disposição final, ao longo do ciclo de vida.
- e) Avaliar a transição de ecoeficiência desses cenários em relação ao cenário base, considerado a disposição final de todos os resíduos sólidos gerados em aterro sanitário.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Resíduos Sólidos: Conceitos e Classificação

A Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), apresenta instrumentos e conceitos que permitem o avanço da gestão de resíduos sólidos no Brasil. Nessa lei, os resíduos sólidos foram definidos como todo material, substância, objeto ou bem descartado de atividades humanas que podem ser reutilizados e reaproveitados.

Nessa concepção, os resíduos sólidos apresentam um valor monetário, pois retornam como matéria prima em processos industriais, após o fim do seu ciclo de vida, potencializando a economia circular (PAES *et al.*, 2019). Desse modo, a valoração de resíduos pode ajudar a superar os problemas associados com sua geração e gestão, além de reduzir o consumo de recursos naturais (COBO *et al.*, 2018).

Outra categoria de resíduo sólido associada à PNRS refere-se aos rejeitos, os quais correspondem a materiais que depois de esgotadas as possibilidades de tratamento ou recuperação, não apresentem outra alternativa que não seja a disposição em aterros sanitários (MERSONI e REICHERT, 2017).

A NBR 10.004 (2004) normatizou uma classificação dos resíduos sólidos, em resíduo perigoso ou Classe I e; resíduos não perigosos, contemplando os não inertes ou Classe II-A e inerte ou Classe II-B.

De acordo com essa classificação os resíduos perigosos se forem manuseados de forma inadequada podem causar a mortalidade e incidência doenças, além de danos ao meio ambiente, pois apresentam propriedades de corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade e inflamabilidade (ABNT, 2004).

Os resíduos da Classe II-B se destacam por não apresentarem qualquer grau de solubilidade em água, excetuando-se os aspectos cor, turbidez, dureza e sabor, como entulhos, vidros e tijolos. Os resíduos Classe II-A são aqueles que não se enquadram na classe I e II-B, assim, apresentam propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água, ou seja, podem-se exemplificar materiais orgânicos, papéis e lodos (ABNT, 2004).

Sob outra perspectiva, a Política Nacional de Resíduos Sólidos classifica os resíduos sólidos urbanos (RSU) como aqueles gerados nos domicílios e oriundos de limpeza pública (BRASIL, 2010). Neste âmbito visando o processo de planejamento, armazenamento, transporte e destinação dos resíduos, torna-se importante a classificação de acordo com sua natureza física (úmido e seco).

Dessa forma, os resíduos secos são aqueles materiais que não estão contaminados por outras substâncias e que apresentam potencial de serem reaproveitados, reutilizados e reciclados, como metais, papel, papelão, vidros, plásticos e outros. Em contraste, os resíduos úmidos são materiais que podem ser degradados e transformados em adubo orgânico pelo processo de compostagem e da digestão anaeróbica, como as sobras de alimentos, restos de jardins e quintais, papel higiênico e outros (MANCINI *et al.*, 2012).

4.2 Estratégias de Gestão dos RSU

A gestão municipal de resíduos sólidos é um desafio complexo que afeta principalmente os países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, por suas carências de estruturas administrativas, financeiras, de regulamentações, de infraestrutura e de recursos humanos adequados (BOTELLO-ALVAREZ *et al.*, 2018).

De acordo com Soltani *et al.* (2017) a geração dos RSU deverá duplicar na terceira década do século 21, em relação à segunda década, devido ao crescimento populacional mundial, ao aumento da urbanização e ao desenvolvimento socioeconômico dos países em desenvolvimento.

Vujić *et al.* (2015) destacam que a gestão dos resíduos sólidos enfrenta a influência da legislação iminente, recomendações de especialistas de todo o mundo e diferentes grupos de interesse, notadamente nos países em desenvolvimento. Os mesmos autores destacam que técnicas de tratamento desses resíduos são amplamente reconhecidas cientificamente, porém, não são regularmente incorporadas nos sistemas de gestão de resíduos sólidos, os quais não atendem as demandas locais.

Martinez-Sanchez *et al.* (2017) consideram a avaliação das inferências econômicas, sociais, políticas, institucionais e ambientais das estratégias de gestão de RSU um componente base de uma sociedade sustentável e ao mesmo tempo um processo complexo e dinâmico. Nessa avaliação, torna-se necessário aferir os impactos econômicos e ambientais da coleta, transporte, triagem, tratamento e disposição dos resíduos, bem como a estimativa das economias obtidas por meio da recuperação de materiais e resíduos.

Para Ikhlayel (2018) a gestão dos resíduos sólidos nos países em desenvolvimento pode ajudar a promover uma produção mais limpa e reduzir as emissões, retornando materiais (papel, plástico e metais (cobre e alumínio)) à cadeia de fornecimento.

A gestão dos resíduos sólidos urbanos engloba aspectos de planejamento, abrangendo ações administrativas, gerenciais, econômicas, ambientais, política, cultural, social e, desempenho de produtividade e qualidade (BERTICELLI *et al.*, 2017).

Segundo a Lei Federal 12.305 (BRASIL, 2010), a administração e controle da coleta, transporte, triagem, tratamento e disposição final dos RSU são atribuições do poder público municipal. Portanto, compete aos municípios legislar, organizar e prestar direta ou indiretamente os serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, sem isentar a responsabilidade do gerador quanto à disponibilização do material para a coleta. Ressalta-se ainda, que a PNRS, preconiza a seguinte ordem de prioridade na gestão de resíduos: 1) Não geração; 2) Redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

O poder público municipal no Brasil enfrenta problemas quanto ao cumprimento das normas estabelecidas na PNRS, pela falta de conhecimento técnico, investimentos tecnológicos, recursos financeiros adequados que atendam os processos de planejamento, instalação e operação da área de disposição de RSU (BRASIL, 2010). Essa condição explica o número de municípios brasileiros nos quais os lixões a céu aberto são a única alternativa de disposição dos RSU (RAMOS *et al.*, 2017).

Nesta conjuntura, os poderes públicos municipal, estadual e federal, devem buscar parcerias juntos a órgãos de fomento a fim de dar subsídios para tal substituição, principalmente orientações, consultorias e recursos disponíveis para sanar as dificuldades na coleta, disposição e tratamento dos RSU (RAMOS *et al.*, 2017). Dentre esses órgãos de fomento pode-se citar a Financiadora de Inovação e Pesquisa (FINEP) e o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações.

A PNRS ainda incentiva o uso de consórcios intermunicipais para a gestão integrada de resíduos sólidos urbanos. Nessa abordagem promove-se a descentralização e a prestação dos serviços, a otimização dos recursos e tratamento dos RSU, a redução da geração e disposição final. Além disso, fomenta a utilização de aterros sanitários em escala otimizada, proporciona oportunidades para as associações e cooperativas, e ainda, pode ser replicável em outras regiões (FERREIRA e JUCÁ, 2017).

Destaca-se ainda que se estiver contemplada a coleta seletiva no Plano Municipal de Gestão Integrada de RSU, o consumidor será responsável por acondicionar adequadamente e de forma diferenciada os resíduos gerados, além de disponibilizar os resíduos recicláveis em pontos estratégicos para a coleta (BRASIL, 2010).

A coleta corresponde a uma importante etapa do SGRSU, podendo ser de dois tipos: regular e seletiva (LIMA, 2014). Segundo esses autores, na coleta regular os resíduos secos e úmidos não são separados, enquanto na coleta seletiva se realiza a separação na fonte, em duas ou mais categorias de resíduos, devendo em ambos os casos que os resíduos gerados sejam transportados mecanicamente desde a geração até a destinação ou disposição final.

No que tange a coleta seletiva, esse processo reduz a quantidade de resíduos destinados a aterro, facilita o seu acúmulo e posterior tratamento, de acordo com a classe do resíduo, o que pode representar sensível economia. No entanto, quanto mais processos de separação forem realizados, será necessário mais transporte diferenciado o que encarece o sistema. Desta maneira, ganha força o conceito de uma coleta seletiva simples, dividindo os resíduos em secos (plásticos, metais, vidros e papéis, por exemplo) e úmidos (matéria orgânica, incluindo resíduos alimentares, resíduos de jardim e resíduo de banheiro) (MANCINI *et al.*, 2012).

Nesta perspectiva, destaca-se o tratamento dos RSU como importante etapa do SGRSU, pois este processo objetiva diminuir os poluentes dispostos no meio ambiente e reduzir os impactos sanitários e econômicos (WANG *et al.*, 2015). Portanto, o tratamento de RSU é um recurso com enorme potencial em termos de recuperação de matéria e energia, o qual envolve os fluxos de resíduos secos e úmidos (ARAFAT *et al.*, 2015).

Para Zaman e Swapan (2016) o processo de tratamento apresenta benefícios ambientais e econômicos nos sistemas de gestão dos resíduos sólidos, bem como aumenta a eficiência dos recursos e reduz os encargos ambientais. Segundo esses autores, a reciclagem global per capita atinge 75 kg ano⁻¹ de resíduos, equivalente a uma taxa de 17% de reciclagem. Além disso, a distribuição territorial da reciclagem, em escala global, não ocorre de forma uniforme, pelo baixo potencial de investimento e desperdício de recursos, destacando-se negativamente os países do sul da Ásia, Oriente Médio e América do Sul (ZAMAN e SWAPAN, 2016).

Na maioria dos países desenvolvidos, os resíduos sólidos urbanos (RSU) são majoritariamente tratados em aterros, recicladoras e incinerados (FEI *et al.*, 2018). Estes autores apontaram que a eficácia dos métodos de classificação e tratamento de resíduos não pode ser garantida, especialmente nos países em desenvolvimento, devido principalmente pela defasagem de tecnologias de tratamento, diferença dos níveis de consumo, estilo de vida e características dos RSU.

Para Aleluia e Ferrão (2017) deve-se compreender as implicações do custo das tecnologias e métodos de tratamento de resíduos disponíveis, para se planejar, projetar e configurar adequadamente os sistemas municipais de gestão de resíduos sólidos. Considerando ainda os processos de formulação de políticas para que as abordagens mais adequadas e econômicas possam ser promovidas e apoiadas por meio de políticas direcionadas, e regulamentos com mecanismo de incentivo.

4.2.1 Estados Unidos e União Européia

A gestão de RSU tem sido e continuará a ser uma importante questão enfrentada pelos países do mundo inteiro (CHEN e CHRISTENSEN, 2010). Neste âmbito, a geração de resíduos sólidos urbanos a nível mundial é de aproximadamente 1,3 bilhão de toneladas por ano, e deve aumentar para 2,2 bilhões de toneladas até 2025 (LEE *et al.*, 2016). Conforme a Agência de Proteção Ambiental, em uma avaliação no espaço temporal de 1960-2015, houve um aumento de 78% na população e 198% na geração de RSU nos Estados Unidos, bem como as emissões de metano em aterros contribuíram com 18,1% nas emissões de gases de efeito estufa no país (EPA, 2018).

Portanto, no ano de 2015, a população americana estava estimada em 320,9 milhões de pessoas, os quais produziram cerca de 262 milhões de toneladas de resíduos sólidos. Do montante gerado, 68 milhões de toneladas foram recicladas (25,8%), 23 milhões de toneladas foram compostadas (8,9%), 33 milhões de toneladas foram queimadas com recuperação de energia (12,8%) e mais de 137 milhões de toneladas de RSU foram depositados em aterros (52,5%) (EPA, 2018).

Por outro lado, os sistemas de gestão dos resíduos sólidos urbanos nos países membros da união europeia se refletem em ações e diretrizes que priorizam a prevenção, minimização, reutilização, reciclagem, recuperação (incluindo a energética) e a eliminação (incineração ou disposição em aterros) (CASTILLO-GIMENEZ *et al.*, 2019).

Segundo a Agência Européia do Ambiente – EEA, nas últimas duas décadas, os países europeus vêm mudando suas ações no que diz respeito aos resíduos sólidos urbanos, principalmente no que tange os métodos de disposição. Nas diretivas na União Européia (UE), por exemplo, se estabeleceu que 60% dos resíduos passem pelo processo de reciclagem e reutilização até 2025 e 65% em 2030 (SCARLAT *et al.*, 2019).

Na União Européia (EU) foram geradas 245 milhões de toneladas de RSU em 2016, destacando-se a Alemanha, Espanha, França, Itália e Reino Unido (CASTILLO-GIMENEZ *et*

al., 2019). As principais formas de tratamento dos RSU em 2016 foram a reciclagem (69 milhões de toneladas), seguida pela incineração com ou sem recuperação energética (64 milhões de toneladas) e compostagem (49 milhões de toneladas), todavia, cerca de 25% (62 milhões de toneladas) foram dispostas em aterros sanitários (SCARLAT *et al.*, 2019). Segundo esses autores, dentre os países que mais dispõem seus resíduos em aterros sanitários destacam-se a Bulgária, Romênia e Grécia.

Halkos e Petrou (2019) em seus estudos enfatizaram que os países mais eficientes em relação ao aumento nas taxas de reciclagem (>50%) e redução no uso de aterros sanitários foram a Áustria, Alemanha, Bélgica, Holanda e Suécia, os quais visam uma transição para a economia circular.

Portanto, na União Européia observa-se uma clara tendência de se elevar as taxas de reciclagem e de reduzir a disposição em aterro sanitário. Nesse universo, a disposição de resíduos sólidos em aterro sanitário diminui mais rapidamente do que o crescimento da reciclagem, pois as alternativas e estratégias de gestão para o respectivo tratamento passam do aterro para uma combinação de tecnologias (reciclagem, incineração, compostagem e, em alguns casos, o tratamento mecânico-biológico) (EEA, 2013).

Para Trulli *et al.* (2018) a introdução de instalações de tratamento mecânico-biológico (TMB) são recomendadas principalmente para regiões em desenvolvimento com alta produção de resíduos orgânicos. Os mesmos autores destacam que esse tratamento visa estabilizar os resíduos orgânicos, reduzir a massa disposta de resíduos sólidos urbanos em até 30%, reduzir os impactos ambientais, aumentar a vida útil do local de disposição e melhorar a saúde humana.

4.2.2 Brasil

A população do Brasil, em 2017, era estimada em aproximadamente 209 milhões de habitantes (IBGE, 2017). Conforme o Sistema Nacional de Informação de Saneamento (SNIS) 3.556 municípios participaram da coleta de dados, perfazendo 63,8% do total de cidades do país. Neste contexto, em termos de população urbana este percentual atinge 146,3 milhões de habitantes urbanos.

Segundo o SNIS a quantidade de resíduos sólidos urbanos coletados no país era estimada em aproximadamente 166 mil toneladas por dia, e a coleta deste atinge 98,8% da população urbana e 91,7% da população total do Brasil, para o ano de 2017 (SNIS, 2019). Contudo, constatou-se um déficit no atendimento de aproximadamente 2,3 milhões de

habitantes das cidades brasileiras, sendo 52% destes moradores da região nordeste, 14% da região norte e outros 34% divididos entre a região sul, sudeste e centro-oeste (SNIS, 2019).

A partir do exposto, constata-se a desigualdade das taxas de cobertura dos serviços de manejo e coleta dos resíduos nas regiões do país. No entanto, os déficits de cobertura nas regiões norte e nordeste, se justificam por apresentarem os maiores percentuais de população rural. No que diz respeito à geração per capita, verificou-se o valor médio de 0,95 kg/(hab.dia) (SNIS, 2019).

Destaca-se, 63% da massa total coletada no país foram dispostas em aterros sanitários, 1,65% tratados e recuperados em unidades de triagem e reciclagem, 17,8% dispostos em locais inadequados, como lixões e aterros controlados, e 17,55% não apresentavam qualquer informação sobre a forma de tratamento disposição (SNIS, 2019).

Em contraste com os países da União Européia e dos Estados Unidos é possível observar que o Brasil está muito aquém do esperado, uma vez que apenas 1,65% dos resíduos gerados no país são tratados e recuperados, enquanto esse percentual atinge aproximadamente 47,5% nos Estados Unidos e 75% em alguns países da União Européia.

4.3 Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)

Em face dos problemas no processo de gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos, que vai além do descarte seguro de resíduos, tem se disseminado a abordagem da responsabilidade “do berço ao túmulo”. Esta abordagem pode ser integrada ao processo de tomada de decisões por meio do pensamento do ciclo de vida (*Life Cycle Thinking - LCT*) e ferramentas de análise de sistemas ambientais, como a avaliação do ciclo de vida (ACV) (*Life Cycle Assessment - LCA*) (LAURENT *et al.* 2014a).

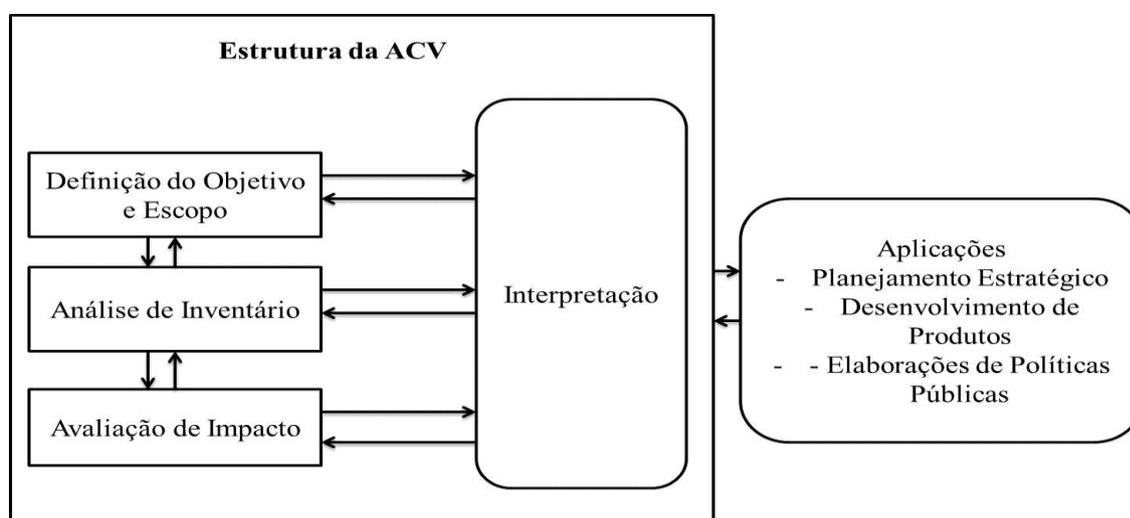
A ACV é um dos métodos com potencial de análise do desempenho ambiental e da quantificação de impactos ambientais potenciais de um determinado produto ou serviço durante todo o seu ciclo de vida, desde a extração de matéria prima até a disposição final (BARTOLOZZI *et al.*, 2018). Porém, o método apresenta algumas limitações tais como: subjetividade na natureza das escolhas e condições estabelecidas para tomada de decisões, limitações dos métodos empregados para a ACV e avaliação dos impactos ambientais, modelos e banco de dados com abrangência global podem não ser indicados para aplicações locais (ABNT, 2009a).

Para Mersoni e Reichert (2017), o método de ACV mostrou-se propício para medir os impactos ambientais, propor cenários de sistemas de gestão de RSU envolvendo diferentes

tecnologias de tratamento, comparar esses cenários com a disposição em aterros e, assegurar suporte ao poder público na tomada de decisão e investimentos. Laurent *et al.* (2014a) ressaltam que os resultados de ACV são dependentes das características e das especificidades do local de estudo e, em razão da deficiência de dados pode tornar as estratégias de gestão de RSU generalistas.

De acordo com a ABNT NBR ISO 14040, a realização da ACV deve-se basear nas seguintes fases: objetivo e escopo, inventário do ciclo de vida (ICV), avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) e interpretação dos resultados (Figura 1).

Figura 1 - Fases de uma ACV.



Fonte: ABNT (2009a).

a) *Objetivo e Escopo*

De acordo com a NBR ISO 14040 (2009a), o objetivo de um estudo deve expor de forma clara e concisa a aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e o público alvo. Quanto ao escopo se faz necessária a definição das funções, fronteiras (limites) do sistema, unidade funcional, procedimentos de alocação, metodologias de AICV e tipos de impactos, interpretação dos resultados e outros. Ressaltando-se que o nível de detalhamento no escopo, depende dos objetivos do estudo.

Em consonância com as normas da ABNT, deve-se definir as fronteiras do sistema, a partir do detalhamento dos processos elementares que estão envolvidos nas respectivas análises, como por exemplo: transporte, energia, uso e manutenção de produtos, disposição final dos resíduos, uso de combustíveis, inputs e outputs na cadeia principal de manufatura e

outros (PAIVA, 2016; ARAUJO, 2013). Dessa forma, de acordo com Luz (2017) e Paiva (2016) nos estudos de ACV pode ser utilizadas as seguintes fronteiras:

✚ “do berço ao berço” (*cradle-to-cradle*): avalia todas as etapas do ciclo de vida de um produto, inclusive seu retorno ao ciclo como matéria-prima para produção de novos produtos.

✚ “do berço ao túmulo” (*cradle-to-grave*): avalia todas as etapas do ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima até o seu fim de vida.

✚ “do berço ao portão” (*cradle-to-gate*): avalia todas as etapas de obtenção das matérias-primas e do processo produtivo.

✚ “do portão ao portão” (*gate-to-gate*): avalia as fases intermediárias no processo de toda a cadeia produtiva, caracterizada como uma análise parcial.

b) Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

O ICV refere-se à coleta de dados de um determinado estudo e métodos de cálculos dos dados de entrada e saída (ABNT, 2009a). Nesta fase, todas as emissões (fluxos elementares) e os recursos extraídos do ambiente, delimitado na fronteira do sistema, e ao longo de todo o ciclo de vida de um produto são agrupados num inventário, como por exemplo: matéria prima, energia no processo de produção e transporte e emissões para o ar, solo e água (ANDRADE, 2014).

De acordo com a NBR ISO 14044 (2009b), os dados primários ou secundários na fase do ICV devem ser coletados para cada processo até na fronteira do sistema. Logo, a qualidade e transparência dos dados são de suma importância para garantir a qualidade e confiabilidade dos resultados da ACV.

c) Método de Avaliação do impacto de Ciclo de Vida (AICV)

Para a AICV são utilizados os resultados do ICV. Conseqüentemente, os métodos de AICV possuem informações importantes quanto a categorias de impacto ambiental, modelos de caracterização e indicadores (SILVA, 2012). Estes métodos estão associados às entradas e saídas compiladas na fase de inventário, sendo um processo quali-quantitativo de percepção e avaliação da significância, magnitude dos impactos ambientais e outros (ARAUJO, 2013).

Os métodos de AICV podem ser classificados em midpoint (ponto médio) e endpoint (ponto final) (SILVA, 2012).

Para Mendes *et al.* (2016), os métodos midpoint se limitam à modelagem quantitativa localizada ao longo do mecanismo ambiental antes de chegar ao ponto final do impacto. Portanto, nessa abordagem relacionam-se todas as substâncias pertencentes ao AICV, as quais possuem características que não refletem no impacto final sobre o percurso ambiental das emissões, para tanto são destacados como indicadores de impacto em potencial (FLORINDO *et al.*, 2015).

Esse método tem o escopo de aplicação válido para as categorias de impacto: mudança climática, acidificação terrestre, eutrofização aquática (água doce), eutrofização aquática (marinha), toxicidade humana, depleção de ozônio, formação de oxidantes fotoquímicos, formação de matéria particulada, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade aquática (água doce), ecotoxicidade aquática (marinha), radiação ionizante, uso da terra (agrícola), uso da terra (urbana), transformação de terra natural, esgotamento de recursos fósseis, esgotamento de recursos minerais e esgotamento de recursos de água doce (GOEDKOOOP *et al.*, 2013).

Em contraste, no método endpoint os resultados das categorias de impacto ambientais provenientes do ICV são diretamente correlacionados aos danos finais. Neste âmbito, o método objetiva modelar o dano ambiental de cada externalidade de acordo com o seu efeito sobre a saúde humana, ecossistemas e recursos naturais (FLORINDO *et al.*, 2015). Para tanto, como essa abordagem versa sobre um potencial dano, transparece mais incertezas em suas respostas em comparação ao método midpoint, por outro lado, proporciona informações ambientais relevantes que podem facilitar a interpretação dos resultados na tomada de decisões (OLIVEIRA, 2019).

Em vista disto, no Apêndice A são apresentadas as características de alguns métodos de avaliação do impacto de ciclo de vida, no respectivo trabalho optou-se pelo método Recipe Midpoint com a perspectiva hierarquizada, em razão de este método corresponder à combinação dos métodos CML e Eco-indicador 99 e, ademais, fornece um conjunto abrangente de pontos médios indicadores (GOEDKOOOP *et al.*, 2013; BELBOOM *et al.*, 2013; RAJCOOMAR e RAMJEAWON, 2017).

Portanto, na modelagem teve como base as seguintes categorias de impactos: mudanças climáticas, acidificação, eutrofização, toxicidade humana (SHARMA e CHANDEL, 2017; IBÁÑEZ-FORÉS *et al.*, 2018). A escolha destas categorias se baseou na representatividade do método, correlação entre as categorias utilizadas e na possibilidade de comparação dos resultados e impactos com outros estudos (PAES *et al.*, 2018; MERSONI e REICHERT, 2017).

d) Interpretação dos Resultados

Uma das fases da ACV é a interpretação dos resultados, na qual se avalia, discute, conclui e propõe tomada de decisões de acordo com os resultados obtidos no ICV e AICV (PAIVA, 2016; LUZ, 2017).

Logo, a ABNT (2009a) recomenda que na interpretação dos resultados da ACV, conste a identificação das categorias mais significantes, avaliação do estudo, conclusões, limitações e recomendações. Contudo, ressalta-se que uma das principais limitações da ACV está na coleta de dados, ou seja, no inventário das informações primárias que proporciona dados confiáveis para a elaboração do estudo. Outras limitações incluem: subjetividade na natureza das escolhas e definições estabelecidas; suposições dos métodos empregados para a ICV e AICV; resultados enfocando questões globais podem não ser indicados para aplicações locais e incertezas nos resultados (ABNT, 2009b).

4.3.1 Softwares e banco de dados utilizados na ACV

Existe uma variedade de softwares que auxiliam os estudos de ACV, objetivando facilitar as análises e cálculos de balanço de massa e energia, comparação entre cenários, análise dos impactos ambientais, interpretação dos resultados. Deste modo, são apresentados alguns softwares de suporte a ACV (Apêndice B), sendo utilizado no respectivo trabalho o software SimaPro, versão 8.5.2.

No que tange ao banco de dados de apoio aos softwares na ACV, baseia-se em informações ambientais a partir de inventários de ciclo de vida (ICV) de materiais, energia, transporte e outros (CAMPOLINA *et al.*, 2015).

Para Paiva (2016) os softwares de ACV possuem banco de dados próprios, ou seja, sendo indicados a realidade geográfica no qual se inserem, tornando-se ferramentas regionalizadas. Dessa forma, são recomendadas verificações do banco de dados no intuito de avaliar a viabilidade de aplicação em outras regiões, mostrando se a necessidade de investimento em banco de dados a cada país que visa realizar estudos de ACV. Conforme Campolina *et al.* (2015), alguns bancos de dados são apresentados no Apêndice C, nesse estudo se utilizou o banco de dados da Ecoinvent 3.

4.3.2 Avaliação de ciclo de vida aplicada à gestão dos RSU: estudos de caso

Estudos de ACV realizados na literatura internacional estão voltados aos aspectos metodológicos e para avaliação do desempenho ambiental de cenários (YADAV e SAMMADDER, 2018). Nesta conjuntura, tal ferramenta vem contribuindo para a gestão de RSU, por meio de informações fundamentais sobre o manejo de resíduos, assim como para suportar a comparação de tecnologias a serem utilizadas nas etapas dos SGRSU (LAURENT *et al.*, 2014a).

Ademais, esses estudos vêm mostrando que a gestão de resíduos é um campo complexo e multidisciplinar, sendo necessária uma abordagem holística no seu processo de avaliação (DE FEO *et al.*, 2019).

Desta forma, os estudos de ACV podem gerar resultados divergentes, em razão das escolhas metodológicas, do levantamento de dados primários e de banco de dados utilizados (LAURENT *et al.*, 2014b). Neste enquadramento, as pesquisas de ACV podem produzir resultados divergentes e apresentar inúmeras deficiências, em decorrência da escassez de procedimentos metodológicos homogêneos e da dependência das condições locais, como a variabilidade espacial e a especificidade ambiental (DAS SUBHASISH *et al.*, 2019).

Conforme os mesmos autores, o processo de ACV pode ser categorizado em três partes: a) ACV genérica, onde qualquer produto ou serviço tenha igual influência em qualquer local; b) ACV independentes, que utiliza diferentes resoluções espaciais para as emissões do local de disposição e, c) ACV com especificações do local, envolvendo medições por fontes e atividades específicas de um determinado local.

Visando aprofundar no assunto, Allesch e Brunner (2014) estudaram 151 trabalhos científicos visando fornecer diretrizes para a seleção de métodos de avaliação, assim como para a elaboração de objetivos e sistemas de gestão dos RSU que relacionem os aspectos econômicos, ambientais e sociais. Os resultados dessa pesquisa apontaram que 41% dos estudos utilizaram a ACV como método de avaliação de sistemas de gestão de resíduos sólidos e aproximadamente 50% dos estudos definiram os limites de seus sistemas avaliando a gestão de resíduos de uma cidade, região ou país.

No que tange o escopo geográfico, a maioria dos estudos de ACV na literatura científica se concentrava na Europa ou Ásia. Neste âmbito, Laurent *et al.* (2014b) realizou uma revisão crítica de 222 estudos de ACV ligados a temática dos resíduos, onde se observou que o escopo geográfico dos estudos se concentrava principalmente na Europa. Corroborando com os estudos de Mayer *et al.* (2019) onde revisaram 315 estudos científicos de ACV sobre

tecnologias de resíduos, observando a predominância de publicações principalmente nos países europeus (62%) e regiões asiáticas (21%).

Da mesma forma, Khandelwal *et al.* (2019) realizando uma revisão crítica de 153 estudos de ACV na abrangência global, destacaram que a maioria dos estudos se concentrava na Europa e na Ásia, para tanto, um total de 178 países do mundo não publicaram um único estudo de ACV sobre a gestão de resíduos sólidos urbanos desde o ano de 2013.

Para Yadav e Samadder (2018), além da definição do escopo geográfico e da seleção do método de avaliação, a confiabilidade dos estudos de ACV é fortemente dependente da definição da UF, da fronteira do sistema, da qualidade e tipo de dados de entrada.

Portanto, em relação a Unidade Funcional, Laurent *et al.* (2014b) destacaram que aproximadamente 55% dos trabalhos científicos utilizaram a unidade funcional de 1 tonelada, enquanto os 45% usaram como unidade funcional t/dia, t/mês ou t/ano.

Concordando com os estudos de Yadav e Samadder (2018) os quais analisaram 91 estudos de ACV realizados em países asiáticos no espaço temporal de 2006 a 2017. Esses autores observaram que 59% dos estudos utilizaram 1 tonelada como unidade funcional, 13% mais de 1 t, 2% menos de 1 t e 18% não relataram especificamente a UF utilizada. Nesta conjuntura, Rosado (2019) enfatizou que não existe uma uniformidade sobre os aspectos metodológicos na ACV, para tanto a maioria dos estudos utiliza 1 tonelada como unidade funcional.

Em relação a estudos aplicados para a avaliação do desempenho ambiental do SGRSU, observou-se como tendência a comparação das formas de tratamento, como a reciclagem, compostagem, incineração e a disposição final em aterros. Neste contexto, Yadav e Samadder (2018), observaram que em 71% dos estudos analisados, que contemplava cenários que realizavam a disposição em aterro sanitário sem a utilização de tecnologias de tratamento tinha-se os maiores impactos ambientais, ou seja, os piores desempenhos ambientais no SGRSU.

Abduli *et al.* (2011), compararam o aterro e a combinação de compostagem e aterro em Teerã, no Irã. Evidenciando maior impacto ambiental na combinação de compostagem e aterro, quando se compara somente com o aterro.

Arafat *et al.* (2015), comparou cinco processos de tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) com potencial de recuperação de energia, sendo estes métodos a incineração, gaseificação, digestão anaeróbica, aterros sanitários e compostagem. Os resultados do ponto de vista da recuperação de energia indicaram a viabilidade de reciclagem de papel, madeira e

plásticos, e quanto à avaliação de impacto ambiental, se observou que a digestão anaeróbica e gaseificação apresentam menor impacto, por outro lado, a compostagem apresentou menor benefício ambiental.

Yay (2015) comparou cinco cenários diferentes de gestão dos RSU na cidade de Sakarya na Turquia, por meio da ACV. Esses cenários combinavam estratégias de aterro, com e sem recuperação de biogás; recuperação de material; compostagem e incineração. Com base nos resultados os maiores impactos ambientais resultavam da disposição em aterro sem recuperação de energia e incineração de resíduos mistos com recuperação de energia.

Mersoni e Reichert (2017) avaliaram cinco cenários com diferentes alternativas de coleta e tratamento dos RSU no município de Garibaldi, Brasil. Os resultados mostraram menor impacto e maior desempenho ambiental nos cenários que contemplava a combinação de técnicas de tratamento, como por exemplo, a reciclagem e compostagem.

Sharma e Chandel (2017) determinaram o impacto da gestão de resíduos sólidos urbanos em seis diferentes cenários em Mumbai, Índia. Nesse estudo, os autores verificaram a viabilidade de abordagens integradas na gestão de RSU e menor impacto ambiental, considerando ainda a combinação de reciclagem, compostagem, digestão anaeróbica e aterro. Além disso, verificaram que a incineração reduziu rigorosamente a emissão de gases de efeito estufa.

Ripa *et al.* (2017) compararam diferentes cenários para a gestão dos RSU em Nápoles, na Itália. O estudo mostrou que as principais cargas ambientais são causadas pelo tratamento mecânico biológico, aterro sanitário, desperdício de energia e pela exportação/transporte dos RSU fora da região.

Rajcoomar e Ramjeawon (2017) verificaram diferentes cenários de gestão de RSU para a Ilha das Maurícias. Os resultados indicaram maior impacto ambiental em todas as categorias analisadas no o aterro sanitário.

Paes *et al.* (2018), avaliou os impactos ambientais do SGRSU da cidade de Sorocaba, Brasil. Os resultados demonstraram que as emissões no aterro são expressivas com 62% de todos os impactos, os demais impactos (34,2%) são oriundos do transporte de resíduos. Os mesmos autores ressaltam que investimentos e ações no aumento de tecnologias de tratamento de resíduos, como, reciclagem, compostagem, incineração e digestão anaeróbia reduziriam consideravelmente a disposição de resíduos e impactos nos aterros.

Tais resultados de estudos de ACV aplicados para avaliação de desempenho ambiental corroboraram com Falahi e Avami (2019) onde apontam que apesar do aterro ser a opção

menos favorável para a gestão de resíduos sólidos em termos de impactos ambientais, essa abordagem é amplamente utilizada principalmente nos países em desenvolvimento.

4.4 Custeio do Ciclo de Vida (CCV)

O Custeio do Ciclo de Vida (CCV) é um método analítico que tem por objetivo avaliar os custos de um produto ou serviço, além disso, tem sido muito utilizado em estudos visando aumentar a eficiência na tomada de decisões pelo poder público, no que tange a aplicabilidade de recursos financeiros na gestão de resíduos sólidos (FINNVEDEN *et al.*, 2007).

Portanto, essa abordagem metodológica torna-se uma complementação para ACV, em decorrência desses estudos considera apenas os impactos ambientais globais de respectivas categorias. Nesse contexto, apesar da ACV fornecer uma estrutura sistêmica para avaliar os impactos ambientais referentes ao gerenciamento dos RSU, as decisões dos gestores relacionadas à implementação de tecnologias de tratamento é afetada por restrições econômicas (MARTINEZ-SANCHEZ *et al.*, 2015).

Para Kling *et al.* (2016) uma priorização em estudos voltados para o custeio do ciclo de vida pode trazer muitos benefícios para países que apresentam problemas com a má gestão de resíduos sólidos urbanos, principalmente em razão de suas limitações financeiras.

No entanto, Martinez-Sanchez *et al.* (2015) destaca que os custos financeiros de um sistema de gestão de resíduos são frequentemente custeados pelos geradores de resíduos (impostos ou taxas). Os mesmos autores apontaram que a técnica de CVV aplicada a sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos envolvem três desafios, sendo o primeiro, verificar que tipos de custos devem ser avaliados (custos privados ou sociais); o segundo, para quem esses custos devem ser avaliados (sociedade, órgãos públicos ou o sistema em geral) e o terceiro, que princípios de cálculos de custos devem ser aplicados às tecnologias de resíduos.

Segundo Hunkeler *et al.* (2008) o método de CCV pode ter três abordagens metodológicas de aplicação e análise, a primeira, CCV-financeira que visa analisar os custos de investimentos e operacionais dentro do escopo de ciclo de vida; a segunda, CCV-ambiental, que tem objetivo mensurar as externalidades ambientais do sistema (consumos e emissões) e, a terceira, CCV-financeira e ambiental a qual incorpora as outras duas abordagens (CCV-financeira e CCV-ambiental).

Como novidade junto à comunidade científica internacional, estudos vêm visando realizar a integração dos indicadores de desempenho ambiental e econômico dos sistemas de gestão de RSU. Deste modo, Paes *et al.* (2020a) aplicaram ACV e Custo do Ciclo de Vida.

Nesta pesquisa, os autores mostraram melhores resultados no uso de combinações de tecnologias, como por exemplo, reciclagem e compostagem. Assim, na ACV se observou reduções significativas dos impactos ambientais em cenários com metas de reciclagem e compostagem, bem como melhores resultados de desempenho econômico.

De Feo *et al.* (2019), analisaram o desempenho ambiental e econômico do sistema de gestão dos RSU. Nesse estudo, constataram benefícios econômicos para a população em função do aumento percentual da coleta seletiva, bem como, observaram que quanto maior for o nível de separação na fonte menor serão os impactos ambientais.

Contudo, na literatura científica foi possível verificar uma limitação de estudos de ACV que incorporasse o custeio do ciclo de vida e os aspectos sociais no SGRSU (KHANDELWAL *et al.*, 2019). Esses resultados corroboram com Allesch e Brunner (2014), os quais revisaram 151 artigos científicos do banco de dados Science Direct. Nessa revisão, 90% dos artigos levantados sobre gestão de RSU avaliaram somente os impactos ambientais, enquanto 45% consideraram os impactos econômicos e apenas 19% os aspectos sociais. Os mesmos autores enfatizaram que aproximadamente 18% estudos revisados analisaram os impactos nos três pilares da sustentabilidade.

4.5 Transição da Ecoeficiência

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (NBR-14045) define a ecoeficiência como um instrumento quantitativo de gestão que possibilita o estudo da AICV de um sistema de produto em conjunto com a avaliação econômica de um sistema ou produto.

Portanto, esta ferramenta pode ser considerada um dos principais critérios de avaliação do desempenho sustentável, visto que faz relação entre a dimensão ambiental e econômica, associando o custo ou valor ambiental e impacto ambiental (CAIADO *et al.*, 2018). Neste sentido, Santos *et al.* (2016) destaca que o processo incentiva a busca de melhorias ambientais que resultem em benefícios econômicos para a organização.

Para Sakamoto (2019) a ecoeficiência está atrelada aos seguintes aspectos: redução do consumo de materiais e energia em produtos e serviços; redução da dispersão de compostos tóxicos; promoção da reciclagem; maximização do uso de recursos renováveis; aumento da durabilidade de produtos. Ademais, o autor aponta os seguintes tipos de ecoeficiência:

- a) Relações diretas e inversas entre os desempenhos econômicos e ambientais;
- b) Diminuição do custo de produção ou melhoria ambiental.

Estudos têm sido publicados, utilizando-se da ferramenta ecoeficiência em sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos. Desta forma, a análise da ecoeficiência está cada vez mais sendo aplicada para avaliar o desempenho das estratégias de gestão dos RSU, em decorrência deste processo associar o desempenho ambiental e econômico (YANG *et al.*, 2015).

Estes autores propuseram um método de análise de ecoeficiência visando melhoria ambiental por custo de investimento unitário durante o processamento do ciclo de vida na gestão dos RSU em Pequim, China. Os resultados evidenciaram a redução de impactos ambientais no tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da disposição em aterro sanitário e pelos processos de compostagem e incineração, bem como, destacaram que o aumento na taxa de separação de resíduos durante o processo de coleta atestou ser mais eficaz.

Exposito e Velasco (2018) analisaram a eficiência da redução de resíduos sólidos urbanos e do aumento da coleta seletiva em regiões espanholas. Os resultados mostraram que o desenvolvimento dos mercados regionais de reciclagem em Catalunha, Navarra e Madri foi eficiente, tornando-se referência para as demais regiões.

Os estudos de Meylan *et al.* (2015) mostraram melhora na ecoeficiência quando se avaliou cenários com a combinação de técnicas de tratamento na disposição de embalagens de vidros na Gestão municipal da Suíça. Logo, o processo de reciclagem promoverá a redução de impactos ambientais e de consumo dos recursos naturais. Esses resultados corroboram com os estudos de Mah *et al.* (2018), que constataram em avaliação do ciclo de vida e de custos da gestão de resíduos na Malásia maior ecoeficiência nos cenários que utilizam a tecnologia de reciclagem.

Paes *et al.* (2020b) analisaram seis cenários de mitigação de emissões de gases de efeito estufa na gestão de resíduos sólidos urbanos em cidades do Brasil, visando determinar a melhor transição de ecoeficiência. Os resultados apontaram melhoria de transição de ecoeficiência em cenários que potencializava investimentos em reciclagem de resíduos sólidos secos e compostagem de resíduos úmidos. Deste modo, o cenário mais ecoeficiente para o Brasil, correspondeu a: 70% de compostagem e 30% de resíduos úmidos dispostos em aterro sanitário e, 70% de reciclagem e 30% da disposição de resíduos secos em aterro sanitário.

4.6 Análise SWOT - Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças

A análise SWOT é um método que está relacionado ao planejamento estratégico das organizações (MARCHI, 2015). Essa ferramenta se destaca pela simplicidade na elaboração, flexibilidade e utilização de dados quali-quantitativo, além do incentivo à participação de atores envolvidos nos processos, a qual objetiva analisar cenários ou ambientes com possibilidades de auxiliar uma empresa ou instituição em sua gestão e no planejamento estratégico (PHADERMROD *et al.*, 2019).

Além disso, a análise SWOT considera quatro variáveis: forças (*strengths*), fraquezas (*weakness*), oportunidades (*opportunities*) e ameaças (*threats*) (RAUPP *et al.*, 2018). Portanto, esta metodologia é difundida para avaliar as características básicas de uma organização social (empresas), como também, estabelecer estratégias, reconhecer as suas limitações, maximizar seus pontos fortes e oportunidades, bem como monitorar seus pontos fracos e ameaças.

Dessa forma, este processo visa analisar o ambiente interno (forças e fraquezas) e externo (oportunidades e ameaças). Logo, o ambiente interno refere-se basicamente a organização da instituição, destacando suas vantagens em relação às concorrentes e os problemas que interferem ou prejudiquem a organização. Em contraste, o ambiente externo relaciona as questões que estão fora do controle da instituição, salientando as forças externas que influenciam negativamente e positivamente (PHADERMROD *et al.*, 2019).

A análise SWOT tem sido utilizada em estudos relacionados à gestão de RSU. Para tratar do assunto, Martins Filho *et al.*, (2018) avaliaram uma associação de catadores de materiais recicláveis no Brasil, onde evidenciaram que a abordagem SWOT permitiu verificar o grau de organização da associação, além de possibilitar um planejamento estratégico adequado aos catadores.

Yuan (2013) analisou a gestão de resíduos na cidade de Shenzhen na China, baseado na metodologia SWOT. Os resultados mostraram seus pontos fortes, como por exemplo, o papel de liderança da cidade de Shenzhen na promulgação de normas e regulações relacionadas a gestão de resíduos entre as cidades chinesas. Ademais, se elencou algumas fraquezas, como a baixa triagem de resíduos no local de construção, e a falta de planejamento sistemático na construção de instalações de reciclagem.

Vieira *et al.* (2018) abordaram modelos de gestão tecnológica para coleta seletiva dos resíduos sólidos na Amazônia Ocidental. Os resultados da análise SWOT destacaram as estratégias que proporcionarão impactos ambientais positivos na disposição dos resíduos,

como a supressão da poluição do ar, conservação do solo e de áreas de preservação, aplicação de adubo verde e a redução de incêndios.

Martinez e Pinã (2017) avaliaram três associações de catadores de materiais recicláveis em Bogotá capital da Colômbia por meio da técnica SWOT. Os resultados mostraram que os principais pontos fortes das associações referem-se a suas lideranças, por outro lado, as principais fraquezas estão relacionadas à falta de recursos econômicos, padrões culturais dos catadores e condições insalubres de trabalho.

4.7 Análise de Aspectos Conjunturais

Na literatura científica estudos de análise de conjuntura têm sido publicados na abrangência mundial. Desta forma, utilizando-se as palavras-chave ‘Conjuncture Analysis’, ‘in Brazil’, nas coleções de base da Web of Science e Scopus no espaço temporal de 2010 a 2019, se observou 5.057 trabalhos publicados em periódicos, dos quais 1.543 referem-se a estudos no Brasil.

No entanto, estes trabalhos estão voltados principalmente para áreas sociais, econômicas, políticas e de relações internacionais. Portanto, em decorrência do número limitado de análises de conjuntura aplicadas a gestão de resíduos sólidos, o estudo se baseou em trabalhos que destacam a definição da análise e sua importância, seus objetivos, seus processos metodológicos, e suas limitações.

Santiago e Moraes (2014) definiram a análise de conjuntura como uma ciência ou arte que se baseia em indicadores e dados públicos de órgãos oficiais. Neste viés, o método baseia-se na interpretação e na previsão sistemática, pois a conjuntura está em constante mudança.

Para Oliveira (2014) as análises de conjunturas são estudos que retratam o contexto histórico e interpretam possíveis eventos que surgem da ação de atores em específicos contextos, assim, nestes estudos os pesquisadores devem considerar elementos suficientemente conceituados ou normatizados para um respectivo planejamento e para tomada de decisões.

Pádua (2000) destacou que a conjuntura está sempre presente na vida social. Em vista disto, os autores definiram como um conjunto de iniciativas individuais, espontâneas, de busca do ganho de curto prazo pelos agentes privados, sem qualquer preocupação de se orientar por uma racionalidade histórica ou um bem comum superiores.

Outros autores relacionam a conjuntura a um processo político estruturado mais longo, influenciada pelas dimensões econômicas, sociais, culturais, ambientais, políticas, ideológicas

e outras, na qual os respectivos atores confrontam-se em torno de objetivos e eventos específicos, com vistas à obtenção de certos resultados (VIRGENS e TEIXEIRA, 2018).

Deste modo, as conjunturas devem relacionar os acontecimentos, cenários, atores sociais, correlação de forças, a relação entre a conjuntura/estrutura e a imprevisibilidade (GROSSBERG, 2019). No entanto, o desafio da análise é entender as inter-relações das partes que formam o todo, pois essa totalidade é um conjunto de múltiplas determinações (SILVA, 2014).

Para Magno e Paim (2015) analisar uma conjuntura refere-se avaliar um conjunto de relações de forças contraditórias, onde as forças econômicas operam como um limite de variação. Neste viés, torna-se possível verificar as condições necessárias para a transformação de uma sociedade a partir do conhecimento, do desenvolvimento desigual e das relações de força em cada um dos níveis dos atores sociais.

Todavia Marcondes e Brisola (2014) salientaram que a análise de conjuntura compreende o objeto de estudo, bem como a contextualização da ambiência macro da sociedade e, a inter-relação entre informações coletadas no ambiente com as informações normatizadas. Por outro lado, os mesmos autores destacam que para a análise, deve-se ir além das informações primárias alcançadas, sendo também necessário buscar convicções por trás destes respectivos dados, analisando assim, não somente as informações obtidas como também o contexto na qual as mesmas foram geradas.

Nesta perspectiva, deve-se construir uma síntese mediante a dados empíricos, dados científicos e análise de conjuntura, objetivando analisar o conhecimento local, mas que permita ter uma aproximação de realidade mais ampla. Na construção da síntese, reforça a importância da análise temporal, a qual visa permite que o pesquisador realize uma avaliação do antes e depois, fortalecendo a unificação dos conceitos, identificações do objeto ou situação estudada (MARCONDES e BRISOLA, 2014).

Para Souza (2014) as pesquisas que utilizam a análise de conjuntura ainda apresentam uma baixa escala na literatura científica, de modo geral as análises de conjuntura não possuem uma sistematização metodológica, além do mais, essa técnica se destaca no campo das ciências sociais, econômicas e políticas.

No entanto, Oliveira (2018) destaca que a técnica de análise de conjuntura passe por um processo de maior incorporação do seu uso pelo governo brasileiro, por empresas, pelos órgãos públicos e pela pesquisa científica. Conforme o mesmo autor, esse crescimento se

destaca em razão da técnica auxiliar as organizações e governos em seus processos de gestão, como ferramentas de planejamento estratégico de médio e longo prazo.

Santiago e Moraes (2014) destacam que o pilar na análise de conjunturas, são as informações completas e seguras, com isso, os indicadores tornam-se de grande relevância, pois apresentam a situação econômica, política, social ou ambiental de um determinado país, estado ou município.

Assim, a análise busca correlacionar às forças econômicas, políticas e sociais que compõem a estrutura da sociedade, as quais estão vinculadas pelas relações de poder, como também se devem conter as análises das fraquezas quanto da consistência de cada força que participa em determinada disputa (ALVES, 2008).

Neste sentido, a análise de conjuntura não deve ser restrita a fatos empíricos, devendo mostrar continuamente no tempo e espaço as oportunidades e possibilidade existentes e os processos de transformação. Alves (2008) destaca algumas etapas do método de análise de conjuntura:

- a) Enfatizar os principais fatos econômicos, sociais, culturais, políticos e ambientais;
- b) Identificar os processos que representam novas tendências e as invariantes da conjuntura;
- c) Contrapor uma análise das partes para o todo e vice-versa;
- d) Elucidar a correlação de forças entre os atores sociais em um determinado sistema (estrutura);
- e) Apontar alternativas de ações e de intervenção em decorrência da correlação de forças.

Dessa forma, Magno e Paim (2015) salientaram que a análise de conjuntura por ser realizada em função de necessidades ou interesses nunca é neutra ou desinteressada. Logo, expressa a compreensão de uma determinada realidade assumindo um posicionamento objetivo.

Os mesmos autores reiteram que é importante entender estrutura e conjuntura, onde a estrutura relaciona-se a elementos estáveis que presidem a organização da sociedade, da economia e da política, dando-lhe uma forma, uma ordem e uma estabilidade, enquanto que a conjuntura é relacionada a elementos dinâmicos (podem ser modificadas sem prejuízos do todo).

Na elaboração da análise de conjuntura, são observadas as seguintes fases: 1) definição do objeto e objetivo; 2) descrição da pesquisa, como elencar os fatos e

acontecimentos que ocorreram em um determinado tempo; 3) Explicitação das suposições de análise; 4) Análise dos fatos e acontecimentos elencados, para definições dos cenários da conjuntura; 5) Resultado do material analisado, onde se estabelece as inter-relações entre os dados levantados em cada cenário; 6) Repercussão da análise, quais os novos elementos, estratégias, tecnologias para modificar a prática atual (SANTIAGO e MORAES, 2014).

A seguir são apresentadas as características das categorias na análise de conjuntura:

✚ Acontecimentos: Inicialmente deve-se diferir fato de acontecimentos, pois, no dia a dia ocorrem diversos fatos, mas somente alguns destes são considerados acontecimentos.

Nesta perspectiva, acontecimentos são fatos que apresentam relevância para um país, uma classe social, um grupo social ou uma pessoa. Como por exemplo: greves gerais, eleições presidenciais, catástrofes ambientais, descobertas científicas e outros. Logo identificar os principais acontecimentos em um determinado espaço temporal, torna-se um passo fundamental para se caracterizar e analisar uma conjuntura.

✚ Cenários: As ações sociais e políticas em uma determinada região podem ser consideradas como cenários.

Essa categoria apresenta particularidades que influenciam no desenvolvimento e mudança do processo atual, portanto, a construção de cenários não significa o ato de adivinhar os acontecimentos, mas sim o ato de mostrar as respectivas possibilidades do que pode vir a ocorrer em outros momentos.

Deste modo, os cenários, representam as possibilidades da ocorrência de determinados eventos no futuro com base em informações oriundas do passado e do presente. Além disto, os cenários construídos conduzirão e servirão de guia para ações dos atores na definição em seu planejamento estratégico (OLIVEIRA, 2014).

✚ Atores: O ator representa algo para uma sociedade, onde se destaca ao desempenhar um papel dentro de um projeto, reivindicação, promessa, denúncia e outros (OLIVEIRA, 2014). Os atores podem ser um indivíduo, classe social, grupo social, país, estado ou município.

✚ Relações de força: As classes sociais, empresas, estados, municípios estão em relação uns com os outros, porém, essas relações podem ser de confronto, coexistência e cooperação, expondo relação de força, de domínio, igualdade ou de subordinação. Algumas vezes essa categoria se dá por meio de indicadores quantitativos, além de sofrerem mudanças permanentes.

Destaca-se que com estudo realizado por meio da análise de conjuntura será possível perceber quais as classes precisam ser potencializadas ou vencidas, e quais as alianças que podem ser realizadas na busca de uma correlação de forças que seja favorável a determinado objetivo (MAGNO e PAIM, 2015).

✚ Articulação entre estrutura e conjuntura: Os acontecimentos, as ações desenvolvidas pelos atores sociais geram uma conjuntura, onde elas se relacionam com a história, relacionando os aspectos sociais, econômicas, políticas e outras. Logo, as análises de conjunturas são conservadoras, objetivando reorganizar os elementos da realidade, para manter o funcionamento do sistema.

Por fim, em decorrência do embasamento científico, somados ao breve contexto histórico do surgimento da análise de conjuntura, é perceptível um maior uso da ferramenta por parte dos pesquisadores, empresas, órgãos e setores governamentais. Porém, esse crescimento é feito de forma mais lenta no Brasil, mas não elimina a existência de novos campos de debate e construção deste método de compreensão da realidade contemporânea (OLIVEIRA, 2014).

Assim sendo, Oliveira (2018) destaca que as pesquisas possuem maior concentração de produção e conhecimentos em universidades da região sul e sudeste do Brasil, onde este agrupamento de investimentos e iniciativas de pesquisa, ensino e extensão estão atrelados às regiões mais tradicionais, internacionalizadas e estados com maior poder econômico.

O mesmo autor destaca que a baixa produção utilizando essa técnica, torna o seu uso limitado, diante destes cenários a análise de conjuntura poderia se consolidar no contexto nacional (Brasil), se pesquisadores, instituições públicas e privadas divulgassem suas produções científicas, o que poderia proporcionar resultados promissores para os tomadores de decisões.

No âmbito da região Amazônica Brasileira se observou limitação de estudos de análise de conjuntura na literatura científica. Diante deste cenário, destacou-se os estudos de Pádua (2000) o qual pesquisou sobre a biosfera, história e conjuntura na região Amazônica. Os mesmos autores enfatizaram que apesar da região apresentar uma exorbitante riqueza, ao longo do seu contexto histórico não se desenvolveu uma efetiva política pública ou econômica na região. Para tanto, a deficiência de aplicabilidade de políticas na região Amazônica tem relação direta pela falta de orientação conceitual mais ampla.

Neste contexto, a conjuntura regional na Amazônia coloca inúmeros desafios analíticos e políticos, partindo-se de formulações de políticas e práticas sociais, elaboração de

um quadro conceitual amplo, visão integrada e multidimensional para se alcançar um desenvolvimento ambientalmente adequado (PÁDUA, 2000).

Nesta região destaca-se suas diferentes dimensões e ritmos da realidade, os quais estão interagindo em um mesmo tempo e lugar, sem que muitas vezes os atores sociais estejam conscientes das mesmas. Portanto, essas atividades conjunturais costumam adequar-se aos padrões estruturais dominantes, bem como se faz necessário examinar o padrão histórico e comportamento dos diferentes atores sociais que se superpõem na realidade Amazônica (PÁDUA, 2000).

5 METODOLOGIA

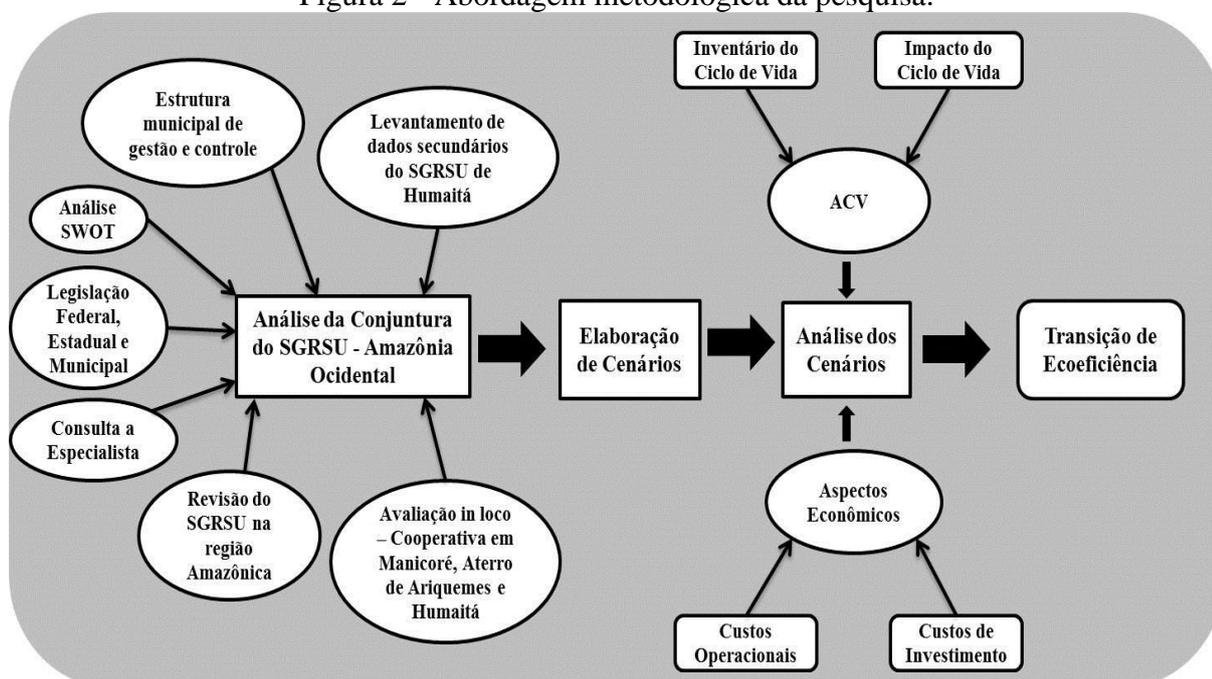
5.1 Tipo de Pesquisa

A presente pesquisa foi do tipo exploratória e descritiva. A pesquisa exploratória busca averiguar um objeto em relação a vários aspectos (MACHADO *et al.*, 2016). Portanto, neste tipo de pesquisa se trabalha com a verificação de elementos e de sua caracterização quali-quantitativa (KOCHE, 2012). Já a pesquisa descritiva destina-se a relatar todas as circunstâncias analisadas e a correlação entre os aspectos (KOCHE, 2012).

5.2 Etapas da Pesquisa

Com o objetivo de avaliar os aspectos conjunturais e de propor cenário de gestão dos resíduos sólidos urbanos para a sub-região da Amazônia Ocidental, optou-se por analisar a transição de ecoeficiência por meio da correlação entre o desempenho ambiental e econômico. Neste âmbito, as etapas para a realização dessa pesquisa estão ilustradas na figura 2.

Figura 2 - Abordagem metodológica da pesquisa.



5.2.1 Diagnóstico da Amazônia e da região de Humaitá

A região Amazônica apresenta extensa área, correspondendo a aproximadamente 7,5 milhões de km², cerca de 7% de toda a superfície terrestre, sendo formada por nove países (Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Guiana, departamento ultramarino da França (Guiana

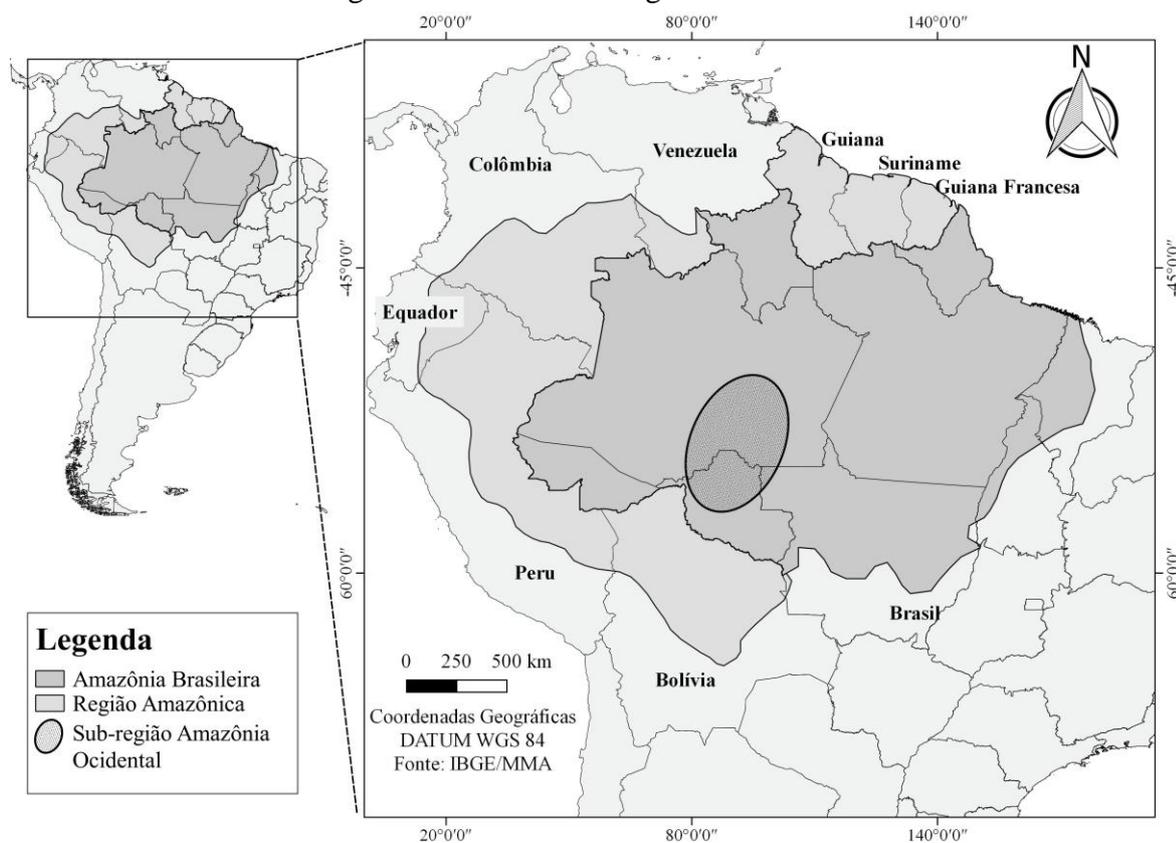
Francesa), Peru, Suriname e Venezuela) (MATOS *et al.*, 2011) (Figura 3). Somente o Brasil abrange 5 milhões de km² ou 67% da área da Amazônia, na qual se inserem nove estados: Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, Mato Grosso e Maranhão (IBGE, 2018a).

O clima na região corresponde ao equatorial, quente e úmido, com a temperatura média anual em torno de 26,4 °C e com índice pluviométrico superior a 2.000 mm por ano, todavia no estado da sub-região da Amazônia Ocidental, existem áreas nas quais a precipitação média anual ultrapassa 3.000 mm (INMET, 2018).

Destaca-se que a Amazônia Brasileira, no cenário político e da legislação, foi dividida em Amazônia Ocidental e Oriental, pela Lei nº 291/1967. A Amazônia Ocidental é constituída pelos municípios localizados nos estados do Acre, Amazonas, Rondônia e Roraima, enquanto a Amazônia Oriental engloba os municípios localizados nos estados do Amapá, Maranhão, Pará, Tocantins e Mato Grosso.

O estudo foi realizado na região do município de Humaitá, mesorregião sul do Amazonas na Amazônia Ocidental. É considerada estratégica em termos de logística, para o fortalecimento das cadeias de comercialização pelo acesso fluvial, às margens do rio Madeira, afluente do rio Amazonas; além do acesso terrestre pelas rodovias BR-319 e BR-230 (Transamazônica) que ligam o estado ao restante do Brasil (COSTA e RAVENA, 2014).

Figura 3 - Extensão da região Amazônica.



O município de Humaitá situa-se sob as coordenadas geográficas $07^{\circ}30'22''$ S e $63^{\circ}01'15''$ W com aproximadamente 90 metros acima do nível do mar, às margens do rio Madeira, afluente do rio Amazonas. A cidade está localizada a uma distância aproximada de 700 km de Manaus, capital do estado do Amazonas, sendo o seu acesso mais viável somente pelo rio Madeira.

No período de estiagem existe a possibilidade do acesso via terrestre (rodovia BR-319), todavia o estado de conservação dessa rodovia torna o deslocamento precário. Humaitá tem aproximadamente 54.000 habitantes, elevada extensão territorial de 33.072 km^2 , densidade demográfica de $1,34 \text{ hab./km}^2$ e um produto interno bruto (PIB) de US\$ 2.777,98 per capita (IBGE, 2018b).

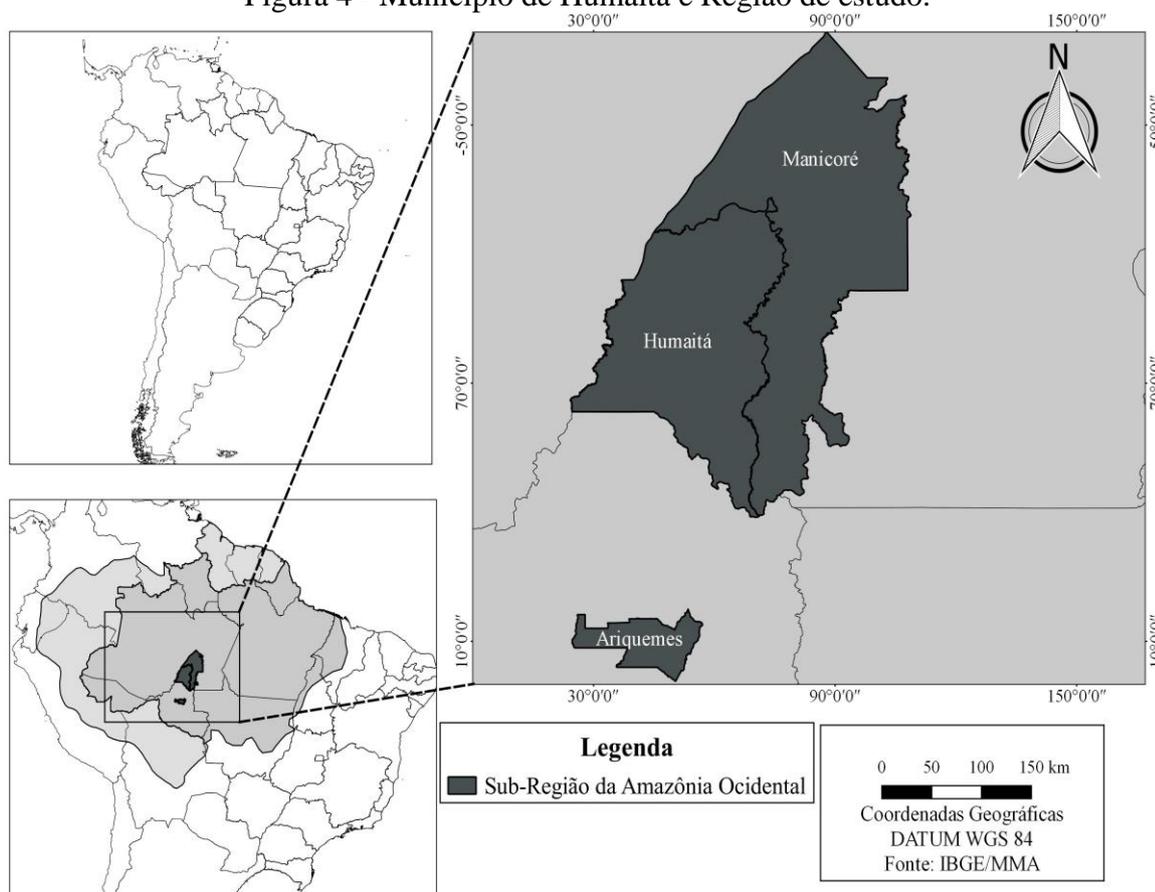
No limite territorial de Humaitá encontra-se o município de Manicoré, no estado do Amazonas, às margens do rio Madeira, nas coordenadas geográficas $05^{\circ}48'33''$ S e $61^{\circ}18'01''$ W, 45 m de altitude e distante 390 km de Manaus, com acesso fluvial. Sua população era estimada em 54.900 habitantes, em 2018, atingindo uma densidade demográfica de $0,97 \text{ hab./km}^2$ e um PIB per capita de US\$ 2.940,77 (IBGE, 2018c). Manicoré

foi selecionada para esse estudo, pois possui a única cooperativa de catadores em operação no sul do estado do Amazonas.

O município de Ariquemes, no estado de Rondônia, possui o único aterro sanitário em um raio de 500 km do município de Humaitá-AM, a cidade se situa às margens da rodovia BR-364, nas coordenadas geográficas $09^{\circ}54'17''$ S e $63^{\circ}2'58''$ W, 142 m de altitude e distante 200 km de Porto Velho, capital de RO. Esse município está distante 400 km de Humaitá, ligados pela rodovia BR-364 e BR-319. A população de Ariquemes era estimada em 106.168 habitantes, em 2018, e apresenta uma densidade demográfica de $20,41$ hab./km² e um PIB per capita de US\$ 6.139,69 (IBGE, 2018d).

Na Figura 4 são destacados os municípios de Humaitá e Manicoré do estado do Amazonas, e o município de Ariquemes, no estado de Rondônia.

Figura 4 - Município de Humaitá e Região de estudo.



5.2.2 Análise da conjuntura da gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos

Segundo observado na literatura, a flexibilidade de ajuste na realidade torna-se uma das características principais na metodologia da análise de conjuntura. Este estudo qualitativo trata-se de uma análise de conjuntura visando realizar uma revisão sistemática e estratégica, relacionando o desenvolvimento das forças de todos os atores sociais envolvidos na gestão dos RSU.

Nesta perspectiva, identificaram-se fatos e acontecimentos centrais, que expressam a relevância quanto à gestão dos resíduos sólidos. Assim, realizou-se um levantamento bibliográfico da gestão de RSU nos países da região Amazônica; análise do arcabouço legal com base na Política Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos; consulta a especialistas; avaliação ambiental *in loco* e a utilização da ferramenta SWOT.

Diante do exposto, realizou-se uma análise geral da conjuntura conforme a metodologia preconizada por Souza (2014) e Silva (2014), as quais são detalhadas nas fases a seguir.

1ª Fase – Objeto e objetivo: Analisar a conjuntura da gestão de RSU na sub-região da Amazônia Ocidental desde a implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

2ª Fase – Descrição – Elencar todos os fatos e acontecimentos que ocorreram sobre a gestão dos RSU, além disso, traçar um panorama do quadro ambiental, econômico, político e social.

3ª Fase – Explicitação das análises – Análise do bloco do poder (poder público municipal – prefeito, secretaria de meio ambiente, empresa privada), bloco popular (associações, cooperativas, sucateiro; catadores, e outros).

4ª Fase – Análise – Depois de elencados os fatos e acontecimentos da gestão de RSU na sub-região da Amazônia Ocidental, e elaborados os cenários, se buscará responder as seguintes perguntas:

- a) Qual a importância da questão e quais as prioridades de cada bloco?
- b) Quais os grupos sociais que estão estreitamente relacionados neste campo, considerando os recursos de cada grupo (seja econômico; político e outros)?
- c) Quem está se beneficiando e em que medida?

5ª Fase – Síntese – Estabelecer as inter-relações entre os dados levantados em cada cenário. Posteriormente serão traçadas metas e estratégias na conjuntura para modificação da gestão dos RSU.

5.2.2.1 Revisão sobre a gestão dos resíduos sólidos na Amazônia

A revisão sobre a gestão de resíduos sólidos urbanos na região Amazônica baseou-se no espaço temporal de 2007 a 2019, onde se realizou buscas na coleção de bases da Web of Science, Google Scholar, Scopus e citações cruzadas. Foram usadas as palavras-chave ‘Municipal Solid Waste’, ‘Amazon’ and ‘Brazil’, ‘America’, ‘Asia’, ‘Europe’, ‘Africa’, ‘Oceania’ e ‘Antartida’, nas versões em inglês, espanhol e português, além dos conectores booleanos, “E” – “AND”, de modo a vincular uma palavra-chave à outra, e o uso de “OU” – “OR” o qual torna a pesquisa aberta para acessar trabalhos que tenham qualquer uma das palavras-chave.

Realizou-se ainda o cruzamento de informações por meio de publicações em órgãos oficiais dos países dessa região, como o Ministério das Cidades do Brasil (SNIS, 2018), o Ministério de Médio Ambiente e Água da Bolívia (MMAYA, 2011), o Conselho Nacional de Política Econômica e Social da Colômbia (CONPES, 2016; SSPD, 2016), o Instituto Nacional de Estatística e Censos do Equador (INEC, 2017a; INEC, 2017b), o Ministério do Governo Local e Desenvolvimento Regional da Guiana (MGLRD, 2016), e o Instituto Nacional de Estatística da Venezuela (INE, 2013), e as informações do Suriname decorreram do relatório do Inter-American Development Bank (IDB, 2016). Não foram encontradas informações de órgãos oficiais de Suriname e Guiana Francesa.

Com as buscas realizadas, cada trabalho teve seus principais resultados destacados, considerando sua área geográfica, periódico científico e ano de estudo.

5.2.2.2 Análise da Conjuntura Legal

Foram realizados levantamentos de campo na região de Humaitá para subsidiar a análise de conjuntura. Logo, a primeira etapa se baseou em análise de documentos originais, que ainda não receberam tratamento analítico por qualquer autor (SÁ-SILVA *et al.*, 2009). A obtenção desses dados se baseou em consultas aos órgãos públicos e empresas prestadoras de serviços, bem como em sítios de internet do município de Humaitá e região.

No caso do Poder Executivo (Prefeitura Municipal), consultou-se o endereço eletrônico oficial da prefeitura ou secretarias municipais, visando buscar informações da temática gestão de RSU, sobre os serviços de limpeza pública, coleta, manejo e disposição final dos RSU. Também foi consultado o endereço eletrônico oficial do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) que é responsável por executar a política de Controle Ambiental do Estado do Amazonas.

5.2.2.3 Análise da Conjuntura na Amazônia: Avaliação de estratégias de gestão dos RSU na Amazônia por especialista

A técnica Delphi é um método subjetivo de previsão confiável, pois expressa a evolução de eventos por meio de opiniões de especialistas separados geograficamente, levando a resultados densos sobre temáticas complexas e abrangentes (MARQUES e FREITAS, 2018). Além disso, apresenta como uma das principais características o anonimato do participante (SILVA *et al.*, 2017).

Desta maneira, foi aplicado um questionário no Google docs. com questões fechadas a especialistas, visando propor cenários ou aspectos da realidade para fins de acompanhamento da gestão de RSU e da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) (Apêndice D).

A seleção dos pesquisadores decorreu de uma busca na plataforma Lattes e atribuída como critério de inclusão experiências de atuação na área de gestão de resíduos sólidos urbanos e vínculo com alguma instituição de ensino nas regiões do Brasil. Logo, a participação inicial foi de 100 especialistas, englobando somente professores e pesquisadores de diferentes regiões brasileiras. Tal limitação se deve pela sua neutralidade de decisão e supõe-se que não possuem vínculo direto com os responsáveis pelo gerenciamento e gestão de resíduos.

Os pesquisadores selecionados avaliaram as questões elencadas, por meio de uma escala *Likert*, na qual o especialista optou por uma entre várias respostas escalonadas. Assim, a escala proposta para mensuração transcorreu em cinco níveis (1 – não concorda totalmente; 2 – não concorda parcialmente; 3 – não concorda e nem discorda; 4 – concorda parcialmente e 5 – concorda totalmente).

As validações de conteúdo visam à obtenção de opiniões convergentes dos especialistas, ou seja, objetiva o consenso entre eles, assim, observa-se na literatura que os níveis de consenso podem variar de 50 a 80% (SANTIAGO e DIAS, 2012). Neste estudo, o nível de consenso foi de 50% dos especialistas para cada item do questionário, destacando-se que a quantidade de vezes que o questionário é enviado aos especialistas depende do grau satisfatório de consensualidade (SANTIAGO e DIAS, 2012).

Nesta pesquisa, foram realizadas três rodadas de aplicação, sendo que na primeira enviou-se um e-mail aos especialistas (n=100) selecionados com informações sobre o objetivo do estudo, detalhando as características da região Amazônica (Humaitá e região), termo de

consentimento livre e esclarecido e o link de acesso ao questionário na plataforma Google docs.

Visando minimizar o índice de desistência na pesquisa, foram oferecidas aos especialistas duas opções para devolução do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndice E). A primeira correspondeu em assinar e devolver no prazo de 10 dias por correio postal e a segunda em realizar a leitura do TCLE via plataforma Google docs., onde o especialista para aceitar participar da pesquisa – “ANÁLISE DE CENÁRIOS DE GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS BASEADO NA TRANSIÇÃO DE ECOEFICIÊNCIA, NA SUB-REGIÃO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, BRASIL” deveria concordar ou não com o TCLE. Portanto, para continuar nas próximas seções (questionário) o especialista ficava condicionado ao termo de consentimento livre e esclarecido.

A organização dos resultados deste instrumento de pesquisa (questionário) foi realizada em planilhas eletrônicas no software Microsoft Excel, onde posteriormente foram importadas para o software estatístico *Statistical Package for the Social Sciences* (IBM SPSS, versão 22.0) para análise descritiva e validação dos resultados pelo teste de confiabilidade da escala utilizada no instrumento de pesquisa. Em vista disto, usou-se o coeficiente alfa de Cronbach, uma das mais importantes ferramentas estatísticas aplicadas a pesquisas, em decorrência de mostrar confiabilidade em um único teste, sem a necessidade de repetições ou aplicações paralelas (SILVA *et al.*, 2017). Assim, a confiabilidade do coeficiente normalmente varia entre 0 e 1, destacando que se o coeficiente for maior que 0,7 é possível afirmar a confiabilidade da escala.

É preciso destacar que os preceitos éticos foram respeitados segundo a Resolução 466/2012 do Conselho Nacional da Saúde e o projeto deste estudo foi aprovado pelo CEP - Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos – UNESP, Faculdade de Ciências – Campus Bauru, sob CAAE - 10409519.2.0000.5398 e número do parecer 3.391.288 de 14 de junho de 2019.

5.2.2.4 Análise da Conjuntura: Diagnóstico in loco da gestão de sólidos na região de Humaitá

No município de Humaitá fez-se um levantamento da gestão e uma caracterização dos resíduos sólidos urbanos, os quais são coletados, sem qualquer separação, e dispostos em área de lixão a céu aberto, desde 1995, além de uma listagem dos potenciais impactos na área do

lixão. Esse lixão está distante 10 km da cidade, as margens da rodovia BR 319, que conecta Humaitá a capital Porto Velho no estado de Rondônia.

Conforme Oliveira (2016), o local de disposição de RSU proporciona impactos ambientais e sociais negativos, tais como: poluição do solo, poluição do ar, poluição dos recursos hídricos, poluição visual, proliferação de vetores como moscas, baratas, ratos, urubus, além da presença de catadores que recolhem o material reciclável, sem qualquer proteção individual.

A caracterização dos resíduos sólidos urbanos de Humaitá envolveu 3 amostragens coletadas (segunda, quarta e sexta) em julho de 2017, destacando que os resíduos sólidos das respectivas amostragens eram advindas de toda área urbana do município.

Para cada amostragem, acompanhou-se a coleta nas rotas específicas, o acondicionamento, o transporte, a pesagem do caminhão em balanças rodoviárias e a disposição final. Após o término da coleta das rotas (quatro) pré-estabelecida pela empresa responsável, os caminhões se direcionaram para pesagem em balanças rodoviárias e posteriormente ao local de disposição de resíduos sólidos para o seu descarregamento.

Os caminhões tinham capacidade de acondicionar aproximadamente 5 m³ de resíduos, os quais eram despejados e espalhados na área do lixão. Cada caminhão percorreu uma distância média de 50 km por dia (SOUZA *et al.*, 2018).

A geração per capita diária sucedeu a partir da relação entre a massa total coletada pelos caminhões e o número de habitantes da área urbana do município. Posteriormente, a balança foi tarada para pesagem do recipiente (tambor) vazio determinando-se a massa total das amostras e o peso específico por meio da razão entre a massa da amostra (kg) e o volume total da amostra (m³).

Baseado na literatura científica verificou-se que não há conformidade sobre a quantidade máxima na caracterização dos resíduos, contudo foram estabelecidos que a amostragem a partir de 140 kg aponta menores variações (ASTM, 2016; MANCINI *et al.*, 2007).

Neste estudo, coletou-se uma quantidade mínima de 144 kg de resíduos sólidos. Em seguida, romperam-se os sacos plásticos no local de análise, assim, os resíduos correspondentes a cada categoria foram pesados e posteriormente determinados sua porcentagem em relação ao total da amostra.

Os resíduos se classificaram em 14 categorias: matéria orgânica, papel/papelão, plástico rígido, plástico filme, embalagem de PET, metal ferroso, alumínio, vidro, madeira, embalagem de longa vida, borracha, couro/tecidos, fraldas/absorventes e outros materiais.

No levantamento da gestão dos RSU, consideraram-se os seguintes indicadores de sustentabilidade: Estrutura Organizacional; Infraestrutura; Prestação de serviços; Investimento; Político; Recursos humanos; Aspectos Organizacionais; Extensão social; Impactos ambientais (CASTRO *et al.*, 2015).

Ressalta-se que para cada um desses indicadores, foram analisadas informações relevantes que permitam analisar o comportamento da gestão dos RSU e detectar mudanças de padrões.

- Estrutura Organizacional: Existência de órgão, secretaria, setor ou empresa que faz a gestão dos RSU, devidamente estruturado de acordo com o SGRSU, com inclusão de catadores de materiais recicláveis, iniciativas de formação de cooperativas e associações e efetiva gestão participativa.
- Infraestrutura: Existência de galpões e áreas de triagem, aterro sanitário, compostagem, pontos de entrega voluntária, sistema de monitoramento da geração de RSU, caminhões compactadores, condições de rodovias federal ou estadual, cadeia de reciclagem, atravessadores e sistema de coleta seletiva.
- Prestação dos serviços: Referem-se à abrangência dos serviços de RSU (coleta, transporte, manejo e disposição final) na área urbana de caráter operacional, gerencial, financeiro e de qualidade.
- Investimento: Inclui os gastos relativos à gestão dos RSU, bem como o gerenciamento de um lixão a céu aberto, construção de aterro sanitário. Além disto, o sistema de gestão se autofinancia, ou existe fonte específica, sistema de cobrança para financiamento da gestão dos RSU.
- Político: Informações pertinentes a alterações no cenário nacional, além do quadro institucional (Cumprimento da PNRS; Plano Estadual de Resíduos Sólidos; Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos).
- Recursos humanos: Conhecimento da norma de segurança e uso de EPI's.
- Aspectos Organizacionais: Presença de gestão ambiental adequada; Existência de fiscalização dos serviços prestados de RSU e canais de comunicação com a população.
- Extensão social: Existência de programas de educação ambiental no calendário municipal, como campanhas municipais.

- Impactos Ambientais: Ocorrência de lançamentos de RSU em locais inadequados e o grau de recuperação do lixão.

5.2.2.4.1 Análise SWOT de estratégias de gestão dos RSU: Cooperativas e Aterro Sanitário

Nos municípios de Manicoré (AM) e Ariquemes (RO) realizaram-se visitas *in loco*, registro fotográfico e avaliação visual, para subsidiar o uso da ferramenta de análise SWOT.

Sob a ótica da matriz SWOT o estudo compreendeu por identificar os pontos fortes, os fracos, as ameaças e as oportunidades referentes ao processo de funcionamento da Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis Solidária do Município de Manicoré (ACRSMM) e do aterro sanitário de Ariquemes.

Neste contexto, o levantamento das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças para a análise de SWOT foram obtidos por meio de entrevistas semiestruturada junto a presidente da Associação do município de Manicoré, no período de 30 de abril a 3 de maio de 2018. A partir deste levantamento foi possível diagnosticar a situação da associação e propor ações estratégicas com o objetivo de eliminar ou reduzir suas fraquezas e potencializar as forças com o foco de minimizar as ameaças e ter maior proveito das oportunidades.

As principais questões da pesquisa na Associação de Catadores estão apresentadas no Apêndice F.

No que diz respeito ao aterro mais próximo do município de Humaitá, destaca-se o aterro sanitário de Ariquemes, o qual recebe resíduos sólidos de 14 municípios do estado de Rondônia que estão inseridos no Consórcio Intermunicipal de Saneamento da Região Central de Rondônia (CISAN Central/RO). Portanto, o levantamento das (forças, fraquezas, oportunidades e ameaças) no aterro foi obtido por meio de entrevistas semiestruturada junto ao Engenheiro Ambiental responsável técnico no período de 08 a 09 de maio de 2018.

As principais questões da pesquisa no aterro são apresentadas no Apêndice G.

5.2.3 ACV do SGRSU do município de Humaitá-AM

O processo metodológico de ACV foi preconizado pelo modelo proposto da ISO 14044 (ISO, 2009b), descritas conforme o capítulo modelagem da ACV.

5.2.4 Modelagem da ACV

5.2.4.1 Objetivo

O trabalho objetivou identificar problemas ambientais e determinar os impactos do sistema de gestão de resíduos sólidos em Humaitá-Amazonas durante o ano de 2017, além de propor cenários de gestão e comparar o seu desempenho ambiental.

5.2.4.2 Escopo

Para definição do escopo realizou-se a análise e quantificação de todas as etapas de gerenciamento de resíduos, como a geração, transporte, tratamento e disposição final, considerando todos os balanços de materiais, energia e emissões. Portanto, o escopo este descrito de acordo com os itens a seguir.

5.2.4.3 Função e Unidade Funcional (U.F)

A função do estudo foi definida como a ação de: “Gerenciar as atividades necessárias à coleta, transporte, triagem, tratamento e disposição final de 5.412 t/ano de RSU no município de Humaitá”.

5.2.4.4 Sistema de Produto e Fronteiras do Sistema

O sistema do produto na abrangência cradle-to-grave compõe-se das fases de geração, coleta, transporte e disposição final em um aterro. Também se associou a consumo de eletricidade, geração de lixiviado, consumo de combustível, triagem, compostagem, geração de metano e a construção do aterro sanitário. A Figura 5 representa os elementos que compõem o sistema de produto.

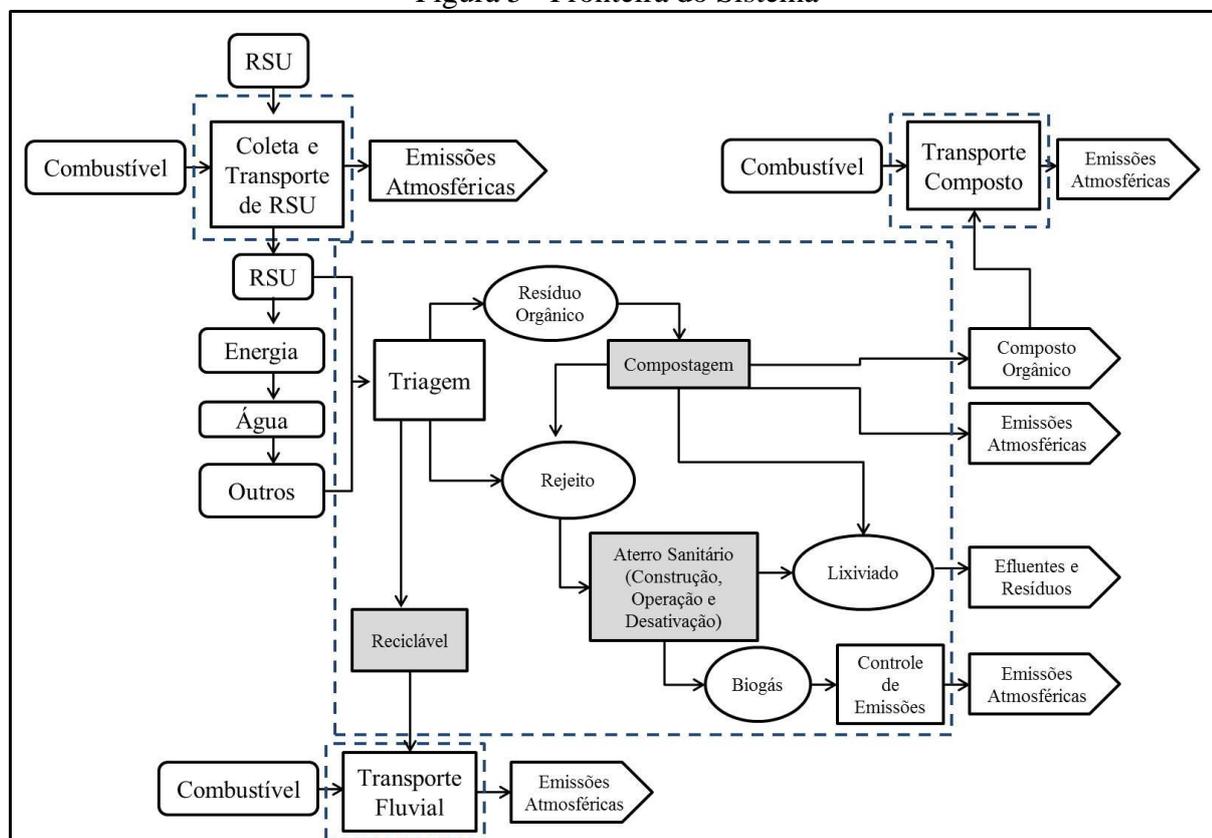
Na figura 5, observa-se que os resíduos com potencial de reciclagem são encaminhados para Manaus via modal hidroviário, havendo a necessidade de consumo de diesel e eletricidade no processo de transbordo. Os rejeitos da triagem são destinados diretamente ao aterro sanitário.

No processo de compostagem, considerou-se que o Poder Público Municipal disponibilizará esse composto ao interessado até um raio de 20 km da unidade de compostagem, com utilização de um caminhão basculante.

Foi considerada somente a viagem de ida para os cenários com logística via fluvial do município de Humaitá até a capital Manaus-AM, pois, as embarcações mistas (com

capacidade de 400 t e 120 passageiros) levariam os materiais recicláveis e na volta existem outras demandas de materiais (passageiros e cargas (eletrodomésticos e outros)).

Figura 5 - Fronteira do Sistema



5.2.4.5 Tipo e Qualidade de Dados

Em termos geográficos o estudo compreendeu o município de Humaitá, e os municípios da calha do Rio Madeira (Manicoré, Nova Olinda, Borba e Novo Aripuanã), devido o deslocamento dos materiais para a recicladora. Foram usados dados primários correspondendo às cargas ambientais das atividades de coleta, transporte e caracterização quali-quantitativa dos resíduos no ano de 2017. Para tanto, o desempenho ambiental dos estágios de construção, operação e desativação do aterro, tratamento de efluentes, emissões atmosféricas no consumo de energia e de água foram modeladas via dados secundários.

A cobertura tecnológica se baseou em procedimentos, técnicas de tratamento e aspectos metodológicos no SGRSU do município de Humaitá, incorporando o aterro sanitário, unidade de compostagem, triagem e encaminhamento de material para reciclagem.

5.2.4.6 Inventário do ciclo de vida (ICV)

Para o ICV foi utilizado o programa computacional SimaPro, versão 8.5.2, com banco de dados da Ecoinvent 3, e para elaboração dos cenários no sistema utilizou dados primários e secundários, para as principais entradas (quantidade e a composição gravimétrica dos resíduos, energia, materiais) e saídas (emissões e resíduo sólido final) do sistema de gestão de RSU, conforme detalhado a seguir.

Os aspectos ambientais associados à operação dos caminhões basearam-se em análise das rotas de coleta dos RSU no município de Humaitá conforme Souza *et al.* (2018). Portanto, as emissões atmosféricas dos caminhões na coleta regular, diferenciada e no transporte do composto associadas a esta etapa procederam de dados secundários calculados a partir da avaliação ambiental de aterros sanitários de RSU precedidos ou não por unidades de compostagem e no Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (GOMES *et al.*, 2015; CONAMA, 2009). Para o cálculo das emissões no transporte das embarcações mistas, utilizou-se um fator de emissão de 3,2 kg de CO₂ por kg de diesel (FERREIRA, 2016).

Os consumos e emissões associadas às atividades de transporte (coleta) procederam da correlação entre toneladas de resíduos percorridas por quilômetros (t*km), como também de dados secundários junto à base da Ecoinvent, na forma do conjunto de dados (*datasets*), “*Municipal waste collection service by 21 metric ton lorry {CH}| processing | Alloc Def, U*”.

Em todos os cenários propostos, considerou-se o impacto causado pela construção e operação de um aterro sanitário de pequeno porte – sistema simplificado, definido para dispor até 20 t/dia de resíduos sólidos (ABNT NBR 158494/2010), além disso, avaliaram-se as seguintes emissões: dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, material particulado, hidrocarbonetos, dióxido de enxofre, óxido de nitrogênio, nitrogênio, lixiviado, sulfeto de hidrogênio, lodos e compostos orgânicos voláteis sem metano (NMVOC).

Desta forma, utilizou-se o conjunto de dados da Ecoinvent (*Sanitary landfill facility {CH}| construction | Alloc Def, U*) na etapa de construção do aterro sanitário, na modelagem foram considerados as atividades de escavação, terraplanagem, circulação de veículos, consumo de diesel nas máquinas de construção, transporte de materiais e matérias-primas. Para tanto, as emissões da construção do aterro sanitário foram rateadas proporcionalmente para 20 anos, tempo previsto de operação do aterro.

Para o cálculo das emissões de metano na disposição de RSU, utilizou o método descrito no documento Guia de boas práticas do IPCC de 2006 para o Inventário Nacional de

Gases de Efeito Estufa, Vol. 3 – Manual de Referência, “Capítulo 6 – Resíduos” (IPCC, 2006).

Os dados de emissões no processo de disposição final dos RSU em aterro, tais como dióxido de carbono, monóxido de carbono, nitrogênio, sulfeto de hidrogênio, lixiviado e compostos orgânicos voláteis sem metano (NMVOC) estão baseados em dados secundários de literatura científica (YAY, 2015; SAHERI *et al.*, 2012). A geração de lodo do tratamento do lixiviado foi de 15,5 kg de resíduos para cada m³ de lixiviado tratado (GOMES *et al.*, 2015).

Destaca-se que em razão da não existência de unidades de compostagem na sub-região da Amazônia Ocidental, os dados de emissões na unidade de compostagem, foram baseados a partir de dados de referência na literatura internacional e dos bancos de dados daecoinvent (*datasets*), “*Biowaste {CH₄} treatment of, composting / Alloc Def, U*” (AMLINGER *et al.*, 2008).

Destaca-se que nos cenários propostos (conforme tópico 6.3), foram introduzidas à coleta diferenciada (coleta seletiva) dos resíduos secos, os quais seriam encaminhados para a central de triagem. Concomitantemente, a coleta regular encaminharia os resíduos úmidos para uma usina de compostagem, e os rejeitos dispostos em aterro sanitário. Vale ressaltar que para os cenários com tratamento de resíduos úmidos, considerou-se uma perda de 3% (índice de rejeito) da massa orgânica na usina de compostagem, corroborando com Mersoni e Reichert (2017).

Para todos os cenários, estabeleceu-se 600 kWh/mês das atividades administrativas no aterro. Para o consumo de água na usina de triagem, compostagem e aterro consideraram-se 1,15 m³/t (FADE, 2014).

Na tabela 1 é apresentando o uso de combustível no processo de coleta, transporte e disposição dos RSU e energia nas etapas de tratamento.

Tabela 1 - Consumo de energia e combustível nas diferentes etapas do SGIRSU.

Etapas	Consumo diesel	Referência
	t diesel/ano	
Coleta Regular ¹ (Caminhão Compactador)	46,30	Souza <i>et al.</i> (2018)
Coleta Seletiva ² (Caminhão Basculante)	5,32	Souza <i>et al.</i> (2018)
Transporte Composto ³ (Caminhão Basculante)	2,48	Gomes <i>et al.</i> (2015)
Operação Aterro ⁴	14,76	Sharma e Chandel (2017)
Iluminação Aterro ⁵	1,84	-
-----	Consumo Energia	-----
	Kwh/t RSU	--
Operação Usina Triagem	3,2	Rajaeifar <i>et al.</i> (2015)
Estação de Transbordo	0,2	Mersoni e Reichert (2017)
Operação Usina de Compostagem	7	Fade (2014)

1: Coleta dos RSU realizada por 4 caminhões diários a um percurso de 50 km/caminhão e consumo de 1,34 l/km. 2: Considerou-se a coleta de materiais recicláveis em 5 pontos de entrega voluntária em um percurso de 23 km. 3: Entrega do composto ao agricultor em um raio de 20 km e consumo de 2,5 l/km. 4: Utilização de um trator esteira na operação do aterro, com consumo de 3,21 l/t. 5: Como o sistema energético de Humaitá provém de termoeletrica, considerou um consumo de (0,3 L/kWh) para subsidiar a iluminação e atividades administrativas em aterros sanitários.

5.2.4.7 Avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV)

Para avaliação dos impactos do ciclo de vida foi utilizado o método ReciPe midpoint (H) versão 1.13. Foram estudadas as seguintes categorias de impactos: mudanças climáticas, acidificação, eutrofização e toxicidade humana. Essas categorias encontram-se com os seus respectivos indicadores no Quadro 1.

Quadro 1- Categorias de impacto e indicadores ambientais para a AICV.

Categoria de Impacto Ambiental	Resultado do ICV relacionado à categoria de impacto		Resultado do Indicador
	Emissão Atmosférica	Emissão para a água	
Mudanças Climáticas	CO ₂ ; CH ₄ ; N ₂ O	-----	kg de CO ₂ eq.
Acidificação	Amônia; NO _x ; SO ₂	-----	kg de SO ₂ eq.
Eutrofização	Amônia; NO _x	Amônio; DQO; Nitrito; Fosfato	kg de PO ₄ ⁻ eq.
Toxicidade Humana	Amônia; Arsênio; Cádmio; Cromo; Cobre; Dioxina; Chumbo; Mercúrio; NO _x ; SO ₂	Arsênio; Bário; Cádmio; Cromo; Cobre; Chumbo; Mercúrio; Níquel	kg de 1,4 Diclorobenzeno (DB) eq.

Fonte: Adaptado de Mersoni e Reichert (2017).

5.2.4.8 Interpretação dos resultados

Baseada na definição do objetivo e escopo e das verificações do ICV e do AICV foram determinadas as confirmações das análises.

5.2.5 Avaliação dos impactos econômicos

Para a avaliação dos impactos econômicos, os valores em reais foram convertidos para dólar baseado no câmbio de 2017 (1 US\$ = R\$ 3,16). Portanto, no município de Humaitá, realizou-se um levantamento das despesas com o gerenciamento de RSU junto à Secretaria de Meio Ambiente do município, onde se verificou que o gasto total da prefeitura com a execução dos serviços de limpeza pública com fornecimento de veículos, motorista e equipe para coleta, transporte e disposição final em lixão a céu aberto para o ano de 2017 no valor de US\$ 919.458,00; despesa anual por habitante, US\$ 30,14/hab./ano; e custo da tonelada de resíduos sólidos: US\$ 169,89/t quando se correlacionou o valor global com a geração anual de resíduos no respectivo ano (5.412 t).

No entanto, considerando a hipótese de o município possui um aterro sanitário, bem como valores de referência da literatura utilizou-se como custo final para o gerenciamento dos RSU (coleta regular e diferenciada, triagem e disposição final), o valor de US\$ 148,10/t.

Sendo considerados ainda para a análise os seguintes dados:

- a) Produção total urbana de RSU no município para o ano de 2017: 5.412 t/ano.
- b) População atendida na área urbana: 37.124 habitantes.
- c) Número de domicílios atendidos: 7.625 domicílios.
- d) Tarifa de água fixa de US\$ 5,82, no município de Humaitá não utiliza hidrômetros, sendo cobrada somente a tarifa para distribuição de água, assim, utilizaram-se os valores de referência da cidade de Porto Velho-RO.
- e) Preço do diesel US\$ 1,23 por litro.

No que tange aos investimentos iniciais pelo município no gerenciamento dos RSU e os custos operacionais para as etapas de gerenciamento, como a coleta, triagem, transporte, tratamento e construção e disposição no aterro sanitário, estabeleceu-se o valor de US\$ 12,77/t para a disposição de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário e US\$ 68,22/t para o custo da coleta seletiva (BRASIL, 2012; FADE, 2014), quanto ao cálculo da construção do aterro sanitário tomaram-se como referência a receita anual do município e os valores do aterro sanitário de Ariquemes.

Para os custos operacionais e de investimentos (Planta) na unidade de compostagem, custos com a triagem, custo da coleta regular e, custo de implantação, manutenção e operação de aterro sanitário transcorreu dos dados apresentados pela FADE (2014) e BRASIL (2012) (Tabela 2). Com base nos custos ambientais e operacionais para cada cenário, foi possível

realizar projeções (despesa total (US\$/ano e US\$/t)), as quais podem ser visualizadas no Apêndice I. Neste contexto, no valor final fica incluído para cada cenário o custo do investimento inicial, prevendo ainda a amortização em um prazo de vida útil do aterro (20 anos).

Tabela 2 - Valores de referência para Avaliação Econômica por unidade

Custos/Operacionais (SGRSU)	US\$/Unidade
Operacionais	
Energia (kWh)	0,22
Água (m ³)	1,58
Coleta Regular (t)	19,86
Coleta Diferenciada (t)	68,22
Transporte fluvial (frete) até Manaus (t)	27,53
Diesel (L)	1,23
Triagem (t)	47,25
Disposição em Aterro (t)	12,77
Galpão de Triagem - equipamentos	91.772
Compostagem (t)	31,64
Investimento	
Construção de um aterro	949.367
Galpão de Triagem - construção	50.632
Planta de Compostagem	31.645

5.2.6 Análise de Ecoeficiência

O processo metodológico da avaliação de ecoeficiência foi padronizada e normatizada pela NBR ISO 14045:2012. Este processo de análise de ecoeficiência na gestão de resíduos sólidos urbanos baseou-se na combinação da avaliação econômica e dos impactos ambientais normatizados na ACV dos cenários propostos para a gestão do município de Humaitá.

Portanto, nesta análise, correlacionaram-se os impactos ambientais (milipoint) com os custos operacionais e de investimentos em cada cenário.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da revisão e discussão do estado da arte para as questões: gestão de resíduos sólidos urbanos na região Amazônica e na sub-região da Amazônia Ocidental, dados da ACV, avaliação econômica, análise dos aspectos conjunturais dos RSU e análise de ecoeficiência são apresentados nos tópicos a seguir.

6.1 Gestão de resíduos sólidos na região Amazônica

A nível mundial foi possível observar 24.366 publicações, da totalidade do número de publicações 6.222 foram na América, 4.798 (Ásia), 8.569 (Europa), 4.568 (África), 208 (Oceania) e 1 (Antártida). Todavia, considerando o cenário na região Amazônica, a revisão permitiu selecionar quinze artigos publicados em periódicos científicos, demonstrando a escassez de pesquisas sobre a gestão dos RSU nessa região geográfica.

Na tabela 3 são apresentados os resultados da pesquisa bibliométrica relacionada à gestão dos RSU na região Amazônica. Somente três dos nove países que compõem a região Amazônica produziram artigos disponíveis nas bases de dados internacionais, destacando-se o Brasil (onze artigos) (SILVA e PINHEIRO, 2010; MATOS *et al.*, 2011; SOUZA *et al.*, 2014; BERNARDES e GUNTHER, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2016; CASTRO *et al.*, 2015; VIEIRA *et al.*, 2018; GAUTHIER e MORAN, 2018; MENDES *et al.*, 2019; IMBIRIBA *et al.*, 2019; PAVANI *et al.*, 2019), seguido de Colômbia (CRIOLLO *et al.*, 2018; COLORADO-LOPERA *et al.*, 2019) e Peru (LARSEN, 2011; ZIEGLER-RODRIGUEZ *et al.*, 2019), com dois artigos cada.

Primeira Página

Tabela 3 - Trabalhos publicados na área de gestão de RSU na região Amazônica no intervalo temporal de 2007-2019.

Referência	País	Revista	Foco Principal
Silva e Pinheiro (2010)	BR	Sociedade & Natureza	Avaliação das alternativas locais para a disposição dos RSU em um município do estado do Amazonas, considerando a legislação e as particularidades fisiográficas locais. Os autores destacaram que as cidades Amazônicas, especialmente aquelas localizadas nas calhas dos rios, apresentam infraestrutura limitada.
Matos <i>et al.</i> (2011)	BR	Renewable and Sustainable Energy Reviews	Artigo relacionado a fontes alternativas renováveis para a produção de energia em substituição a queima de combustível fóssil na Amazônia. Uma alternativa foi a queima de resíduos agroindustriais abundantes nessa região, como as cascas de cacau e os grãos de cupuaçu e açaí, piquiá, babaçu, bacuri e tucumã.
Larsen (2011)	PE	Management of Environmental Quality	Desafios associados à criação de instituições municipais de governança ambiental na Amazônia Peruana. Destacaram-se as limitações de governança municipal para os problemas ambientais e a gestão dos resíduos sólidos.
Souza <i>et al.</i> (2014)	BR	Waste Management & Research	Potencial de produção de energia elétrica utilizando RSU, por meio do gás produzido em aterros sanitários, incineração e digestão anaeróbia dos RSU. Os resultados mostraram que o tratamento térmico pode ser uma opção viável no aproveitamento energético em duas capitais da Amazônia: Manaus (AM) e Belém (PA) no Brasil.
Bernardes e Gunther (2014)	BR	Human Ecology	Caracterizaram os RSU de comunidades rurais da Amazônia e observaram uma geração per capita de 0,5 kg.(pessoa.dia) ¹ . Mesmo essa baixa geração per capita pode causar sérios problemas ambientais. Além disto, nas comunidades rurais os serviços de infraestrutura são praticamente inexistentes.
Castro <i>et al.</i> (2015)	BR	Engenharia Sanitária e Ambiental	Avaliaram o sistema de gestão dos RSU de três municípios do estado do Amazonas: Iranduba, Manacapuru e Novo Airão. Os resultados mostraram que os municípios estavam abaixo da média pré-estabelecida, sendo recomendadas ações prioritárias de acordo com a PNRS.
Oliveira <i>et al.</i> (2016)	BR	Engenharia Sanitária e Ambiental	Avaliaram os impactos ambientais no solo e água em áreas adjacentes ao lixão de Humaitá, estado do Amazonas. Destacou-se o baixo teor de argila encontrado no solo da área do lixão, tornando-o inadequado para disposição de resíduos sólidos, além de alterações nas características físicas e químicas.

Segunda Página

Tabela 3 - Trabalhos publicados na área de gestão de RSU na região Amazônica no intervalo temporal de 2007-2019.

Referência	País	Revista	Foco Principal
Criollo <i>et al.</i> (2018)	CO	Social Indicators Research	Propor um modelo de indicadores de gestão ambiental para observar o estado do ambiente, incluindo a gestão dos resíduos sólidos em cidades da Amazônia Colombianas. Os resultados mostraram que a maioria dos municípios estudados estava em condições precárias na temática gestão ambiental.
Vieira <i>et al.</i> (2018)	BR	Journal of Solid Waste Technology and Management	Nesse artigo discutiu-se a complexidade do gerenciamento tecnológico da coleta de RSU na Amazônia, por meio da coleta seletiva e logística reversa, os seus impactos ambientais e sociais, e a vulnerabilidade das cooperativas.
Gauthier e Moran (2018)	BR	Geoforum – Journal	Artigo relacionado ao cumprimento dos requisitos legais de saneamento na Amazônia Brasileira: Altamira e barragem de Belo Monte. Destacaram-se discrepâncias na realidade atual de Altamira e as políticas públicas nacionais, principalmente na Política Nacional de Recursos Hídricos e a Lei de Saneamento.
Mendes <i>et al.</i> (2019)	BR	Environment, Development and Sustainability	Avaliaram os impactos sanitários entre a relação da qualidade de águas subterrâneas e a ocupação desordenada em um antigo lixão na cidade de Santarém, estado do Pará. Os resultados mostraram que as quantidades totais de coliformes eram superiores aos valores permissíveis pela legislação.
Imbiriba <i>et al.</i> (2019)	BR	Waste Management	Neste artigo, se estudou a produção de gás metano de um aterro sanitário na região metropolitana de Belém (PA). Os resultados mostraram que a produção de metano a partir de RSU depositados está ocorrendo muito mais rápido do que o previsto pelo modelo do IPCC.
Ziegler-Rodriguez <i>et al.</i> (2019)	PE	Journal of Cleaner Production	Destacaram os benefícios e desafios ambientais na transição de lixões para aterros sanitários no Peru. Os resultados mostraram que as emissões de gases de efeito estufa em locais de disposição de resíduos na Amazônia Peruana, permanecem mais alto em comparação com a disposição de resíduos nos Andes e na costa hiperárida.

Terceira Página

Tabela 3 - Trabalhos publicados na área de gestão de RSU na região Amazônica no intervalo temporal de 2007-2019.

Referência	País	Revista	Foco Principal
Colorado- Lopera <i>et al.</i> (2019)	CO	Informador Técnico	Ressaltaram a importância da logística para o desenvolvimento da gestão de resíduos sólidos na Colômbia. Os resultados revelaram problemas envolvendo a economia, tecnologia, regulamentos e políticas ambientais. Para tanto, se observou um sistema de logística eficiente somente nas principais cidades da Colômbia, como Medellín, Bogotá, Cali e Barranquilla.
Pavani <i>et al.</i> (2019)	BR	Environmental Monitoring and Assessment	Avaliaram a implantação de aterros sanitários vinculados a consórcios intermunicipais no estado do Amazonas. Em seus resultados ressaltaram, que a análise multicritério demonstrou eficácia na escolha de possíveis locais para instalação de um aterro sanitário.

Os artigos recuperados abordaram propostas e diagnósticos relacionados à gestão dos RSM na Amazônia, como a produção de energia a partir de resíduos (MATOS *et al.*, 2011; SOUZA *et al.*, 2014), aspectos tecnológicos, infraestrutura inadequada, limitações da coleta seletiva, logística reversa, consórcios intermunicipais e reciclagem (BERNARDES e GUNTHER, 2014; SILVA e PINHEIRO, 2010; VIEIRA *et al.*, 2018; PAVANI *et al.*, 2019; COLORADO-LOPERA *et al.*, 2019), impactos ambientais, sociais, econômicos e legais da disposição dos RSM em lixão e aterros sanitários (SILVA e PINHEIRO, 2010; BERNARDES e GUNTHER, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2016; VIEIRA *et al.*, 2018; MENDES *et al.*, 2019; IMBIRIBA *et al.*, 2019; PAVANI *et al.*, 2019; COLORADO-LOPERA *et al.*, 2019; ZIEGLER-RODRIGUEZ *et al.*, 2019), indicadores de gestão e governança ambiental (LARSEN, 2011; GAUTHIER e MORAN, 2018; CRIOLLO *et al.*, 2018).

Um importante aspecto apontado reporta à baixa densidade populacional na região da Amazônia (LARSEN, 2011), o que pode explicar o predomínio de pesquisas e levantamentos sobre gestão dos RSU nas regiões metropolitanas e capitais dos países que integram essa região, como observado na Bolívia (FERRONATO *et al.*, 2018), Brasil (PAES *et al.*, 2018), Colômbia (MARTINEZ e PIÑA, 2017), Peru (GILARDINO *et al.*, 2017) dentre outros. Todavia, em países e territórios totalmente inseridos na Amazônia, como o Suriname, Guiana e Guiana Francesa não foram recuperados quaisquer artigos em periódicos científicos.

A extensão territorial da região Amazônica e a baixa densidade populacional podem ser visualizadas na Tabela 4, adaptada a partir de Becker (2010) e Monteiro (2011). Essa região do planeta corresponde a 40% da área da América do Sul e 58% da somatória das áreas dos países que a compõem, destacando-se a Guiana, Guiana Francesa e Suriname com 100% de sua área inserida na Amazônia, enquanto a Venezuela apresenta a menor área relativa, ou aproximadamente 20% de seu território.

O Brasil possui a maior área absoluta entre todos os países que fazem parte da Amazônia. Apesar de sua relevância territorial, a população da região Amazônica está estimada em 28 milhões de habitantes ou somente 8% do total desses países (BECKER, 2010; MONTEIRO, 2011), destacando-se o Brasil por apresentar a maior quantidade de pessoas vivendo nessa região.

Tabela 4 - Principais indicadores territoriais e demográficos dos países da Amazônia Continental.

País	Área Total	Área Amazon	Área Relativa	População Total	População Amazon	Pop.Relativa Am.
	milhões de km ²		%	milhões habitantes		%
Brasil	8,51	4,98	58,5	207,70	23,68	11,40
Bolívia	1,10	0,82	75,0	10,89	0,57	5,20
Colômbia	1,14	0,41	35,6	48,75	0,68	1,39
Equador	0,28	0,13	47,8	16,39	0,65	3,99
Guiana	0,21	0,21	100	0,77	0,77	100
G. Francesa	0,08	0,08	100	0,23	0,23	100
Peru	1,29	0,96	74,4	33,77	0,47	1,39
Suriname	0,16	0,16	100	0,56	0,56	100
Venezuela	0,92	0,18	19,7	31,57	0,14	0,45
Total	13,69	7,93	57,9	350,40	27,75	7,9

Área Total: área total do país; Área Amazon: área da Amazônia inserida no país; Área Relativa: percentual da área da Amazônia em relação à área total do país; População Total: população total do país; População Amazon: população da Amazônia referente ao país; Pop.Relativa Am: percentual da população da Amazônia referente ao país em relação à população total. **Fonte:** Adaptado, (Becker, 2010; Monteiro, 2011).

A tabela 5 apresenta os resultados da compilação e avaliação das informações levantadas juntas aos órgãos oficiais dos países da região Amazônica. Não foram encontradas informações de órgãos ou institutos oficiais de Suriname e Guiana Francesa, por esse motivo eles não aparecem na Tabela 5.

Tabela 5 - Informações compiladas de relatórios oficiais sobre os resíduos sólidos dos países que compõem a Amazônia Continental.

País	A. Sanitário	Lixão	Gerado	Reciclado	PPC	PPC Amazon
	%				kg (habitantes dia) ⁻¹	
Brasil ¹	59	20	5,4	3,4	0,94	0,99
Bolívia ²	45	22	6,8	3,7	0,46	0,43
Colômbia ³	83	NI	NI	1,8	0,78	NI
Equador ⁴	42	41	3,4	0,6	0,58	0,57
Guiana ⁵	61	39	100	0,5	0,66	0,66
Peru ⁶	44	56	8,9	0,2	0,66	0,45
Venezuela ⁷	NI	NI	0,4	3,9	0,90	0,52

A.Sanitário: porcentagem do resíduo sólido urbano gerado no país e disposto em aterro sanitário; Lixão: porcentagem do resíduo sólido urbano gerado no país e disposto em lixão a céu aberto e aterro controlado; Gerado: porcentagem do resíduo sólido urbano gerado na Amazônia do país; Reciclado: porcentagem do resíduo sólido urbano reciclado no país; PPC: produção diária de resíduo sólido urbano per capita; PPC Amazon: produção diária de resíduo sólido urbano na região Amazônica. **Fonte:** 1: SNIS (2018); 2: MMAYA (2011); 3: (CONPES, 2016; SSPD, 2016); 4: INEC (2017); 5: MGLRD (2016); 6: (MINAM, 2016; MINAM, 2014); 7: INE (2013).

A geração per capita de resíduos sólidos na Amazônia apresentada na Tabela 5, mostrou que com exceção da Amazônia Brasileira, com os demais países que compõem a região Amazônica, apresentaram menor produção diária de resíduo sólido urbano na região Amazônica kg (habitantes dia)⁻¹ do que a média de cada país. Na Amazônia Brasileira, a

geração per capita foi 5% superior à média nacional, além de ser a maior registrada na Amazônia. Todavia, em alguns países, como a Bolívia, existe uma expressiva parte da população vivendo na área rural, na qual a geração de resíduos sólidos tem sido estimada em 0,20 kg (habitantes dia)⁻¹ (MMAYA, 2011). Na área rural da Amazônia, os resíduos orgânicos são fornecidos para alimentação dos animais ou compostados, enquanto os inorgânicos são reutilizados, queimados ou dispostos em lixões a céu aberto (BERNARDES e GUNTHER, 2014).

Portanto, o percentual de disposição dos resíduos sólidos urbanos em lixões a céu aberto, na Amazônia, deve ser superior aos índices médios nacionais divulgados na Tabela 5, os quais podem ser considerados elevados, em razão dos problemas de gestão nessas respectivas áreas ser expressivos.

Os resultados ainda indicam uma expressiva disposição inadequada de resíduos em lixões a céu aberto e aterros controlados (Tabela 5). Por outro lado, a disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários ocorre predominante nas regiões mais povoadas, como as áreas metropolitanas das capitais.

No que tange à gestão dos resíduos sólidos urbanos na região Amazônica, a Tabela 4 mostra que em razão da baixa população nas áreas da Amazônia e de fatores como as condições climáticas, dificuldades de implantação de aterros sanitários e da logística reversa, além da falta no mercado de tecnologias de tratamento proporcionam uma série de problemas no processo de gestão dos RSU. Concomitantemente, as empresas recicladoras e empresas privadas que realizam o transporte e disposição de resíduos sólidos buscam se alocar próximas de centros urbanos (capitais e metropolitanas) visando maior lucratividade (FERRONATO *et al.*, 2017).

Para Leal Filho *et al.* (2016), os fluxos de resíduos, coleta, tratamento e métodos de disposição na gestão de resíduos diferem em regiões e países. Apesar das diferenças, a hierarquia de resíduos é amplamente aceita no mundo e classifica as opções de gerenciamento de resíduos, como não geração, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição em aterros sanitários (ESPANA *et al.*, 2018).

Entretanto, os principais desafios na gestão de RSU, geralmente incluem recurso financeiro insuficiente, infraestrutura deficiente/falta de instalação de tratamento, conhecimento limitado sobre soluções tecnológicas, profissional qualificado, falta ou inadequação de políticas/regulamentos, falta de cooperativas, ausência de dados confiáveis e baixa porcentagem de separação na fonte (GUERRERO *et al.*, 2013).

Destaca-se que muitas cidades nos países da Amazônia empregam catadores de resíduos para potencializar a coleta e promover a reciclagem, objetivando alcançar uma melhor gestão de resíduos sólidos, bem como a inclusão social desses cidadãos marginalizados. Embora a integração de catadores em sistemas do setor formal produza benefícios para muitas pessoas, nos países mais pobres, particularmente na Bolívia, as cooperativas necessitam de tecnologia, financiamento e estrutura regulatória para estabelecer redes de coletas (MARELLO e HELWEGE, 2018).

Na Colômbia, Criollo *et al.* (2018) enfatiza que os municípios de pequeno porte não têm estrutura institucional para desenvolver políticas autônomas que visem melhorar a gestão ambiental e a qualidade de vida de seus habitantes. Assim, o Ministério do Meio Ambiente do país é responsável pela elaboração de políticas públicas nacionais relacionadas ao meio ambiente e os municípios são responsáveis pela promoção e execução de políticas.

Sullivan (2016) destaca que o governo Colombiano implementou várias políticas, como a Lei nº. 1.713 de 2002, exigindo que cada município elaborasse um Plano de Gestão Integral de Resíduos Sólidos, a Lei nº. 1.505 de 2003 que integra os catadores no processo de gestão de resíduos e outras normas,

Todavia, mesmo diante da legislação e políticas estabelecidas na Colômbia, o sistema de gestão dos RSU no país ainda apresenta ineficiência e com aproximadamente 69% da disposição de RSU em lixões a céu aberto e aterros controlados, refletindo em problemas ambientais e socioeconômicos. No entanto, na Colômbia relataram-se resultados bem-sucedidos de recuperação de RSU por meio de cooperativas e microempresas de recuperação e reciclagem, porém, esses resultados estão concentrados na capital de Bogotá e não na região Amazônica.

No Peru se registraram 29 aterros sanitários e 1.400 lixões abertos em 2018. Para tanto, foram reportados apenas dois aterros na Amazônia Peruana, o que correspondeu a 9,5% daqueles em operação no país (Ziegler-Rodriguez *et al.*, 2019). Ressalta-se que o principal problema referente à gestão dos RSU é a falta de locais que atendam as normas para a sua disposição final, como também a característica cultural, deficiência de infraestrutura e a falta de políticas públicas rigorosas (QUINHÕES, 2016).

Diante dos problemas ambientais, o Conselho Nacional de Meio Ambiente do Peru, desenvolveu e aprovou o Plano Nacional de Gestão Integral de Resíduos Sólidos, que estabeleceu diretrizes, estratégias e atividades, objetivando melhorar as condições de gestão dos RSU (MINAM, 2016). Por sua vez, as estratégias do Plano Nacional é gerenciar, reciclar

e dispor de forma adequada os RSU na sua totalidade, destacando investimentos e informações necessárias, apoio dos governos locais e regionais.

Na Amazônia Boliviana não foram reportados aterros sanitários, sendo os resíduos dispostos em lixões (MMAYA, 2011), assim como no Suriname (IDB, 2016). Ferronato *et al.* (2018) destacam que na Bolívia a coleta, processamento e disposição final de resíduos não são suficientemente adequados para proteger a saúde pública e o meio ambiente, refletindo em graves problemas técnicos e ambientais. Quanto aos resíduos com valor recuperável, não há instalações e tecnologias para a valorização de materiais recicláveis ou tratamento de resíduos perigosos.

Ferronato *et al.* (2017) citou problemas na Bolívia como a falta de financiamento econômico, conscientização pública e instalações tecnológicas, para a gestão dos resíduos sólidos bolivianos, e sugeriram a formalização de cooperativas e envolvimento do setor privado para sanar os problemas de gestão nesse país.

Não obstante, a Venezuela também apresenta problemas ambientais devido à má gestão dos resíduos sólidos, em virtude dos seguintes fatores: coleta ineficiente; lixeiras inoperantes; queima e manuseio errôneo na disposição final dos RSU; falta de políticas públicas e falta de responsabilidade na geração de resíduos. No país, aproximadamente 67% dispõem seus resíduos em aterros e 33% em lixões, porém, ressalta-se que na Venezuela definem aterros, como locais que recebem resíduos sólidos sem controle técnico-sanitário (INE, 2013). Deste modo, o país está buscando se adequar e investir na gestão de resíduos sólidos urbanos mediante aos consórcios municipais.

Na Guiana, o único aterro sanitário se localiza na região metropolitana de sua capital, Georgetown, o qual recebe cerca de 60% dos RSM gerados nesse país (MGLRD, 2016).

No Equador cerca de 25 municípios da região Amazônica declararam que dispuseram seus resíduos sólidos em aterro sanitário, em 2016, correspondendo a 61% do total daquela região (INEC, 2017).

O baixo percentual da população que vive na região Amazônica reflete na geração relativa de resíduos sólidos. Com exceção da Guiana, cujo território está totalmente inserido na Amazônia, os demais países geraram de 0,4% a 8,9% de seus resíduos nessa região o que, em parte, contribui para dificultar a construção de obras de elevado custo, como os aterros sanitários, e a estruturação da indústria da reciclagem e da economia circular nessa região.

Não foi possível encontrar informações específicas sobre a reciclagem na região Amazônica, com exceção da Guiana. Esse país recicla cerca de 240 t/mês de papel e papelão,

sendo 80 t/mês (33,33%) de resíduos sólidos urbanos gerados no próprio país e 160 t/mês (66,66%) importado de Suriname e Trindade e Tobago (MGLRD, 2016).

O Brasil não está dispensado dos problemas dispostos pela má gestão de seus resíduos gerados. Diante disto o governo Brasileiro instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), o qual estabelece princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, responsabilidade do gerador e do poder público para que o gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos tenha resultados satisfatórios (BRASIL, 2010). Apesar das responsabilidades da PNRS, a gestão de RSU permanece ineficiente e precisa de adequação (LEAL FILHO *et al.*, 2016).

Portanto, a gestão de resíduos sólidos no Brasil ainda está muito distante de uma situação adequada, em decorrência dos seguintes problemas: aspectos técnicos e operacionais; baixa disponibilidade de recursos; padrões de produção e consumo; dinamismo do mercado de recicláveis e participação da população na gestão (SOUZA e CORDEIRO, 2010).

Neste viés, destaca-se que a Amazônia Brasileira equivale a cerca de 58% do território brasileiro, mais com apenas 23,7 milhões de habitantes ou 11,4% da população brasileira.

Nesta perspectiva, a gestão de RSU nesta região torna-se um problema maior, em razão de diferentes paisagens, diversidade de tipos de solo, alta pluviosidade, períodos secos e chuvosos, biomas, ocupação do solo, estradas precárias e a predominância de transporte fluvial. Ademais, se constata uma série de obstáculos para o fortalecimento da cadeia da reciclagem, como a instalação de recicladoras, o fortalecimento de cooperativas e a implantação da logística reversa e ações preconizadas na Política Nacional de Resíduos Sólidos (CONKE, 2018).

A informação disponível sobre a gestão dos resíduos sólidos urbanos na Amazônia Brasileira difere das demais regiões do país. Em 2016, dos 772 municípios dessa região, apenas 308 (39,8%) lançaram informações no Sistema Nacional de Informações de Saneamento Básico (SNIS). Uma consulta às informações disponíveis no SNIS permitiu constatar que 91% (279) dos municípios da Amazônia que alimentaram o sistema ainda realizavam a disposição de resíduos sólidos em lixões ou aterros controlados, e 9% (29) em aterros sanitários, os quais são encontrados normalmente nas capitais dos estados (SNIS, 2018).

Todavia, os 60,2% dos municípios restantes da Amazônia brasileira não inseriram ou atualizaram os dados no Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SNIS), permitindo inferir que a porcentagem daqueles que dispõem os RSU em lixões pode ser bem maior do que o registrado em documentos oficiais. Tais resultados corroboram aqueles de Oliveira e Medeiros (2019), os quais apontaram a predominância de disposição dos RSU em

lixões a céu aberto com média aproximada de 71% dos municípios da região norte no período temporal de 2011 a 2018.

Não há disponibilidade de dados oficiais sobre a reciclagem do plástico na Amazônia brasileira. Todavia, um levantamento realizado no sítio de internet da Organização Não Governamental Plastivida, relacionados à reciclagem do plástico no Brasil, indicaram que das 752 empresas recicladoras cadastradas, apenas 19 (2,5%) se localizavam na Amazônia (PLASTIVIDA, 2018).

Ressalta-se que algumas dessas empresas cadastradas no sítio de internet da Plastivida não realizam a reciclagem do plástico, como no estado de Rondônia. Nesse estado, as 4 (quatro) empresas recicladoras cadastradas são apenas sucateiros que armazenam resíduos para posteriormente encaminhar ao estado de São Paulo por transporte rodoviário a uma distância de aproximadamente 3.000 quilômetros.

No Brasil, o SNIS contabiliza um total de 1.177 cooperativas (Tabela 6), sendo 5% localizadas nos nove estados da Amazônia Brasileira e 20% no estado de São Paulo (SNIS, 2018). Portanto, existe uma tendência de concentração de empresas de reciclagem em regiões de maior concentração populacional, de maior geração de resíduos sólidos e de parques industriais. Quanto à reciclagem do plástico, observa-se que os estados com a maior presença de empresas recicladoras se localizam nas regiões Sudeste e Sul, como São Paulo (44%), Minas Gerais (9,7%), Paraná (8,8%) e Rio Grande do Sul (9,6%) (PLASTIVIDA, 2018).

Tabela 6 - Quantidades de recicladoras de plástico na Amazônia Brasileira.

Estado	Recicladoras*	Cooperativas**	Cidade*
Acre	Sem registro	02	-----
Amazonas	02	05	Manaus
Amapá	Sem registro	Sem registro	-----
Maranhão	01	07	Rosário
Mato Grosso	05	15	Sorriso; Rondonópolis; Várzea Grande; Cuiabá; Campo Verde
Pará	06	11	Belém; Benevides; Ananindeua; Paraubepas; Paragominas
Rondônia	04	14	Cacoal; Vilhena
Tocantins	01	08	Palmas
Roraima	Sem registro	01	-

Fonte: *Plastivida (2018); **SNIS (2018).

A conjuntura da gestão de RSU nos países que compõem a região Amazônica apresentaram grandes limitações, que podem ser potencializadas pela baixa geração de resíduos sólidos, elevada extensão territorial, má condição das estradas, fatores climáticos como a alta pluviosidade, predominância de transporte fluvial, dificultando a logística reversa,

seleção de áreas para a construção de aterros sanitários, fomentação de consórcios intermunicipais e aumento dos impactos ambientais negativos da disposição de resíduos em lixões (PAVANI *et al.*, 2019).

6.2 Aspectos da conjuntura da gestão dos RSU na sub-região da Amazônia Ocidental

6.2.1 Estratégias de gestão dos RSU na Amazônia: Perspectivas por especialista

Os resultados por meio da técnica Delphi, mostraram que em um painel com 100 especialistas, 35 deles responderam o questionário virtual, correspondendo uma taxa de retorno de 35%. Entre os especialistas houve uma participação com 54% de representantes do gênero masculino e 46% do gênero feminino. O valor encontrado referente ao α de Cronbach (0,7) demonstrou a confiabilidade.

Verificou-se entre os especialistas a diversidade de pesquisadores distribuídos em 15 diferentes estados brasileiros, o que proporcionou uma análise de diferentes realidades regionais (Tabela 7). Assim, os especialistas da região Amazônica corresponderam em aproximadamente 17% da taxa de retorno. Para tanto, a maior concentração dos especialistas era proveniente do estado de São Paulo, seguido por Minas Gerais, Rio de Janeiro e outros.

Tabela 7 - Distribuição dos especialistas, segundo os estados da federação e regiões do Brasil.

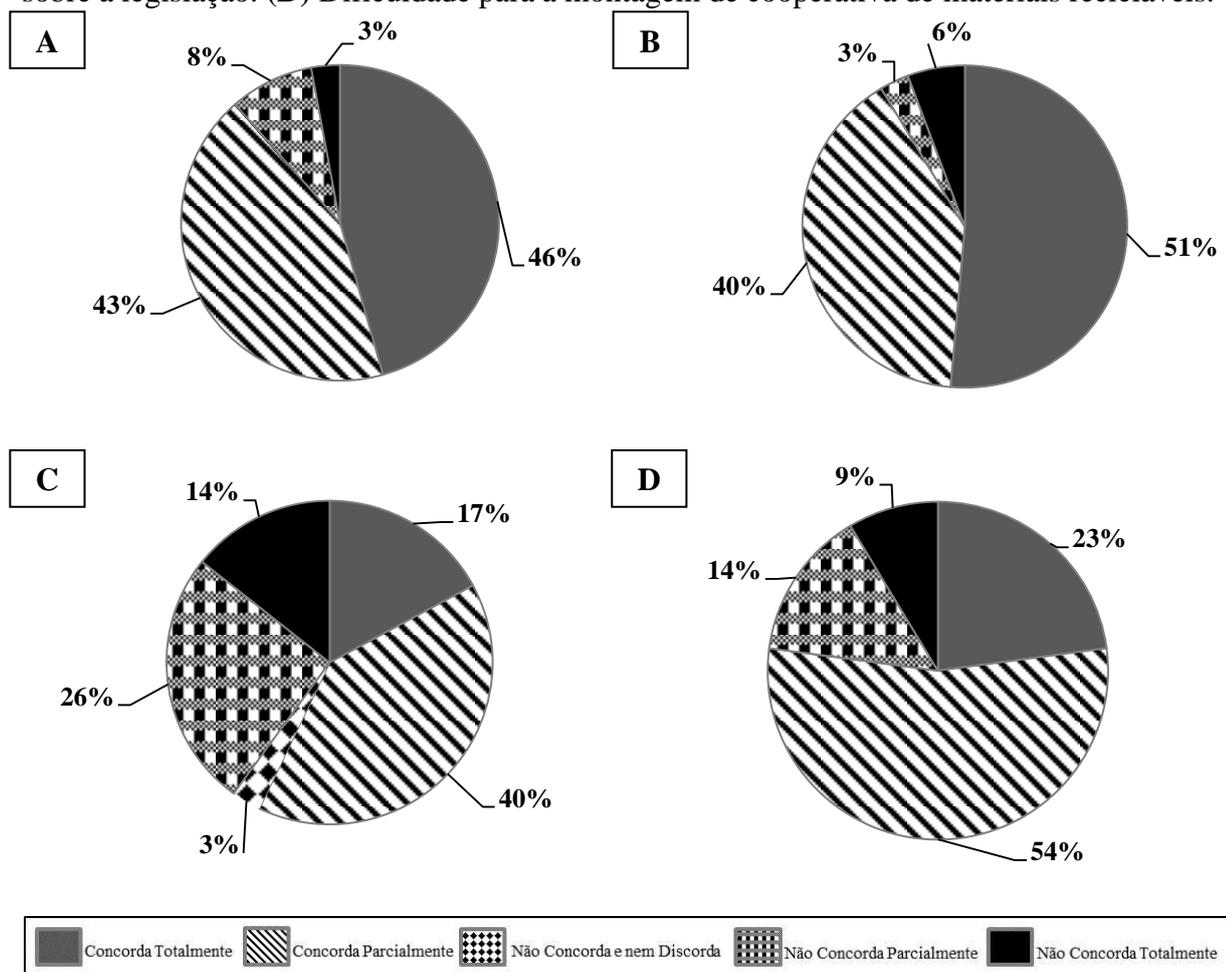
Estado	Número de Participantes	%	Região	Número de Participantes	%
Amazonas	03	8,6	Norte	04	11,4
Tocantins	01	2,8			
Ceará	02	5,7			
Paraíba	02	5,7	Nordeste	07	20
Pernambuco	01	2,8			
Rio Grande do Norte	01	2,8			
Bahia	01	2,8			
Mato Grosso	02	5,7			
Distrito Federal	01	2,8	Centro-Oeste	03	8,6
Rio de Janeiro	03	8,6	Sudeste	13	37
Minas Gerais	04	11,4			
São Paulo	06	17,2			
Santa Catarina	02	5,7			
Rio Grande do Sul	03	8,6	Sul	08	23
Paraná	03	8,6			
Total	35	100		35	100

No instrumento de pesquisa (questionário) enviado aos especialistas, realizaram-se perguntas referentes à gestão de resíduos sólidos urbanos na Amazônia. A primeira questão enfatizava quais os principais problemas, limitações e barreiras enfrentadas pelos municípios

do interior da região Amazônica em relação ao cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (Figura 6).

Figura 6 - Problemas, limitações e barreiras enfrentadas pelos municípios do interior da região Amazônica.

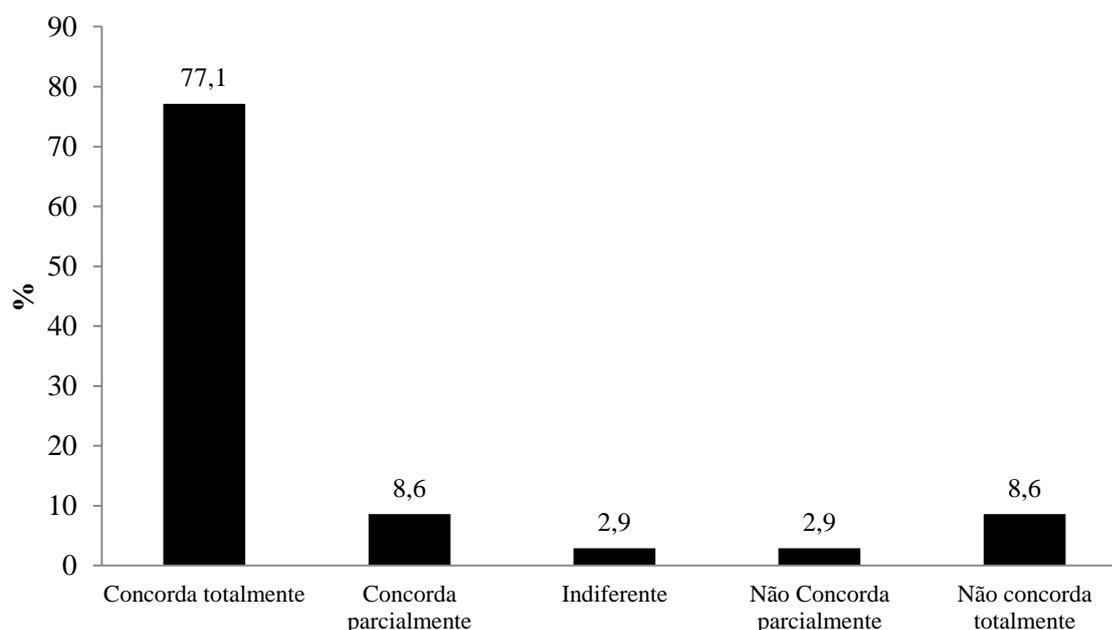
(A) Falta de incentivos legais e financeiros para programar a PNRS. (B) Profissionais capacitados para projetar, operar e monitorar aterro sanitário. (C) Falta de conhecimento sobre a legislação. (D) Dificuldade para a montagem de cooperativa de materiais recicláveis.



Conforme a Figura 6 os especialistas concordaram totalmente e parcialmente que os precursores para os problemas de gestão de resíduos sólidos urbanos em municípios do interior da região Amazônica foram: a falta de profissionais capacitados para projetar, operar e monitorar um aterro sanitário (91%) e de incentivos legais financeiros para programar a Política Nacional de Resíduos Sólidos (89%), seguidos pelas dificuldades para a estrutura de cooperativas ou associações de catadores de materiais recicláveis (77%) e a falta de conhecimento sobre a legislação (57%). Nesta perspectiva, outros autores apontaram um quadro similar no Brasil (IBÁÑEZ-FORÉS *et al.*, 2019) e na Turquia (BANAR *et al.*, 2009).

Na segunda questão, os especialistas concordaram totalmente e parcialmente (86%) que o planejamento da gestão de resíduos sólidos pode agregar ganhos econômicos, além de melhorar a organização do espaço territorial dos municípios (Figura 7), corroborando com Cobo *et al.* (2018), os quais apontam que os problemas de gestão e gerenciamento de RSU, podem ser superados pela valorização dos resíduos e pela transformação do desperdício em um recurso.

Figura 7 - Planejamento da gestão de resíduos agregam ganhos.



Na terceira questão os especialistas concordaram totalmente e parcialmente (83%) que o aterro sanitário era uma alternativa de disposição dos RSU na Amazônia, com o aproveitamento dos resíduos orgânicos pela compostagem (88%) e dos resíduos secos pela reciclagem (86%), alinhado com a PNRS (BRASIL, 2010). Uma significativa parcela desses especialistas (80%) não concordou que a incineração fosse uma alternativa com potencial para a gestão dos RSU na região sul do Estado do Amazonas (Figura 8).

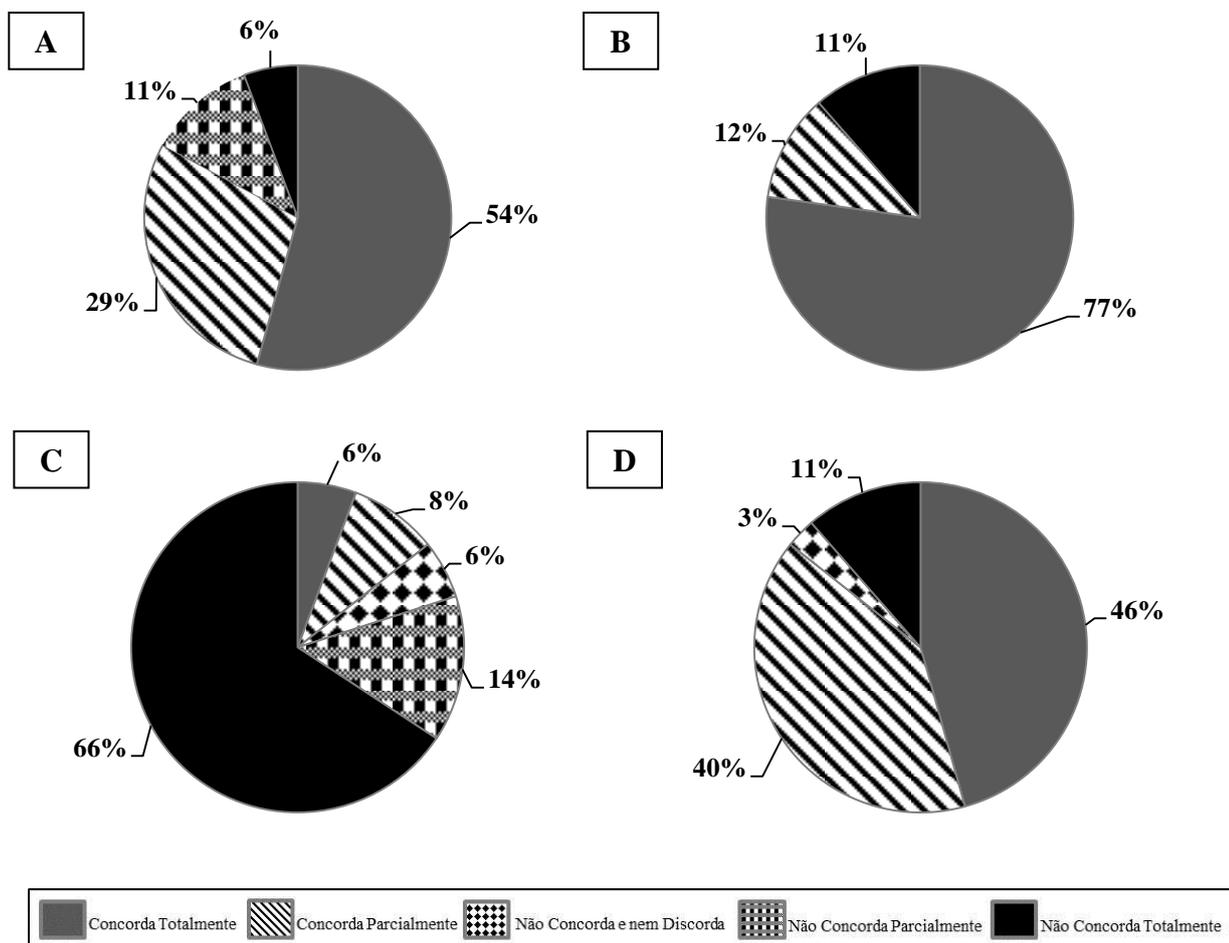
No contexto brasileiro, a disposição adequada de RSU em aterros sanitários atinge 63% dos municípios. Todavia, na Amazônia esse número se reduz a 13%, predominando os lixões à céu aberto em 71% dos municípios (OLIVEIRA e MEDEIROS, 2019).

Outra questão refere-se à reciclagem, a qual não está totalmente disseminada no Brasil, especialmente na região Amazônica, em decorrência da falta de integração do setor da reciclagem informal no sistema formal, conscientização da população, apoio do poder público

municipal, uma consolidada cadeia de reciclagem e a uniformidade da distribuição de empresas desse setor no território nacional (IBÁÑEZ-FORÉS *et al.*, 2018).

Figura 8 - Alternativas de disposição e tecnologias de tratamento dos RSU, com potencial para sub-região da Amazônia Ocidental.

(A) Aterro Sanitário. (B) Compostagem. (C) Incineração. (D) Reciclagem.



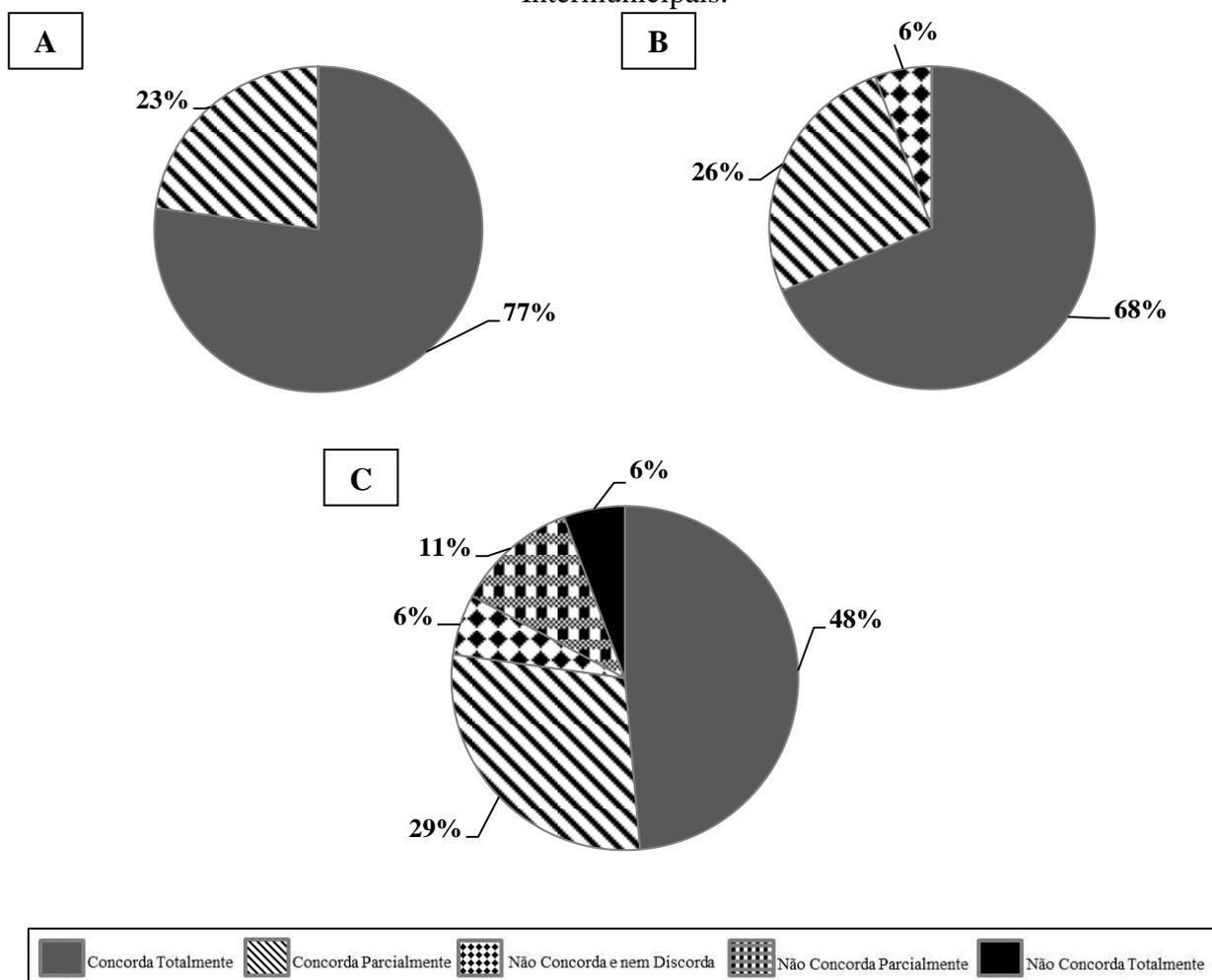
A compostagem, enquanto técnica de tratamento para os resíduos orgânicos tem uma aplicação limitada no Brasil, devido à baixa taxa de separação dos resíduos, dificuldades de manutenção e operação das unidades de compostagem, mercado para absorver o composto gerado e falta de investimentos (ALFAIA *et al.*, 2017).

A quarta questão visava traçar melhorias para o planejamento municipal e estabelecer alternativas de gestão de RSU adequadas a ambientes amazônicos (Figura 9). Nessa questão, constatou-se a unanimidade dos especialistas (100%) quanto à prevenção como uma alternativa adequada para a gestão de RSU na Amazônia, seguida da criação de cooperativas de reciclagem e inclusão social (94%), e dos consórcios intermunicipais (77%).

Portanto, deve-se salientar que para alcançar resultados positivos com as tecnologias de tratamento e disposição dos RSU, se fazem necessárias ações ou programas de educação ambiental, a fim de conscientizar e sensibilizar a população quanto à geração supérflua de RSU, além de priorizar a redução e potencializar a reutilização (LIMA e MANCINI, 2017).

Figura 9 – Alternativas de gestão de resíduos sólidos urbanos que se enquadrariam em ambientes amazônicos.

(A) Prevenção. (B) Cooperativas de reciclagem e inclusão social. (C) Consórcios Intermunicipais.

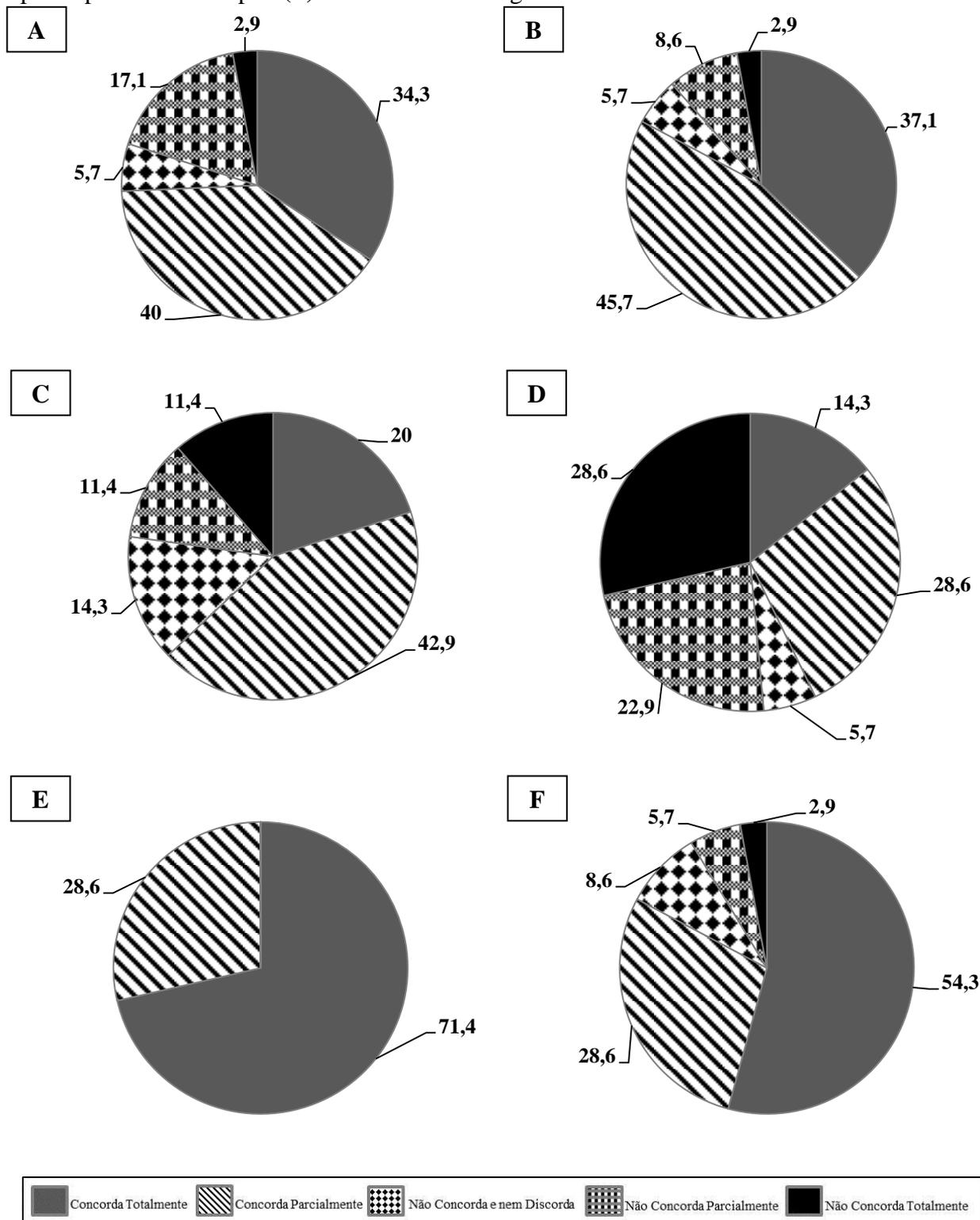


Com base nos resultados obtidos da Figura 9, se compreende quais ações, metas e diretrizes podem melhorar o sistema de gestão de RSU, como programas de educação ambiental para conscientizar a população quanto à geração de RSU, priorizando a redução e potencializando a reciclagem (MARCHI, 2015). Logo, uma hierarquização baseada na prevenção, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição torna-se uma base fundamental para melhorar e diversificar o fluxo de resíduos sólidos no processo de coleta e tratamento.

Os consórcios intermunicipais visam otimizar a disposição final, tratamento, a inclusão social e a sustentabilidade dos investimentos para os municípios associados (FERREIRA e JUCÁ, 2017). Por outro lado, a formalização de cooperativas ou associações, objetiva diminuir os problemas da gestão de RSU em locais de baixa renda, assim, a organização formal dos catadores no município poderia minimizar os problemas sociais, ambientais e sanitários. Porém, em cidades com menor arrecadação essas associações ou cooperativas não possuem tecnologias adequadas, estrutura física e regulatória, financiamento suficiente e apoio do poder público (DEUS *et al.*, 2017).

Na quinta questão elencaram-se as barreiras e limitações relacionadas a instalação de indústrias recicladoras na região Amazônica (Figura 10). Os resultados mostraram que houve unanimidade, entre os especialistas (concordam totalmente e parcialmente), de que a falta de estratégias do poder público municipal é uma barreira para atrair empresas recicladoras. Em seguida destacaram-se a baixa densidade populacional e logística (83%), baixa produção diária (74%), padrões de produção e consumo (63%) e irrelevante potencialidade de reciclagem (43%).

Figura 10 - Barreiras e limitações para atrair empresas recicladoras para Amazônia. (A) Baixa produção diária de RS. (B) Baixa concentração populacional. (C) Padrões de produção e consumo. (D) Irrelevante potencialidade de reciclagem. (E) Falta de estratégias do poder público municipal. (F) Precariedade na logística.



Na sexta questão foram propostos cenários para a gestão de RSU no município de Humaitá (Tabela 8 e 9).

Tabela 8 - Cenários avaliados pelos especialistas, com destaque para os índices de reaproveitamento dos resíduos e suas formas de destinação.

Cenários	Reaproveitamento		Forma de Destinação Final
	Resíduos Secos	Resíduos Úmidos	
	%		
C1	0	0	Coleta Convencional e Aterro
C2	100	0	Coleta Convencional, Coleta Diferenciada, Triagem, Reciclagem (Transporte Terrestre) e Aterro
C3	100	0	Coleta Convencional, Coleta Diferenciada, Triagem, Reciclagem (Transporte Fluvial) e Aterro
C4	70	0	Coleta Convencional, Coleta Diferenciada, Triagem, Reciclagem (Transporte Terrestre) e Aterro
C5	70	0	Coleta Convencional, Coleta Diferenciada, Triagem, Reciclagem (Transporte Fluvial) e Aterro
C6	35	0	Coleta Convencional, Coleta Diferenciada, Triagem, Reciclagem (Transporte Terrestre) e Aterro
C7	35	0	Coleta Convencional, Coleta Diferenciada, Triagem, Reciclagem (Transporte Fluvial) e Aterro
C8	100	100	Coleta Convencional, Coleta Diferenciada, Triagem, Reciclagem (Transporte Terrestre), Compostagem e Aterro
C9	100	100	Coleta Convencional, Coleta Diferenciada, Triagem, Reciclagem (Transporte Fluvial), Compostagem e Aterro
C10	70	70	Coleta Convencional, Coleta Diferenciada, Triagem, Reciclagem (Transporte Terrestre), Compostagem e Aterro
C11	70	70	Coleta Convencional, Coleta Diferenciada, Triagem, Reciclagem (Transporte Fluvial), Compostagem e Aterro
C12	35	35	Coleta Convencional, Coleta Diferenciada, Triagem, Reciclagem (Transporte Terrestre), Compostagem e Aterro
C13	35	35	Coleta Convencional, Coleta Diferenciada, Triagem, Reciclagem (Transporte Fluvial), Compostagem e Aterro
C14	0	0	Coleta Convencional e Incineração

Portanto, considerando as potencialidades regionais, como a logística fluvial, técnicas de tratamento e disposição (reciclagem, implantação de aterro, compostagem), a fim de minimizar a quantidade de RSU disposto a céu aberto, foi evidenciada uma maior concordância para os cenários 8 (62%) e 10 (60%) e maior discordância para os cenários 7 (82%) e 14 (80%) (Tabela 9).

Tabela 9 - Resposta dos especialistas (questionário) quanto aos cenários de gestão dos RSU no município de Humaitá - AM.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
	----- % -----													
Concorda	28	31	29	37	26	23	8	63	43	60	37	34	23	17
Não concorda e nem discorda	3	9	6	11	6	9	9	6	3	6	6	6	3	3
Não Concorda	68	60	65	52	69	68	83	31	54	34	57	60	74	80
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Nesta perspectiva, o processo da coleta convencional, coleta diferenciada, triagem, usina de compostagem, estação de transbordo e disposição em aterro sanitário estiveram apontadas no C8 e C10. Assim, no C8 considerou-se o aproveitamento de 100% de materiais recicláveis, 100% da matéria orgânica e o aterramento dos rejeitos no aterro. Por outro lado, no C10 se estabeleceu o aproveitamento de 70% de materiais recicláveis, 70% da matéria orgânica e o aterramento dos rejeitos no aterro.

Por conseguinte, os cenários de maior discordância julgou-se no C7 o aproveitamento de 35% de materiais recicláveis e o aterramento dos demais resíduos no aterro. Sob outra perspectiva o C14 visava à eliminação de todo o resíduo gerado no município pelo processo de incineração, corroborando o resultado da terceira questão.

6.2.2 Diagnóstico in loco da gestão dos resíduos sólidos na região de Humaitá

A partir da análise de aspectos conjunturais das informações obtidas na fase documental, bem como os indicadores (Estrutura Organizacional; Infraestrutura; Prestação de serviços; Investimento; Político; Aspectos Organizacionais; Extensão social; Impactos ambientais), se diagnosticou as seguintes características, a seguir.

➤ Estrutura Organizacional e de Investimento

Dentro do arcabouço do município, existe a secretaria municipal de Meio Ambiente e a de Infraestrutura que possuem autonomia na fiscalização quanto à gestão de resíduos sólidos

urbanos. Contudo, o município firmou um contrato de 12 meses no ano de 2017 no valor de US\$ 919.458,00 com uma empresa terceirizada para execução (gastos operacionais) dos serviços de limpeza pública, que contempla o manejo (coleta, transporte e disposição) dos RSU seguindo as normas de segurança e uso de EPI's. Logo, observou-se que o município de Humaitá teve uma receita total de aproximadamente US\$ 33.227.848,10 para o ano de 2017, e o custo global com a gestão dos RSU comprometeram em aproximadamente 2,8% da receita total do município.

Destaca-se, que não há gastos de investimentos para a gestão dos RSU (unidades de tratamento dos resíduos sólidos). Desta forma, a gestão dos resíduos sólidos é custeada a partir de recursos provenientes do orçamento municipal e, não existe nenhuma cobrança de taxa específica para o gerenciamento dos RSU.

Nesse indicador, ainda se elenca que no município não existe oficialmente iniciativas de formação de cooperativas ou associações de catadores de materiais recicláveis. Assim, grupos de catadores autônomos ou informais predominam no município.

➤ Infraestrutura

A secretaria de Infraestrutura do município está localizada em uma área de 10.855 m², sendo que neste espaço a prefeitura disponibilizou uma estrutura física de 225 m² (15mx15m), para ser utilizado como galpão de triagem. Além disso, a cidade de Humaitá possui pontos de entrega voluntária de materiais recicláveis no centro comercial do município. Porém, a estrutura disponibilizada para os catadores usarem como galpão de triagem não vem sendo utilizada e, o processo estrutural de entrega voluntária não vem operando de forma efetiva no município.

Quanto ao sistema de coleta seletiva na cidade, não há uma iniciativa da prefeitura municipal, não existe cooperativa e nem associação de catadores. Entretanto observam-se catadores competindo pelos materiais de maior valor econômico na área de disposição dos RSU. Esses catadores coletam parte dos materiais passíveis de reciclagem (papel, plástico e papelão) após a rota da coleta regular sem qualquer tipo de proteção individual e, posteriormente, ocasionam incêndios intencionais para diminuir o volume dos resíduos sólidos e facilitar a coleta de outros materiais recicláveis (alumínio e metal ferroso) (Figura 11). No período chuvoso o local fica praticamente inundado e o chorume ou infiltra no solo ou esco superficialmente até atingir corpos d'água, distantes cerca de 130 m do lixão (Figura 12).

No que tange à disposição final dos RSU verificou-se a presença de lixão a céu aberto (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Desta forma, o município não apresenta infraestrutura necessária para subsidiar um sistema de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos.

As manutenções no local de disposição de resíduos sólidos urbanos não ocorrem periodicamente, somente em situações emergenciais, como em casos de incêndios ou quando a estrada de acesso (terra/cascalho) está inviabilizada para o transporte dos caminhões coletores. Nessas situações se utiliza de maquinários (trator, retroescavadeira, cascalho e outros).

A região de Humaitá não possui mercado para os materiais recicláveis, tampouco a região metropolitana de Porto Velho, no estado de Rondônia, a mais próxima desse município. Portanto, a cadeia de reciclagem mais próxima está localizada em Manaus, capital do estado do Amazonas, distante 700 km de Humaitá. No entanto, as condições de trafegabilidade da rodovia BR-319 (ligando Humaitá a Manaus) e o elevado tempo de transporte via modal hidroviário para levar os materiais recicláveis até Manaus dificultam esse procedimento. Diante disto, o fluxo de materiais recicláveis no município de Humaitá ocorre via transporte terrestre para o um intermediário no estado de Rondônia.

Figura 11 - Processo de queima dos resíduos sólidos urbanos.



Figura 12 - Local de disposição no período chuvoso.



A Confederação Nacional de Transporte (CNT, 2018) enfatiza que no Brasil, a distribuição geográfica de infraestrutura não ocorre de forma uniforme nas regiões do país. Neste sentido, as maiores densidades de malha rodoviária federal pavimentada estão localizadas nas regiões Sul e Sudeste.

Na região norte a extensão das rodovias atinge 140.028 km, atendendo uma área de 3.853.841 km², o que equivale a 0,036 km/km². Desse total apenas 22.389 km de rodovias estão pavimentadas, equivalendo 0,006 km/km². Analisando apenas as rodovias pavimentadas, 2,01% (459 km) eram classificadas como ótimas; 20,3% (4.545 km) como bom; 43,7% (9.784 km) regular; 19,9% (4.545 km) ruim e 14% (3.134 km) péssima (CNT, 2018). Em contraste, a região sudeste apresenta uma extensão de rodovias com 533.795 km para atender uma área de 924.608,90 km² (0,57 km/km²), atingindo um total de 62.520 km de estradas pavimentadas (0,06 km/km²), porém, 55% (34.386 km) eram classificadas como de ótimo a boa, fator este que contribui para as melhores condições de fluxo do material reciclável nessa região do país (CNT, 2018).

Vale destacar que o estado de Rondônia apresenta um total 13.329 km pavimentados, com predominância de rodovias classificadas de regular a péssima (77%), como a BR-319 que liga o município de Humaitá a Porto Velho, além da BR-364 que liga o estado de Rondônia ao estado do Acre e Mato Grosso fora classificado como regular (CNT, 2018). No estado do Amazonas 1.073 km de rodovias (ou 99%), apresentaram condição de regular a péssima, como a BR-319, impossibilitando o fluxo de material reciclável, principalmente no período chuvoso.

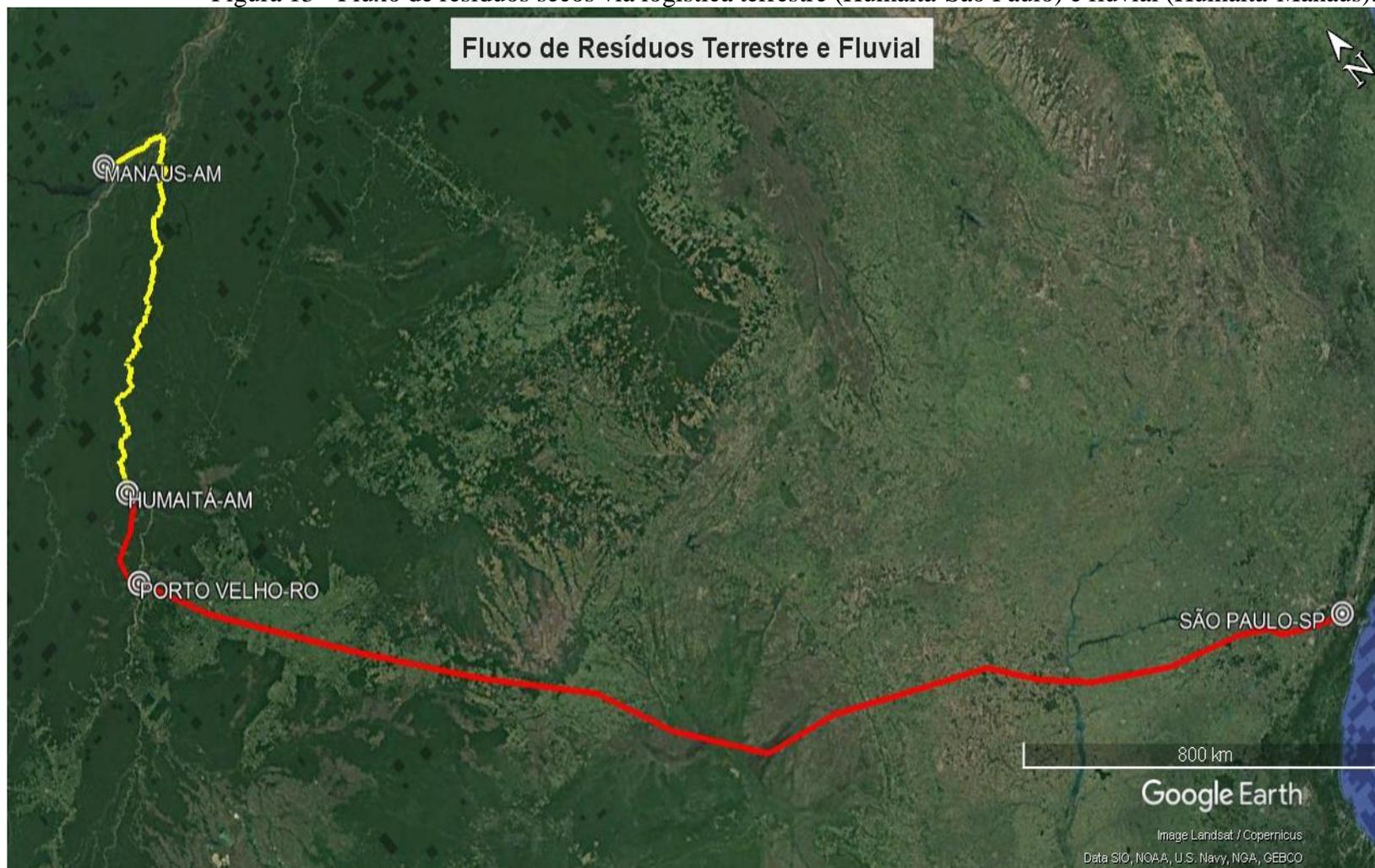
Diante deste cenário, os catadores preferem vender os materiais recolhidos para um sucateiro, em Humaitá, que os transporta por modal rodoviário até Porto Velho (RO), cidade na qual é feita a venda para outros intermediários. Em Porto Velho o material reciclável é enviado até o mercado de reciclagem no estado de São Paulo, por rodovia, distante cerca de 3000 km.

Essa conjuntura da logística evidencia as dificuldades da implantação da responsabilidade compartilhada e da logística reversa na Amazônia Ocidental, uma vez que há considerável predominância de estradas precárias, além de mercado para os materiais recicláveis somente na cidade de Manaus (LIMA, 2013). Para Paes *et al.* (2020b) a falta de estruturas logísticas e industrialização escassa na região norte do Brasil, justificam os percentuais mais altos de resíduos potencialmente recicláveis encontrados nos RSU, como papel, plásticos e metais.

Na cidade de Humaitá foi construído um porto fluvial, especializado no transporte de cargas multimodal por meio de comboios formados por balsas e empurradores. Contudo, o seu processo operacional encontra-se em fase final para a armazenagem de cargas, bem como para o embarque e desembarque de balsas. Este cenário pode potencializar a logística dos materiais recicláveis dessa região, a qual percorreria aproximadamente 700 km até a capital Manaus.

A figura 13 representa o fluxo de materiais recicláveis oriundos do município de Humaitá via logística terrestre, até a cidade de São Paulo, e fluvial, até a cidade de Manaus, destinados ao mercado de reciclagem.

Figura 13 - Fluxo de resíduos secos via logística terrestre (Humaitá-São Paulo) e fluvial (Humaitá-Manaus).



— Transporte Terrestre — Transporte Fluvial

➤ Prestação de Serviços

A prestação de serviços realizados pela empresa terceirizada contempla a coleta regular de todos os tipos de resíduos sólidos domésticos, comerciais e de jardinagem na mancha urbana do município de Humaitá, que corresponde aproximadamente 15 km² da área territorial. Neste viés, a coleta regular dos RSU atendia todas as ruas dos 13 bairros da cidade de Humaitá no período de segunda-feira a sábado, em horário específico. No domingo realizava-se uma coleta estratégica somente na área comercial do município.

Os RSU coletados nesses bairros eram transportados até o lixão municipal, sem qualquer separação, e incluindo todos os tipos de resíduos sólidos domésticos e comerciais, além dos resíduos de entulho, podagem e aqueles do despejo do esgoto doméstico retirados da área residencial, conforme observado em visitas *in loco*.

O processo de coleta dos resíduos não contemplava a população de áreas rurais (comunidades, distritos, assentamentos, reservas indígenas), o que corresponde a 31% da população do município, ou 16.700 habitantes. O principal motivo de não se recolher os RSU dessas comunidades era a distância da mancha urbana, já que a área do município atinge 33.072 km² (equivalente a somatória das áreas de Alagoas e do Distrito Federal, bem como da área territorial da Bélgica), e a precariedade do acesso pela rodovia BR-319 e a transamazônica (BR-230). Tais condições limitavam a logística a essas áreas somente por hidrovias.

Nessa situação, encontram-se dois distritos de Humaitá: o de Realidade, localizado na BR-319 a 100 km da área urbana, com 4.000 moradores; e Auxiliadora, formado por 41 comunidades e 8.000 habitantes, a 200 km da mancha urbana e com acesso somente pelo rio Madeira.

Ademais, o município de Humaitá apresenta em sua área territorial aproximadamente 46% de terras indígenas ou 15.213 km² (PINHEIRO e REZENDE, 2012), tornando-se outra limitação para a gestão dos resíduos sólidos urbanos, pois estas áreas apresentam características, legislações e restrições ambientais específicas.

Sob esta ótica, a população indígena na área territorial do município de Humaitá atingia 1.233 pessoas divididas em 17 aldeias, com uma densidade populacional de 0,08 hab./km², pertencente às etnias Tenharim, Diahui, Pirahã, e Parintintin e alguns com residências na área urbana da cidade (SIASI/SESAI, 2013). Vale destacar que parte dessas etnias deixavam suas aldeias e migravam para o município de Humaitá, buscando melhoria de

qualidade de vida, como por exemplo, emprego, ingresso nas universidades, além de adquirir insumos e produtos industrializados para seus familiares (SANTOS *et al.*, 2017).

O Ministério da Saúde fomentou o programa de formação de agentes indígenas de saúde e saneamento. Vale destacar que o projeto de Lei 3.514 de 2019 visou regulamentar a profissão de Agente Indígena de Saúde (AIS) e Agente Indígena de Saneamento (AISAN).

Neste cenário, algumas aldeias possuíam um agente indígena de saneamento (AISAN) que coletava os resíduos na aldeia, descartava na respectiva vala e realizava a queima. Entretanto, como não há ações voltadas pelo poder público municipal, como a coleta regular, os indígenas dispõem todos os tipos de resíduos (papel, plástico, vidro, metais) em valas rasas escavadas manualmente, distante de suas moradias, conforme relato da chefia do Polo Base de Humaitá (DSEI - Distrito Sanitário Especial Indígena de Porto Velho – RO).

Os resíduos orgânicos geralmente eram utilizados como alimento pelos animais domésticos ou destinados a compostagem caseira para uso como adubo em plantações, corroborando com os relatos de Gomes (2013).

Em estudos voltados para a gestão de resíduos sólidos em terras indígenas, observou-se uma geração per capita diária de 0,09 kg por pessoa (CORNÉLIO *et al.*, 2019). Portanto, diante da baixa geração per capita, reduzida densidade populacional nas reservas indígenas, parte dos resíduos produzidos pelas etnias disposta na mancha urbana, levou a não consideração dessas áreas na elaboração de cenários do sistema de gestão dos RSU de Humaitá.

➤ Político

No cenário atual o município não vem seguindo as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos, no que se refere à disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, ao fortalecimento de tecnologias de tratamento (reciclagem, compostagem), a potencialização da logística reversa e a responsabilidade compartilhada. Contudo, destaca-se que o município atendeu a legislação no que tange ao plano de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

Nesta conjuntura, destaca-se que o Plano Diretor e o Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos de Humaitá traçaram como objetivo estratégico, a consolidação das atividades de limpeza urbana. Nesse viés, destaque foi dado às unidades de recepção, triagem, tratamento e disposição final dos resíduos não recicláveis, bem como a criação de condições para a implantação do sistema de coleta seletiva dos RSU. No entanto, o

processo de gestão dos RSU do município limita-se à coleta dos resíduos sólidos gerados na mancha urbana e sua disposição no lixão a céu aberto.

Tal forma de disposição dos RSU levou o Ministério Público Federal a ajuizar uma ação civil pública na 7ª Vara da Justiça Federal, em Manaus, que tratava sobre a exigência na adequação do local, pelo Termo de Ajuste de Conduta Ambiental (TACA).

Nesse documento se previam medidas corretivas pelo município, como a elaboração de programas de recuperação de áreas degradadas (PRAD), cessação de queimas de resíduos na área de disposição, isolamento da área, proibição de acesso de pessoas não autorizadas e outras medidas. Para o MPF houve somente o cumprimento parcial do TACA. Assim, o mesmo determinou o pagamento de multas de US\$ 4.130.281,46 em 12 de dezembro de 2018, além de multas diárias no valor de US\$ 632,91 do primeiro ao trigésimo dia e de US\$ 1.582,27 a partir do trigésimo primeiro dia, para cada uma das obrigações do termo não cumpridas pelo município. Vale destacar que nos autos do processo, consta que o município recorreu da sentença, assim, visando uma solução convencional entre as partes foi designada uma audiência conciliatória no dia 02 de outubro de 2019.

➤ Aspectos Organizacionais

O município de Humaitá por apresentar baixa densidade populacional e elevada extensão territorial, bem como baixa geração de RSU, rodovias em condições precárias, predominância de transporte fluvial, condições climáticas desfavoráveis e a falta de mercado para absorver o material reciclável, dificultam o gerenciamento dos resíduos sólidos (VIEIRA *et al.*, 2018).

Uma barreira refere-se ao comércio de materiais recicláveis, pela concentração geográfica da indústria de reciclagem em regiões metropolitanas, os altos custos de transporte e as pequenas taxas de lucro dos materiais recicláveis (MALINAUSKAITE *et al.*, 2017). As empresas recicladoras se localizam em áreas de maior concentração da população, como as capitais de estados e regiões metropolitanas, pela maior geração de resíduos, presença de parque industrial que consuma os produtos processados, e melhor estrutura de logística (LIMA e MANCINI, 2017).

Os resultados oriundos de documentos originais e das consultas no sítio da internet da prefeitura municipal e do órgão ambiental estadual, permitiram constatar que o município não disponibilizava informações sobre a gestão de resíduos sólidos, no meio digital, apesar de possuir um Plano de Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos Urbanos. No entanto, as

versões impressas do plano estavam disponíveis para consulta na secretaria de meio ambiente do município de Humaitá.

Os únicos dados disponíveis sobre o SGRSU de Humaitá, em meio digital, eram aqueles inseridos na plataforma do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS). Nessa plataforma foi possível verificar que a taxa de cobertura da coleta de resíduos atingiu 100% para a população urbana e 65% para a população total. Além disso, o sistema municipal não apresentava unidades de triagem, compostagem, transbordo e coleta seletiva.

O Plano de Gerenciamento Integrado dos resíduos sólidos urbanos e a Lei Orgânica do município de Humaitá estabelecem que os resíduos sólidos urbanos sejam dispostos em aterros sanitários e/ou aterros controlados, ou encaminhados à usina de reciclagem e compostagem, não sendo permitida, em qualquer circunstância, a disposição a céu aberto. Assim, o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no município difere do que se determina um plano de gerenciamento e lei orgânica.

Em vista disso, a separação dos resíduos ocorre de forma autônoma e difusa nos lixões pelos catadores, atores que estão no patamar de maior vulnerabilidade (social e econômica), além das condições precárias de trabalho e das limitações em se organizar como empreendimentos sociais (cooperativas ou associações) (REBEHY *et al.*, 2017). Porém, eles contribuem significativamente para as taxas de reciclagem e na sustentabilidade urbana e ambiental (RUTKOWSKI e RUTKOWSKI, 2017).

➤ Extensão social

Em Humaitá não existiam, oficialmente, programas de educação ambiental no calendário municipal, somente campanhas pontuais de limpeza nos bairros da cidade, para a prevenção de queimadas e controle de dengue/malária, protagonizadas pelo poder público.

No entanto, existe um potencial para a extensão social na região, em decorrência da conjuntura do município apresentar órgãos ambientais federais, estaduais e municipais, que podem elaborar projetos visando à sensibilização na população, no que tange a prevenção na geração dos resíduos.

Desta forma, no período de 2016 a 2018, o Instituto Federal do Amazonas (IFAM) e o Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA/UFAM) elaboraram aproximadamente 26 projetos de extensão no município, voltados para os alunos da rede pública municipal, estadual e para a comunidade em geral, objetivando a sensibilização e conscientização quanto a não poluir os igarapés, o correto acondicionamento dos RSU, o controle de queimadas na área urbana e outras. Tais projetos estão vinculados e disponíveis junto a Pró-Reitoria de

Extensão da Universidade Federal do Amazonas (Proext/Ufam) e do Instituto Federal do Amazonas, nas modalidades de Programa Atividade Curricular de Extensão – PACE e Programa Institucional de Bolsa de Extensão – PIBEX.

➤ Impactos Ambientais

Os danos ambientais pela disposição dos RSU em lixão, particularmente no ambiente amazônico, podem ser intensificados pelo regime hídrico da região, frequentes inundações, e períodos de seca (LIMA, 2013). Este quadro onera e dificulta a instalação, manutenção e operação de obras civis como estradas e estruturas de saneamento, incluindo aterros sanitários, estações de tratamento de água e esgoto, e sistemas de drenagem de águas pluviais. Essas condições justificam, em parte, os piores indicadores de qualidade ambiental dessa região quando comparados às regiões Sul e Sudeste do Brasil, dificultando a adoção de estratégias de gestão dos RSU preconizadas em outros países ou regiões do planeta.

Em relação a temática gestão dos resíduos sólidos, o município de Humaitá possui características similares aos demais 60 municípios interioranos do estado do Amazonas, pois dispõe seus RSU em lixões a céu aberto. Além disto, o município não possuía sistema de tratamento de água e esgoto.

A gestão dos resíduos sólidos urbanos apresentava as seguintes etapas: a população acondicionava os RSU em sacos plásticos (resíduos orgânicos e recicláveis) e os colocavam em lixeiras adaptadas em frente a sua respectiva casa, junto com resíduos eletrônicos (geladeira, fogão, máquina de lavar) (Figura 14) (OLIVEIRA, 2016). Posteriormente, os RSU da mancha urbana eram coletados e dispostos em lixão a céu aberto. Esse sistema perdura até o presente ano de 2020.

O local de disposição está distante aproximadamente 1 km do Instituto Federal do Amazonas (IFAM), 1,7 km do conjunto habitacional Rio Madeira (500 casas) e 2 km do aeródromo e causa problemas ambientais, sociais e econômicos. Esse lixão foi uma das causas do fechamento do aeródromo por não atender ao disposto na Resolução CONAMA nº 04/95, a qual estabelece uma Área de Segurança Aeroportuária (ASA) de 20 km de raio a partir do centro geométrico do aeroporto do município.

Figura 14 - Lixeiras adaptadas na área urbana do município de Humaitá.



Uma visita *in loco* e análise da paisagem no lixão permitiu elencar os potenciais impactos desta disposição irregular dos RSU (Tabela 10).

Tabela 10 - Aspectos e potenciais impactos ambientais observados no local de disposição de resíduos.

Meio	Aspecto Ambiental	Potenciais Impactos
Físico	Geração de poluentes atmosféricos no transporte dos resíduos	Alteração da qualidade do ar
	Geração de ruído (uso de maquinários, buzinas e outros)	Incômodo às partes interessadas
	Incêndios espontâneo/proposital	Alteração da qualidade do ar, água e solo
	Alteração da qualidade de água superficial e subterrânea	Poluição/contaminação dos corpos d'água Desequilíbrio no ecossistema aquático
	Disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos no solo, bem como a geração de chorume a céu aberto e aumento de processos erosivos.	Deterioração da qualidade ambiental do solo no local e circunvizinhança Contaminação do solo e subsolo
Biótico	Remoção da vegetação e redução da camada superficial do solo	Modificação e alteração da flora local Redução da biota do solo Redução da biodiversidade
	Proliferação de macro e micro vetores	Alteração dos habitats
	Stress da fauna local	Comprometimento da vida dos organismos
	Interferência em habitats naturais	Alteração do processo natural
Antrópico	Presença de catadores na área de disposição	Degradação visual da paisagem Risco de saúde pública
	Proximidade de núcleo habitacional	Diminuição na qualidade de vida Risco sobre a saúde humana
	Proximidade de Aeródromo	Aumento do perigo Aviário (colisões de aves com aeronaves)
	Manutenção insuficiente na área de disposição	Alteração da qualidade do ar, água e solo
	Inexistência de sistemas de tratamento de chorume, águas pluviais e gases	Alteração da qualidade do ar, água e solo

Fonte: Adaptado de Oliveira (2016).

A caracterização quali-quantitativa dos RSU permitiu verificar que o município de Humaitá gerava 14,83 t de RSU por dia, o que correspondeu a uma geração per capita de 0,4 kg por dia, comparável aquela de outros países da Amazônia, como a Bolívia (MMAYA, 2011), Peru (MINAM, 2016) e Venezuela (INE, 2013). Todavia, a produção per capita na cidade de Humaitá apresentou uma redução equivalente de 48% do gerado na Amazônia brasileira, que atingiu 0,99 kg de resíduos por dia (SNIS, 2018). A composição gravimétrica do RSU de Humaitá pode ser visualizada na Tabela 11, em que os resíduos classificados como outros incluíram o isopor, materiais não recicláveis, lâmpadas fluorescentes, hospitalar e carvão.

Tabela 11 - Amostragem e Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos do município de Humaitá-AM.

Resíduos	Composição Gravimétrica							
	Amostragem 1		Amostragem 2		Amostragem 3		Média Anual	
	Kg	%	Kg	%	Kg	%	t/ano	%
Matéria Orgânica	77,3	38,83	79,67	52,39	65,14	41,50	2381	44,00
Papel/Papelão	8,69	4,37	9,8	6,44	32,73	20,85	571	10,55
Plástico Filme	43,18	21,69	19,37	12,74	23,39	14,90	890	16,44
Plástico Rígido	7,44	3,74	3,94	2,59	4,21	2,68	163	3,00
Metal Ferroso	1,4	0,70	0,57	0,37	1,66	1,06	38	0,70
Vidro	8,6	4,32	3,15	2,07	2,64	1,68	146	2,70
Alumínio	0,18	0,09	0,79	0,52	0,74	0,47	20	0,37
Pet	1,34	0,67	2,55	1,68	2,02	1,29	65	1,20
Longa Vida	2,14	1,08	1,84	1,21	1,92	1,22	65	1,20
Tecido/Couro	23,97	12,04	8,05	5,29	2,87	1,83	346	6,39
Fraldas/Absorventes	11,51	5,78	12,31	8,09	4,7	2,99	304	5,62
Borracha	0,1	0,05	0,87	0,57	1,02	0,65	25	0,46
Madeira	0,34	0,17	0,03	0,02	1,48	0,94	24	0,44
Outros	12,87	6,47	9,14	6,01	12,45	7,93	374	6,91
Total	199,06	100	152,08	100	156,97	100	5.412	100

Na composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos, predominou o percentual de matéria orgânica (44%), seguido de plástico (19%) e papel (11%), corroborando com o observado na Amazônia da Bolívia (MMAYA, 2011), Equador (INEC, 2017), Guiana (MGLRD, 2016), Peru (MINAM, 2014) e Suriname (IDB, 2016).

Pode-se observar que os percentuais de papel/papelão e de plástico eram comparáveis à média brasileira de 13,5% (plástico) e 13,1% (papel) (BRASIL, 2012). Os percentuais de vidro e de metais ferrosos e não ferrosos alcançaram 2,69% e 1,07% respectivamente, corroborando com o percentual médio desses materiais nos RSU do Brasil, que atinge 2,4% (vidro) e 2,9% (metais ferrosos e não ferrosos) (BRASIL, 2012).

O peso específico dos resíduos sólidos urbanos gerados foi de $89,55 \text{ kg.m}^{-3}$, diferindo da média nacional (192 kg.m^{-3}) (SANTOS *et al.*, 2013). Rezende *et al.* (2013) destacam que tal parâmetro é de suma importância no gerenciamento da coleta, transporte e disposição final, pois permite escolher a melhor destinação para cada tipo ou grupo de resíduos.

6.2.2.1 Análise SWOT de estratégias de gestão dos RSU: Cooperativas

Visando aferir a potencialidade do desenvolvimento de cooperativas ou associações de catadores de materiais recicláveis no município de Humaitá, avaliou-se por meio da análise SWOT os fatores internos e externos na Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis Solidária do Município de Manicoré – ACRSMM, distante 270 km da cidade de Humaitá.

Nesta perspectiva, os fatores internos representam as forças e fraquezas, estas variáveis podem ser alteradas de acordo com o seu interesse da organização. Em contrapartida, os fatores externos relacionam-se as oportunidades e ameaças, contudo, estas variáveis não podem ser alteradas, pois representa o cenário social, político, legal e econômico na qual a associação está inserida. No Quadro 2 são apresentados os resultados da análise SWOT.

Quadro 2 - Análise SWOT da ACRSMM.

Forças	Fraquezas
1. Produção de resíduos constante 2. Redução dos impactos dos resíduos 3. Aproveitamento de materiais 4. Disposição para o Trabalho 5. Boas relações Internas	1. Ausência de Conhecimento Técnico 2. Falta de Estrutura física e organizacional 3. Riscos a Saúde 4. Precariedade das condições de trabalho 5. Falta de um galpão de propriedade da associação
Oportunidades	Ameaças
1. Política Nacional de Resíduos Sólidos 2. Potenciais Parcerias 3. Linhas de financiamento 4. Convênio com a prefeitura 5. Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (PRONATEC)	1. Concorrência com atravessadores 2. Falta de incentivo e reconhecimento 3. Não há divulgação da associação 4. Vulnerabilidade Econômica

➤ Forças

O município de Manicoré dispõe seus resíduos sólidos urbanos diariamente em lixão a céu aberto. Considerando a calha do Rio Madeira que atravessa os municípios de Nova Olinda, Novo Aripuanã, Borba, Manicoré e Humaitá, a Associação dos Catadores de

Materiais Recicláveis Solidária do Município de Manicoré – ACRSMM era a única cadastrada no SNIS (SNIS, 2018).

As associações de catadores promovem a cadeia da reciclagem e possibilitam a geração de renda, inclusão social, diminuição dos impactos ambientais e do volume de RSU dispostos nos aterros sanitários, controlados ou lixões (FIDELIS e COMENERO, 2018).

A maioria dos associados da ACRSMM pertence à mesma família (mãe, pai, filhos) ou convivem no mesmo bairro, com culturas e problemas semelhantes. Todavia, a organização não tinha parcerias efetivas com entidades privadas ou públicas, em relação a capacitações, investimentos financeiros e outros. Apesar disso, Fonseca *et al.* (2017) enfatiza que as cooperativas ou associações assumem um papel importante no processo da reciclagem de materiais, mas se faz necessário incentivo em pesquisas, modernização, conscientização ecológica e de políticas públicas com relação ao escoamento e fomento à comercialização de seus materiais.

➤ Fraquezas

A ACRSMM não possuía um planejamento formalizado, com objetivos e metas a serem alcançados, limitando o crescimento e desenvolvimento da associação.

A estrutura física disponível para a triagem e armazenamento de materiais, além das atividades administrativas, era a residência particular da presidente da ACRSMM. Os associados não usavam equipamentos de proteção individual (EPI), o que pode trazer riscos para a saúde dos cooperados. Nesta conjuntura, salienta-se que os catadores desempenham suas atividades nas condições mais adversas e precárias possíveis, sem respaldo jurídico, trabalhista ou assistencial (COSER e PEDDE, 2019). Além disso, não havia esteira, prensa e balança no local. Logo, o processo de operação na associação era realizado manualmente e os materiais coletados (metais) armazenados na área externa e interna da associação (Figura 15).

Figura 15 - Armazenamento de materiais recicláveis da ACRSMM no município de Manicoré-AM.



➤ Oportunidades

O crescimento do mercado da reciclagem e a promulgação da PNRS proporcionaram o fortalecimento e o desenvolvimento de associações ou cooperativas de catadores (ESTEVES, 2015). Além disto, a organização tem subsídios legais para buscar recursos financeiros em linhas de financiamento e fomento (ALVES *et al.*, 2018).

A ACRSMM não possui recursos necessários para a coleta e separação dos resíduos, assim uma parceria com o poder público municipal potencializaria um apoio gerencial, treinamentos, aquisição e manutenção de maquinários, ecopontos, galpões para triagem e transporte até a recicladora (RODRIGUES *et al.*, 2015).

Tal parceria entre o município e associação poderia ser firmada por meio de um convênio entre as partes, além de a prefeitura realizar o cadastro dos catadores junto à Secretaria de Assistência Social, para que os mesmos recebessem um auxílio do poder público. Neste contexto, para minimizar os riscos de contaminação aos catadores, haveria a necessidade de distribuição de equipamentos de proteção individual (EPI), bem como uniformes personalizados, de forma a executar a coleta com mais segurança.

Em nível de Brasil, nota-se que o mercado de trabalho segue bastante ruim, permeado por altos níveis de desempregado e ao mesmo tempo intensificam as desigualdades sociais (BRASIL, 2019). Em linha com este cenário, a parcela de pessoas que está há pelo menos dois anos desempregado, correspondia a 17,4% em 2015 e foram registrados 24,8% no primeiro trimestre de 2019, correspondendo a um contingente de 3,32 milhões de pessoas. Os

resultados dessa análise revelaram que as regiões norte e nordeste apresentaram os piores níveis de desempregados, com 28,6 e 27,6% respectivamente.

Em contrapartida, o aumento no nível do grau de escolaridade indicou a desaceleração das taxas de desemprego em 2019. Corroborando com Martins Filho *et al.* (2018) onde apontam que a falta de escolaridade dos catadores de materiais recicláveis torna-se um fator de exclusão social, logo, se evidencia a dificuldade destas pessoas se enquadrarem aos requisitos exigidos pelo mercado de trabalho.

Desta forma, torna-se importante à implantação efetiva do Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (PRONATEC), na modalidade catador, que tem por objetivo promover a capacitação profissional e tecnológica dos catadores (BRASIL, 2017).

➤ Ameaças

A ACRSMM despontou com o apoio da Secretaria de Meio Ambiente (Prefeitura Municipal de Manicoré) no ano de 2010 sob a forma de associação civil sem fins lucrativos. Conforme entrevista junto a presidente da associação, verificou-se que no início a organização era composta por cerca de 15 associados.

Contudo, a falta de resultados econômicos imediatos levou os associados (catadores) a comercializar os materiais recicláveis coletados com um atravessador. Isso causou vários problemas de sustentação e funcionamento da associação.

O abandono dos associados dificultou o fortalecimento da ACRSMM, pois os catadores que permaneceram vinculados à associação enfrentaram inúmeras dificuldades, como os atravessadores na abrangência municipal. Essa realidade trouxe como consequência uma menor arrecadação pela organização, dificultando melhorar a sua estrutura física e gerencial.

Portanto, uma das principais ameaças externas da associação eram os atravessadores (sucateiros), que competiam na comercialização dos materiais recicláveis, reduzindo sua disponibilidade. Outra ameaça relaciona-se a distância do mercado de reciclagem de Manaus e o transporte fluvial, como única alternativa para a logística dos materiais, pois uma viagem de 390 km alcança 30 horas por embarcações mistas ou 60 a 90 horas por balsa, dependendo das condições de navegabilidade do rio Madeira.

O apoio dado pela prefeitura à associação se restringia ao pagamento de energia e luz de sua sede, além do transporte dos materiais recicláveis até o porto fluvial de Manicoré, por meio de um trator e caminhão basculante.

A venda dos materiais recicláveis era negociada diretamente entre a presidente da ACRSMM e as empresas recicladoras de Manaus. Os principais materiais coletados, separados, negociados com as empresas eram os metais ferrosos (US\$ 0,13 por kg) e o alumínio (US\$ 1,42 por kg), para tanto, esses materiais eram enviados para a cidade de Manaus sem compactação, pois não se dispõe de prensa na associação. O papelão (US\$ 0,06 por kg), papel (US\$ 0,12 por kg), PET (US\$ 0,22 por kg) não eram comercializados pela associação em decorrência da falta de estrutura física para armazenamento e transporte e pelo baixo valor de mercado. Esses valores foram baseados em levantamentos realizados em julho de 2019 junto a Empresa Cometais – Indústria e Comércio de Metais e na Empresa Rio Limpo, ambas de Manaus.

Essa é uma barreira para potencializar a cadeia de reciclagem na Amazônia, pois em São Paulo o preço do alumínio (US\$ 1,39 por kg), papelão (US\$ 0,17 por kg), papel (US\$ 0,17 por kg), PET (US\$ 0,66 por kg) são mais elevados, baseado em levantamentos realizados em julho de 2019 no sítio da internet da Organização não governamental Cempre (Compromisso Empresarial para Reciclagem).

Diante desse quadro, a ACRSMM encaminha mensalmente seus materiais (2,5 t a 3,5 t de resíduos)^{-mês} por embarcações mistas, na seguinte proporção aproximada: 62% de ferro e 38% de alumínio. Esse volume comercializado alcançava uma arrecadação mensal média de US\$ 1.867,09, sendo que cada fardo de 500 kg custava US\$ 25,00 para ser transportado via fluvial, perfazendo um custo mensal médio de US\$ 151,89. Ademais, havia os custos de impostos, escritório e contabilidade. Ressalta-se que as empresas recicladoras recolhiam esses resíduos no desembarque em Manaus, quando realizavam a pesagem e prensagem do material.

É importante destacar que as ameaças na organização, estão em acordo com os estudos de Zaman e Swapan (2016), onde destacaram que as atividades de reciclagem são frequentemente dependentes pela economia de mercado, bem como, que os benefícios econômicos dos mercados locais de reciclagem dependem das localizações geográficas e do preço do material na região.

6.2.2.2 Análise SWOT de estratégias de gestão dos RSU: Aterro Sanitário

Os resultados da análise SWOT no aterro sanitário de Ariquemes estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - Análise SWOT do Aterro Sanitário de Ariquemes.

Forças	Fraquezas
1. Localização geográfica 2. Conscientização do governo local 3. Consórcio Intermunicipal 4. Tratamento dos efluentes líquidos	1. Disposição de resíduos e não rejeitos 2. Custos de logística 3. Infraestruturas de Gestão Insuficientes 4. Vulnerabilidade do Sistema de tratamento do chorume as condições climáticas da Amazônia
Oportunidades	Ameaças
1. Política Nacional de Resíduos Sólidos 2. Técnicas de tratamento dos RSU	1. Aterramento das Células

➤ Forças

O aterro sanitário de Ariquemes-RO está localizado na sub-região da Amazônia Ocidental. A cidade de Ariquemes apresenta uma localização geográfica privilegiada no estado de Rondônia, pela distância com as cidades e o acesso rodoviário. Isso incentivou o governo estadual a propor a construção do aterro sanitário nessa cidade. Portanto, historicamente o aterro seguiu todos os trâmites da legislação (planejamento, estudos de seleção de área adequada, estudo de impacto ambiental EIA/RIMA, audiências públicas e outros), estando em operação desde o ano de 2012, com vida útil de 14 anos.

O aterro situa-se a 7 km da área urbana do município, tendo como acesso principal uma estrada com pavimentação asfáltica. Nesse aterro são dispostos 135 t dia⁻¹ de resíduos sólidos urbanos gerados em 14 municípios do estado de Rondônia, os quais incluem: Alto Paraíso, Ariquemes, Buritis, Cacaúlândia, Campo Novo de Rondônia, Cujubim, Governador Jorge Teixeira, Itapuã do Oeste, Jaru, Machadinho do Oeste, Monte Negro, Rio Crespo, Theobroma e Vale do Anari. Tais municípios integram o Consórcio Cisan Central (Consórcio Intermunicipal de Saneamento da Região Central de Rondônia), abrangem uma população de 354.196 habitantes e estão localizados a uma distância média de aproximadamente 95 km do aterro (SEDAM, 2015).

Neste viés, ressalta-se que a PNRS aponta os consórcios intermunicipais como alternativa estratégica para a gestão integrada dos RSU, para otimizar a disposição final, tratamento, inclusão social e a sustentabilidade dos investimentos para os municípios associados (FERREIRA e JUCÁ, 2017).

Na área do aterro foi projetado, construído e licenciado um sistema biológico de tratamento de chorume, composto por lagoa anaeróbia (profundidade de 4,5 m), lagoa facultativa (2 m), lagoa de maturação e despejo no corpo receptor (Figura 16), dimensionadas com base na precipitação média da região, a qual atinge 2.100 mm por ano (SEDAM, 2015).

Todavia, existem relatos de transbordamento do sistema, em 2016, pela alta pluviosidade, além de elevados valores de nitrogênio amoniacal e cromo hexavalente e trivalente no seu efluente, conforme relato do Engenheiro Ambiental responsável, em consulta realizada em novembro de 2018.

➤ Fraquezas

O planejamento do aterro de Ariquemes considerou a construção de unidades de triagem e compostagem, unidade de beneficiamento de entulhos, unidade de beneficiamento de PET, armazenamento temporário de lâmpadas/pilhas/baterias, unidade de tratamento de resíduos sólidos de serviços de saúde (esterilização realizada por autoclave) e aterramento dos resíduos domiciliares e públicos (SEDAM, 2015).

Todavia, o aterro recebe e realiza o controle de pesagem dos caminhões e, conseqüentemente, dispõe todos os tipos de resíduos provenientes dos municípios consorciados no aterro, afetando a sua vida útil, e desperdiçando materiais com potencial de reaproveitamento e reciclagem. Em contraste, se destaca que em alguns municípios, os catadores formais e informais realizam uma “pré-triagem” dos resíduos com potencial de reciclagem antes de sua destinação ao aterro sanitário.

Figura 16 - Sistema de tratamento de efluentes gerados no Aterro Sanitário de Ariquemes.



As despesas do aterro são divididas proporcionalmente entre todos os municípios do consórcio (SEDAM 2015). Nesta perspectiva, o custo de implantação do aterro foi de aproximadamente US\$ 1.898.734,17, suas despesas operacionais atingem cerca de US\$ 55.379,74 mensais (manutenção, mão de obra, consumo de combustível e energia) ou US\$

664.556,96 por ano. As despesas de transporte dos municípios consorciados atingem US\$ 0,08/t.km⁻¹, o que corresponde a um total de US\$ 63.291,14 por mês, equivalendo a US\$ 759.493,67 por ano. Portanto, os custos com transporte se sobressaem em referência às despesas operacionais do aterro. Neste viés, o custo anual total incluindo operacional e de transporte dos RSU, alcança cerca de US\$ 1.424.050,63.

Vale destacar que o transporte dos RSU pelos municípios consorciados mais próximos ao aterro era realizado por meio de caminhões da coleta regular municipal até a sua disposição, como por exemplo, os municípios de Alto Paraíso, Cacaúlândia, Monte Negro e Rio Crespo.

Em contraste, os municípios de Cujumbim, Buritis, Campo Novo de Rondônia, Governador Jorge Teixeira, Itapuã do Oeste, Jaru, Machadinho do Oeste, Theobroma e Vale do Anari por estar mais distante ao aterro, o processo de transporte transcorria inicialmente pela coleta regular, estação transbordo e posteriormente, usufruíam de uma empresa terceirizada contratada pelo consórcio (caminhões com capacidade de carga elevada) para direcionar os resíduos ao aterro.

No que tange a infraestrutura, o aterro não fazia a captação e monitoramento do gás gerado, sendo realizada apenas a queima dos gases, e na estação de tratamento não existia medidor de vazão. Deste modo, o controle era realizado de forma empírica, por meio de adaptações e correções nos drenos. Todavia, em todo o aterro existe drenagem de águas pluviais que satisfazem o sistema, além de três pontos de monitoramento do lençol freático, realizado em frequência trimestral, para detectar vazamento na manta de impermeabilização.

➤ Oportunidades

A Política Nacional de Resíduos Sólidos versa sobre a disposição final de RSU em aterros sanitários, assim sendo, os consórcios intermunicipais tornam-se uma alternativa para municípios que buscam dispor seus resíduos de forma ambientalmente adequada, pela possibilidade de ratearem recursos com a disposição e tratamento de resíduos, como também pela inclusão de catadores (FERREIRA e JUCÁ, 2017).

Dessa forma, a disposição dos resíduos sólidos em aterros sanitários aliados a formação de consórcios intermunicipais está se consolidando na gestão de resíduos sólidos por atenderem um maior número de municípios. Neste cenário, baseado na legislação e nos benefícios elencados, o Consórcio Intermunicipal de Saneamento da Região Central de Rondônia precisa buscar de forma conjunta com os municípios consorciados as alternativas de tratamento dos RSU, abordando os aspectos sociais, econômicos e ambientais que

contemplem a realidade da região Amazônica, pois na região se observa cooperativas que separam os materiais e encaminham para fora do estado.

➤ Ameaças

No entanto, há várias ameaças na implantação dos consórcios intermunicipais de resíduos sólidos na região Amazônica, como a falta de especialistas capacitados, falta de apoio do poder público municipal e da instabilidade dos ciclos de governo municipais (MAIELLO *et al.*, 2018). Além dessas dificuldades destacam-se problemas com o aterramento das células (dificuldade de transportar e compactar os resíduos) e operação de sistema de tratamento de efluentes devido às dificuldades no período chuvoso. Enfatiza-se ainda que se houvesse a valorização para todos os resíduos com potencial de reciclagem, proporcionaria um aumento de vida útil do aterro e ganho econômico e social.

6.3 Avaliação e sistematização de cenários de gestão de RSU

A sistematização dos cenários baseou-se na identificação das etapas do sistema de gestão de RSU no município em 2017, a fim de determinar o cenário base, bem como na análise da conjuntura da gestão dos RSU na sub-região da Amazônia Ocidental. Todavia, o cenário atual das atividades SGRSU no município de Humaitá-AM no ano de 2017, contemplava a coleta na mancha urbana, transporte e disposição final em um lixão a céu aberto.

Como a PNRS estabelece que os lixões devam ser erradicados no Brasil, todos os cenários simulados contemplaram a construção de um aterro sanitário inclusive o cenário base, considerando as seguintes etapas: coleta, triagem, transporte, tratamento e disposição final em aterro sanitário.

Para a construção dos cenários considerou-se a composição gravimétrica dos RSU de Humaitá, a quantidade total de resíduos gerada anualmente (5.412 t), as potencialidades regionais, como a logística fluvial, técnicas de tratamento e disposição dos RSU (reciclagem, implantação de aterro, compostagem).

Vale ressaltar que a consulta aos especialistas indicou como alternativa de disposição e tratamento dos RSU na região de Humaitá e Amazônia, a implantação de aterro sanitário, o aproveitamento dos resíduos úmidos pela compostagem, e o aproveitamento dos resíduos secos pela reciclagem, além de descartarem a incineração. Logo, o resultado corrobora com outros autores que recomendam a incineração somente para uma geração de resíduos superior

a 160.000 t/ano ou 240 t/dia para o tratamento térmico (incineração) (BERTICELLI *et al.*, 2017), enquanto Humaitá gera somente 14,83 t/dia, sendo 44% resíduo orgânico.

Baseado na análise de conjuntura, na Política Nacional de Resíduos Sólidos e nas características regionais da Amazônia, os cenários propostos contemplam a implantação da compostagem com sistemas aerados e reviramento manual para o aproveitamento dos resíduos sólidos úmidos, pois esse processo é recomendado para uma população de até 150.000 habitantes ou com capacidade de processamento de até 100 t/dia (FADE, 2014).

Deste modo, não foram elaborados cenários com a técnica de digestão anaeróbia, uma vez que esse processo demanda elevados custos e rigorosos requisitos operacionais, como por exemplo, equipamentos mais robustos, mão de obra qualificada na operação do sistema e monitoramento, além da necessidade de tratamento posterior (compostagem) (LEITE, 2016; MARSHALL e FARAHBAKHS, 2013).

Na análise da conjuntura, se observou o baixo valor agregado de alguns materiais com potencial de reciclagem (plástico e embalagem de longa vida), além das dificuldades da logística e infraestrutura adequada para gerenciar esses materiais. Assim, nos cenários propostos, esses materiais não serão direcionados para o processo de tratamento e sim dispostos juntamente com os rejeitos no aterro sanitário.

Deste modo, elaborou-se cinco cenários distintos, apresentados a seguir:

- **Cenário Base** – expressa o aterramento de todos os resíduos sólidos urbanos gerados na mancha urbana em um aterro sanitário.
- **Cenário 01 (Idealista)**: expressa o alcance da triagem de 100% dos resíduos recicláveis com maior valor econômico (metais e PET) e 30% de resíduos de papel/papelão para envio de barco a Manaus; compostagem de 100% dos resíduos orgânicos e aterramento dos demais resíduos recicláveis e rejeitos. Neste cenário, tem-se um total de 24,6 t de resíduos separados mensalmente e transportados em 3 (três) cargas mensais (8,2 t por viagem), por meio de embarcações mistas (cargas e passageiros), até a cidade de Manaus-AM (indústria recicladora).
- **Cenário 02 (Intermediário 1)**: expressa o alcance da triagem de 100% dos resíduos recicláveis com maior valor econômico (metais e PET) e envio por barco para Manaus; compostagem de 100% dos resíduos orgânicos e aterramento dos demais resíduos recicláveis e rejeitos. Neste cenário, tem-se um total de 10,3 t de resíduos separados mensalmente. Por esse motivo, definiu-se 3 (três) cargas mensais (3,4 t por viagem) de resíduos enviados, por meio de embarcações mistas (cargas e passageiros), até a cidade de Manaus-AM (indústria recicladora).

- **Cenário 03 (Intermediário 2):** Expressa a triagem de 70% dos resíduos recicláveis com maior valor econômico (metais e PET) e envio por barco para Manaus, compostagem de 70% dos resíduos orgânicos e aterramento dos resíduos restantes. Portanto, neste cenário tem-se um total de 7,25 t de resíduos gerados mensalmente, assim, definiu-se 2 (duas) cargas mensais (3,6 t por viagem) para o envio de resíduos por meio de embarcações mistas (cargas e passageiros) até Manaus.

- **Cenário 04 (Conservador):** Expressa a triagem de 35% dos resíduos recicláveis com maior valor econômico (metais e PET) e envio via barco para Manaus, compostagem de 35% dos resíduos orgânicos e aterramento dos resíduos restantes. Sendo assim, para os resíduos recicláveis, determinou-se somente uma carga mensal de 3,62 t enviada para Manaus em embarcações mistas. A Tabela 12 apresenta as quantidades enviadas para os diferentes tipos de tratamento ou disposição de RSU, em cada cenário avaliado.

Tabela 12 - Quantidade de resíduos secos enviadas via embarcações mistas, bem como o envio para usina de compostagem e aterramento.

Resíduos	Cbase			C1			C2			C3			C4		
	T	C	A	T	C	A	T	C	A	T	C	A	T	C	A
t.ano ⁻¹															
Resíduos separados e enviados para a Reciclagem, Compostagem e Aterro Sanitário															
Matéria Orgânica	0	0	2381	0	2310	71	0	2310	71	0	1616	765	0	808	1573
Papel/Papelão	0	0	571	171,3	0	399,7	0	0	571	0	0	571	0	0	571
Metal Ferroso	0	0	38	38	0	0	38	0	0	27	0	11	13	0	25
Alumínio	0	0	20	20	0	0	20	0	0	14	0	6	7	0	13
Pet	0	0	65	65	0	0	65	0	0	46	0	19	23	0	42
Resíduos somente enviados para o Aterro Sanitário															
Vidro	0	0	146	0	0	146	0	0	146	0	0	146	0	0	146
Plástico	0	0	1053	0	0	1053	0	0	1053	0	0	1053	0	0	1053
Longa Vida	0	0	65	0	0	65	0	0	65	0	0	65	0	0	65
Tecido/Couro	0	0	346	0	0	346	0	0	346	0	0	346	0	0	346
Fraldas/Absorventes	0	0	304	0	0	304	0	0	304	0	0	304	0	0	304
Borracha	0	0	25	0	0	25	0	0	25	0	0	25	0	0	25
Madeira	0	0	24	0	0	24	0	0	24	0	0	24	0	0	24
Outros	0	0	374	0	0	374	0	0	374	0	0	374	0	0	374
Total	0	0	5412	294,3	2310	2808	123	2310	2979	87	1616	3709	43	808	4561

A: Aterro; C: Compostagem; Triagem/Reciclagem.

6.3.1 Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

A Tabela 13 descreve os fluxos de entrada e saída dos dados inventariados do processo de geração, coleta, triagem, transbordo, transporte fluvial, tratamento e disposição final dos RSU para cada um dos cenários. Ressalta-se que o detalhamento destes cálculos é apresentado nas tabelas 26, 27, 28, 29 e 30 no apêndice H.

Tabela 13 - Inventário do ciclo de vida (entradas e saídas) usados na ACV de RSU anualmente de Humaitá, Amazonas.

Parâmetro	Unidade	Cbase	C1	C2	C3	C4
Entradas						
Diesel - Coleta	t	62,73	63,60	64,07	66,06	68,38
Diesel – Transporte fluvial*	t	0	1,58	0,66	0,43	0,23
Energia Elétrica	kWh	7.200	24.372	23.789	18.807	13.003
Água	m ³	0	2.995	2.798	1.958	979
Transporte – Coleta	t km	270.100	262.116	265.654	264.815	271.107
Transporte Fluvial	t km	0	206.290	86.380	60.900	30.408
Saídas						
Dióxido de Carbono	t	862,13	513,31	535,47	639,19	760,02
Monóxido de Carbono	t	1,83	2,26	2,26	2,25	2,23
Material Particulado	t	1,168	1,30	1,30	1,30	1,30
Hidrocarbonetos	t	0,44	0,53	0,53	0,53	0,53
Dióxido de Enxofre	t	0,219	0,28	0,28	0,28	0,28
Óxidos de Nitrogênio	t	2,409	2,98	2,98	2,97	2,96
Metano	t	27	14,07	14,92	18,55	22,77
Nitrogênio	t	0,0939	0,048	0,052	0,064	0,08
Lixiviado	m ³	216,50	112,27	119,14	148,33	182,13
Sulfeto de Hidrogênio	t	0,595	0,31	0,327	0,407	0,50
Compostos orgânicos voláteis sem metano (NMVOC)	t	2,19	1,13	1,20	1,50	1,85
Amônia	t	0	0,012	0,012	0,08	0,04
Óxido Nitroso	t	0	0,00023	0,00023	0,00016	0,00008

* O diesel do transporte fluvial no C1, C2, C3 e C4 foram calculados proporcionalmente, pois em uma viagem até Manaus têm-se um consumo de 2.500 litros por meio de uma embarcação mista (cargas e passageiros).

Cbase: 100% dos resíduos sólidos para aterro. **C1:** 100% de metais (ferrosos e alumínio), PET e 30% de papel para triagem; 100% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C2:** 100% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 100% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C3:** 70% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 70% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C4:** 35% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 35% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem.

Na Tabela 13 observa-se um aumento dos consumos de combustível fóssil (diesel), energia, água e na quantidade de resíduos transportada para todos os cenários propostos, quando comparados ao cenário base, pois no Cbase ocorre somente a coleta dos resíduos sólidos urbanos e disposição em aterro sanitário.

Nesta perspectiva, os valores elevados do consumo de diesel nos cenários C1, C2, C3 e C4 são resultantes principalmente do processo da coleta regular, diferenciada, transporte do composto, da energia consumida no processo e gerada na termelétrica, das unidades de tratamento e do fluxo dos materiais recicláveis por meio de embarcações mistas até a capital Manaus-AM. Conseqüentemente, o aumento do consumo de diesel em relação ao cenário Cbase variou de 4% (C1) a 9% (C4). Já o aumento dos consumos de energia elétrica e água se devem as unidades de tratamento (triagem e usina de compostagem).

Observou-se uma redução de metano gerado (CH₄) em todos os cenários propostos, quando comparados ao cenário base, atingindo 46% no cenário idealista (C1), 43% no cenário intermediário 1 (C2), 30% no cenário intermediário 2 (C3) e 15% no cenário conservador (C4) (Tabela 12). Tal redução deve-se à diminuição do material disposto no aterro sanitário e, conseqüentemente, na degradação das frações orgânicas.

A inserção da coleta diferenciada, transporte do composto e das embarcações no C1, C2, C3 e C4, levou a um aumento na emissão de outros gases, como o dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), material particulado (MP), hidrocarbonetos, dióxido de enxofre (SO₂) e óxido de nitrogênio (NO_x).

6.3.2 Avaliação de Impactos no Ciclo de Vida (AICV)

A quantificação e análise das contribuições de cada atividade do SGRSU, em termos dos impactos ambientais considerados no estudo, são apresentadas nas tabelas 14, 15, 16 e 17. As categorias de impactos ambientais avaliadas foram: mudanças climáticas, toxicidade humana, acidificação e eutrofização.

Tabela 14 - Etapas e suas contribuições ao impacto ambiental na categoria mudança climática para cada um dos cenários avaliados, por meio do método de caracterização.

Cenário	Transporte ¹	Transporte ²	Aterro ³	Compostagem ⁴	EE -Triagem ⁵	Outros ⁶	Total
----- kg CO ₂ eq. -----							
Cbase	461.000	0	3.786.000	0	7.660	9.240	4.263.900
C1	473.700	260.000	1.958.000	18.800	8.730	5.290	2.724.520
C2	468.800	109.000	2.080.000	18.800	8.110	5.550	2.690.260
C3	464.900	76.800	2.581.000	13.200	7.980	6.660	3.150.540
C4	459.770	38.400	3.184.000	6.590	7.820	7.950	3.704.530

1: Quantidade de emissão de todos os transportes do cenário (coleta regular, coleta diferenciada, transporte composto); 2: Quantidade de emissão no transporte fluvial; 3: Aterro: Considera as emissões da construção e emissões pela disposição de RSU em um aterro sanitário; 4: Compostagem: Emissões pelo processo de compostagem; 5: Emissão do consumo de energia elétrica na triagem, transbordo e iluminação do aterro; 6: Emissão do consumo de diesel da operação do aterro e da termelétrica. **Cbase:** 100% dos resíduos sólidos para aterro. **C1:** 100% de metais (ferrosos e alumínio), PET e 30% de papel para triagem; 100% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C2:** 100% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 100% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C3:** 70% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 70% dos

resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C4**: 35% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 35% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem.

Na Tabela 14 são apresentados os resultados da categoria de impacto “Mudanças Climáticas”, a qual apresentou uma redução em todos os cenários, quando comparados ao Cbase e atingindo 36% (C1), 37% (C2), 26% (C3) e 13% (C4). Esses resultados concordam com Paes *et al.* (2020b), os quais observaram uma redução das emissões de gases de efeitos estufa, com o aumento do percentual de compostagem de resíduos úmidos e triagem dos resíduos secos.

O maior aporte para o impacto global do Cbase se deve as emissões da disposição dos RSU no aterro, com destaque para o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄) que contribuiram com 89% do impacto total. A mesma tendência foi observada nos cenários C1 (72%), no C2 (77%), no C3 (82%) e no C4 (86%). Logo, a inclusão dos processos de tratamento (unidade de compostagem e triagem) e desvio de resíduos do aterro reduziu as emissões atmosféricas CO₂ e CH₄, em relação ao Cbase, apesar de representar o maior aporte do impacto global desses cenários.

Esses resultados são corroborados por outros estudos que mostraram o aterro sanitário como o principal contribuinte para a categoria “Mudanças Climáticas”, em razão da elevada emissão de metano e dióxido de carbono (PAES *et al.*, 2018 e 2020b; RAJCOOMAR e RAMJEAWON, 2017; MERSONI e REICHERT, 2017). Esses autores ainda enfatizaram a importância de separar as frações orgânicas dos RSU e reduzir a disposição e posterior degradação dos resíduos orgânicos em aterro.

Tabela 15 - Etapas e suas contribuições ao impacto ambiental na categoria toxicidade humana para cada um dos cenários, por meio do método de caracterização.

Cenário	Transporte ¹	Transporte ²	Aterro ³	Compostagem ⁴	EE –Triagem ⁵	Outros ⁶	Total
-----kg 1,4 -DB eq. -----							
Cbase	17.800	0	136.800	0	619	1.470	156.689
C1	15.223	8.680	69.500	1.390	705	843	96.341
C2	15.508	3.640	75.300	1.390	655	885	97.378
C3	15.368	2.560	92.300	972	644	1.060	112.904
C4	15.184	1.280	114.600	486	631	1.270	133.451

1: Quantidade de emissão de todos os transportes do cenário (coleta regular, coleta diferenciada, transporte composto); 2: Quantidade de emissão no transporte fluvial; 3: Aterro: Considera as emissões da construção e emissões pela disposição de RSU em um aterro sanitário; 4: Compostagem: Emissões pelo processo de compostagem; 5: Emissão do consumo de energia elétrica na triagem, transbordo e iluminação do aterro; 6: Emissão do consumo de diesel da operação do aterro e da termoeletrica. **Cbase**: 100% dos resíduos sólidos para aterro. **C1**: 100% de metais (ferrosos e alumínio), PET e 30% de papel para triagem; 100% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C2**: 100% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 100% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C3**: 70% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 70% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C4**: 35% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 35% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem.

Na Tabela 15 pode ser visualizada a tendência de redução da magnitude da categoria de impacto “Toxicidade Humana”, para todos os cenários avaliados em relação ao Cbase, chegando a 39%, 38%, 28% e 15% para C1, C2, C3 e C4 respectivamente.

Nesta categoria, observou-se que as emissões decorrentes da disposição de RSU em aterro influenciaram diretamente no resultado global, uma vez que, quanto maior a quantidade de resíduos dispostos no aterro, maior será o impacto ambiental. Desta forma, a redução de resíduos sólidos dispostos em aterro proporcionou uma diminuição das emissões em cerca de 49% (C1), 45% (C2), 32% (C3) e 16% (C4), em comparação com o Cbase.

Tabela 16 - Etapas e suas contribuições ao impacto ambiental na categoria acidificação para cada um dos cenários avaliados, por meio do método de caracterização.

Cenário	Transporte ¹	Transporte ²	Aterro ³	Compostagem ⁴	EE –Triagem ⁵	Outros ⁶	Total
----- kg SO ₂ eq. -----							
Cbase	3.510	0	3.206	0	71,0	85,0	6.872
C1	3.955	1.190	1.605	469	80,8	48,7	7.349
C2	3.811	497	1.756	469	75,1	51,1	6.659
C3	3.739	350	2.144	328	73,9	61,3	6.696
C4	3.634	175	2.670	164	72,4	73,2	6.789

1: Quantidade de emissão de todos os transportes do cenário (coleta regular, coleta diferenciada, transporte composto); 2: Quantidade de emissão no transporte fluvial; 3: Aterro: Considera as emissões da construção e emissões pela disposição de RSU em um aterro sanitário; 4: Compostagem: Emissões pelo processo de compostagem; 5: Emissão do consumo de energia elétrica na triagem, transbordo e iluminação do aterro; 6: Emissão do consumo de diesel da operação do aterro e da termoeletrica. **Cbase:** 100% dos resíduos sólidos para aterro. **C1:** 100% de metais (ferrosos e alumínio), PET e 30% de papel para triagem; 100% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C2:** 100% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 100% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C3:** 70% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 70% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C4:** 35% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 35% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem.

Na Tabela 16, o impacto global referente às etapas do SGRSU para a categoria “Acidificação”, está relacionado a emissões que aumentam o teor de acidez na água e no solo, ocasionando a baixa concentração de íons de hidrogênio e conseqüentemente a acidificação do meio (PAIVA, 2016).

Em relação a esta categoria de impacto, observa-se na Tabela 16 uma redução do impacto global nos cenários C2, C3 e C4 em comparação ao cenário base, atingindo um percentual de 3%, 2% e 1% respectivamente. Em contraste o C1, apresentou um aumento de 7% em relação ao Cbase.

Nesta perspectiva, a atividade mais significativa no impacto global do Cbase foi o transporte com aproximadamente 52% de contribuição, em razão das emissões associadas à

queima de combustíveis fósseis. Neste cenário, observa-se ainda que, embora em menor escala, as emissões do aterro proporcionaram 47% de contribuição do impacto total, em decorrência de todos os resíduos sólidos gerados na mancha urbana serem dispostos no mesmo.

Nota-se que as etapas de coleta e disposição final dos RSU em aterro foram as que mais contribuíram para a emissão de poluentes que causam a acidificação. Vale destacar que a inclusão da coleta diferenciada, transporte do composto e do transporte fluvial nos cenários C1, C2, C3 e C4, levaram a um aumento das substâncias que potencializam a acidificação do meio.

Assim, os cenários C1, C2, C3 e C4 apresentaram um aumento das emissões nas etapas de coleta (transporte e consumo de combustíveis fósseis) de 47%, 27% 17% e 8% respectivamente, em comparação ao Cbase. Portanto, a elevada emissão do transporte nestes cenários em contraste com Cbase, resultou diretamente no aumento do impacto global nesta categoria. Para tanto, com a diminuição de resíduos sólidos dispostos no aterro e maior quantidade encaminhada para triagem e compostagem, resultou em baixas emissões de substâncias gasosas com potencial de acidificação no aterro, para todos os cenários avaliados em relação ao Cbase, atingindo 50%, 45%, 33% e 17% para C1, C2, C3 e C4 respectivamente.

Tabela 17 - Etapas e suas contribuições ao impacto ambiental na categoria eutrofização para cada um dos cenários avaliados, por meio do método de caracterização.

Cenário	Transporte ¹	Transporte ²	Aterro ³	Compostagem ⁴	EE –Triagem ⁵	Outros ⁶	Total
----- kg PO ₄ eq. -----							
Cbase	12,8	0	78,9	0	0,15	1,1	93,0
C1	10,1	5,5	40,1	0,33	0,17	0,63	57,0
C2	10,3	2,3	43,5	0,33	0,16	0,66	57,0
C3	10,2	1,62	53,2	0,23	0,15	0,79	66,0
C4	10,1	0,81	66	0,12	0,15	0,95	78,0

1: Quantidade de emissão de todos os transportes do cenário (coleta regular, coleta diferenciada, transporte composto); 2: Quantidade de emissão no transporte fluvial; 3: Aterro: Considera as emissões da construção e emissões pela disposição de RSU em um aterro sanitário; 4: Compostagem: Emissões pelo processo de compostagem; 5: Emissão do consumo de energia elétrica na triagem, transbordo e iluminação do aterro; 6: Emissão do consumo de diesel da operação do aterro e da termoeletrônica. **Cbase:** 100% dos resíduos sólidos para aterro. **C1:** 100% de metais (ferrosos e alumínio), PET e 30% de papel para triagem; 100% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C2:** 100% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 100% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C3:** 70% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 70% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C4:** 35% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 35% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem.

Os resultados da categoria de impacto “Eutrofização” são apresentados na Tabela 17. Esta categoria refere-se ao aumento gradativo de cargas de nutrientes na água ou no solo, principalmente nitrogênio e fósforo, bem como substâncias orgânicas que podem diminuir a

concentração de oxigênio dissolvido durante a mineralização, as quais são provocados principalmente pela disposição de rejeitos e geração de chorume e, podendo ocasionar a perda de vida aquática nos corpos d'águas receptores (PAIVA, 2016).

Nesta categoria, nota-se a redução do impacto global em todos os cenários, quando comparados ao Cbase. Tais reduções alcançaram 39% (cenários C1 e C2), 29% (C3) e 16% (C4), quando comparados ao Cbase. O que mais contribuiu para esses resultados foi à redução das emissões na disposição dos RSU no aterro em todos os cenários, quando comparados Cbase, alcançando 49%, 45%, 32% e 16% para os cenários C1, C2, C3 e C4 respectivamente. Além disso, com a disposição de 100% dos resíduos orgânicos no aterro, conseqüentemente, maiores foram às emissões de fosfato e fósforo durante o processo de degradação da matéria orgânica no Cbase.

Portanto, as emissões do aterro no Cbase representaram cerca de 85% de contribuição do impacto total nesta categoria. Este resultado foi corroborado pelos estudos de Rajcoomar e Ramjeawon (2017); Sharma e Chandel (2017); Mersoni e Reichert (2017) os quais relataram que as emissões oriundas da decomposição da massa de resíduos em aterro sanitário representavam o principal aporte na categoria eutrofização, equivalente a quase 90% do impacto total, em decorrência da geração de lixiviado e gases.

Os resultados gerais da ACV demonstraram melhor desempenho ambiental nos cenários que encaminhavam os resíduos secos (metais, PET e papel/papelão) por modal hidroviário para Manaus, bem como o tratamento dos resíduos úmidos pela compostagem, desviando do aterro, enquanto os maiores impactos ambientais foram observados no Cbase, correspondente a disposição de todo o RSU gerado no aterro sanitário.

Essas ações permitiram observar no C2, C3 e C4 a redução dos impactos ambientais totais em até 39% para todas as categorias avaliadas (mudanças climáticas, toxicidade humana, acidificação e eutrofização).

Por outro lado, C1 que direcionou o aproveitamento de todos os resíduos úmidos gerados na área urbana de Humaitá, pelo processo de compostagem, e dos resíduos secos (papel, PET e metais), separados e posteriormente enviados a Manaus, por modal hidroviário, revelou a redução dos impactos de até 39% nas categorias mudanças climáticas, toxicidade humana e eutrofização, com exceção da acidificação que teve um aumento de 7% nos seus impactos, a qual se justifica pelo aumento da importância relativa do transporte neste cenário e, conseqüentemente, maior emissão pelo consumo de combustíveis fósseis.

As etapas que mais contribuíram para reduzir os impactos ambientais foram à diminuição da massa de resíduos orgânicos dispostos no aterro e o seu tratamento pela

compostagem. Embora a disposição de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário contribuiu significativamente para o aumento dos impactos ambientais. Nesse contexto, Paes *et al.* (2020b) indicaram que os aterros sanitários continuam sendo uma alternativa extremamente relevante para a gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil, especialmente em municípios com populações menores, como por exemplo, Humaitá.

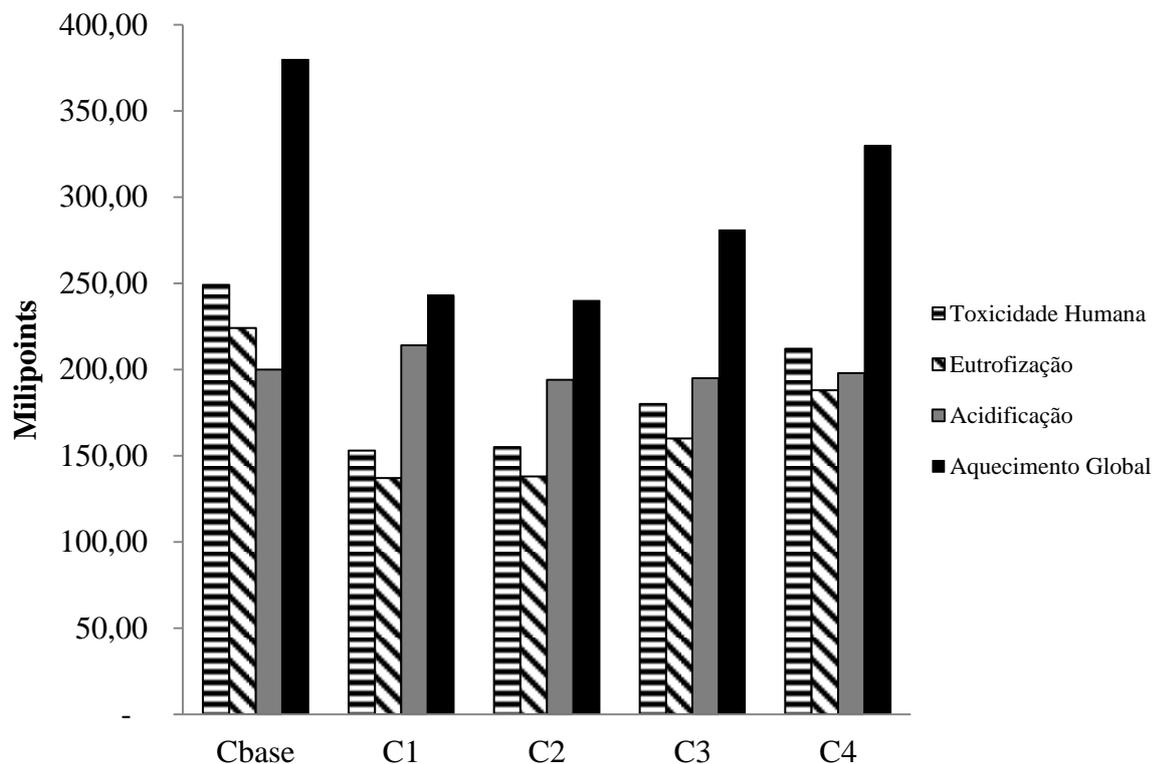
Portanto, salienta-se que a efetividade de alternativas que desviem os RSU do aterro promove uma gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos. Essa tendência de otimização da gestão dos RSU, por meio da combinação de duas ou mais opções de tratamento ou disposição, foi relatada na China (LIU *et al.*, 2017), em países asiáticos (YADAV e SAMMADER, 2018), no Peru (GILARDINO *et al.*, 2017), no Irã (OMID *et al.*, 2017), na Itália (RIPA *et al.*, 2017) e, no Brasil (LIIKANEN *et al.*, 2018).

6.3.3 Método de Normalização

Na Figura 17 são apresentadas de maneira integrada as contribuições de cada categoria de impacto para todos os cenários avaliados, por meio do indicador único de desempenho (normalização) para o SGRSU do município de Humaitá, AM.

Os resultados da Figura 17 permitiram constatar que o desempenho ambiental do SGRSU do município de Humaitá melhorou com a introdução de tecnologias de gestão dos RSU associadas à disposição em aterro sanitário e a logística fluvial. Na Figura 17 o cenário Cbase atingiu a maior pontuação total (1.053 milipoints), enquanto os demais cenários reduziram seus impactos totais em 29% (C1), 31% (C2), 22% (C3) e 12% (C4).

Figura 17 - Impactos totais e as contribuições – por meio da pontuação única (A) de cada categoria de impacto para todos os cenários.



Cbase: 100% dos resíduos sólidos para aterro. **C1:** 100% de metais (ferrosos e alumínio), PET e 30% de papel para triagem; 100% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C2:** 100% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 100% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C3:** 70% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 70% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C4:** 35% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 35% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem.

Os resultados indicaram que a mudança climática foi a principal categoria de impacto representando, 36% (cenário Cbase), 32% (C1), 33% (C2), 34% (C3) e 35% (C4) dos impactos ambientais. Em torno de 71% desse total foi causado pelas emissões de metano (CH_4) do aterro sanitário. A predominância das emissões nesta categoria apresenta resultados similares aqueles relatados por outros autores no Brasil (PAES *et al.*, 2018; MERSONI e REICHERT, 2017).

A segunda categoria de impacto, em importância relativa, foi a acidificação representando 19%, 28%, 26%, 24% e 21% da contribuição total das atividades impactantes nos cenários Cbase, C1, C2, C3 e C4 respectivamente. Para essa categoria de impacto, as emissões da disposição de resíduos sólidos, do consumo de diesel e energia na operação do aterro e do consumo de energia na triagem corresponderam a 49% no Cbase e 24%, 28%, 34% e 42% para os cenários C1, C2, C3 e C4.

Nota-se na categoria acidificação, elevadas emissões da coleta e transporte dos resíduos sólidos urbanos, contribuindo com 51% (Cbase), 70% (C1), 65% (C2), 61% (C3) e 56% (C4) no impacto total. Observa-se, também, que as emissões da compostagem dos resíduos e do consumo de energia nesse processo, contribuíram com 6% (C1), 7% (C2), 5% (C3) e 2% (C4) no impacto global da categoria acidificação.

A terceira categoria, em ordem de importância, foi a toxicidade humana, a qual representou 24% (Cbase), 20% (C1), 21% (C2), 22% (C3) e 23% (C4) do impacto total do sistema. Para tanto, esta categoria está relacionada às substâncias tóxicas liberadas para o meio ambiente que podem afetar os seres humano.

As contribuições mais altas nessa categoria vieram das emissões de elementos traços no aterro, como por exemplo, arsênio, manganês, chumbo, mercúrio, cádmio e outros, cujas contribuições corresponderam a 88%, 71%, 77%, 81% e 86% do total nos cenários Cbase, C1, C2, C3 e C4 respectivamente. Os resultados estão de acordo com outros estudos da literatura que mostraram que os principais encargos ambientais na toxicidade humana, são os elementos traços (YAY, 2015; SHARMA e CHANDEL, 2017).

A categoria com a menor importância relativa foi a eutrofização com cerca de 21% no cenário Cbase, no C1 (18%), no C2 e C3 (19%) e C4 (20%) do total de impactos em todos os cenários.

Nesta categoria as atividades que mais contribuíram para os impactos totais, foram às emissões da disposição dos resíduos sólidos urbanos, o consumo de diesel e energia na operação do aterro e o consumo de energia na triagem, atingindo 86%, 72%, 77%, 81% e 86% nos cenários Cbase, C1, C2, C3 e C4 respectivamente. Observa-se, que, em menor proporção, a contribuição das emissões da coleta e transporte dos resíduos, alcançando 14% (Cbase), 27% (C1), 22% (C2), 18% (C3) e 14% (C4).

6.3.4 Avaliação Econômica

Na avaliação econômica, em todos os cenários, consideraram-se os custos de investimentos e operacionais para as etapas de coleta, triagem, transporte, tratamento, construção e disposição no aterro sanitário. Os valores foram obtidos em fontes como no diagnóstico dos RSU (BRASIL, 2012) e na análise de diversas tecnologias de tratamento e disposição final de RSU (FADE, 2014).

Os custos operacionais e de investimentos (transporte, triagem, tratamento, disposição final), foram expressos em dólares por tonelada de RSU, e os custos em dólar por unidades de

energia (kWh/t.RSU) e água (m³/t.RSU). Neste viés, o custo total para sociedade deu-se pela soma dos custos operacionais e de investimentos.

Como já observado nos tópicos anteriores, a produção de RSU da população urbana no município de Humaitá, para o ano de 2017, foi de aproximadamente 5.412 t/ano. Neste contexto, se calculou a taxa de crescimento populacional da mancha urbana por meio do censo no ano de 2000 e 2010 do IBGE, o que possibilitou estimar a população total atendida pelo serviço de coleta de RSU e a geração anual de resíduos por 20 anos (2017-2036), tempo de vida útil do aterro sanitário (Tabela 18).

Tabela 18 - Projeção do crescimento populacional, da geração de resíduos sólidos urbanos a serem dispostos no aterro sanitário em consonância com os cenários propostos.

Ano	População Total	População Urbana	Resíduos Sólidos Urbanos				
			Cbase ^a	C1 ^b	C2 ^c	C3 ^d	C4 ^e
			t/dia				
2017	53.803	37.124	14,85	7,72	8,17	10,17	12,47
2018	54.000	37.260	14,90	7,75	8,19	10,21	12,52
2019	55.080	38.005	15,20	7,90	8,36	10,41	12,77
2020	56.203	38.780	15,51	8,06	8,53	10,62	13,03
2021	57.339	39.564	15,83	8,23	8,70	10,84	13,29
2022	58.498	40.363	16,14	8,39	8,88	11,06	13,56
2023	59.679	41.179	16,47	8,56	9,06	11,28	13,84
2024	60.885	42.011	16,80	8,74	9,24	11,51	14,11
2025	62.115	42.859	17,14	8,91	9,43	11,74	14,40
2026	63.370	43.725	17,49	9,10	9,62	11,98	14,69
2027	64.650	44.608	17,84	9,28	9,81	12,22	14,99
2028	65.956	45.509	18,20	9,46	10,01	12,47	15,29
2029	67.288	46.429	18,57	9,66	10,21	12,72	15,60
2030	68.647	47.367	18,95	9,85	10,42	12,98	15,91
2031	70.034	48.324	19,33	10,05	10,63	13,24	16,23
2032	71.449	49.300	19,72	10,25	10,84	13,51	16,56
2033	72.892	50.296	20,12	10,46	11,06	13,78	16,90
2034	74.365	51.312	20,52	10,67	11,29	14,06	17,24
2035	75.867	52.348	20,94	10,88	11,51	14,34	17,59
2036	77.399	53.405	21,36	11,11	11,75	14,63	17,94

a: Expressa a disposição de 100% dos resíduos sólidos gerados na mancha urbana, ocasionando a saturação do aterro em 16 anos. b: Expressa a disposição de 52% dos resíduos gerados, possibilitando o aumento da vida útil do aterro para 28 anos; c: Corresponde à disposição de 55% dos resíduos sólidos gerados, aumentando a vida útil do aterro para 27 anos. d: Expressa a disposição de 68% dos resíduos gerados, possibilitando o aumento da vida útil do aterro para 24 anos; e: Corresponde à disposição de 84% dos resíduos em aterro, proporcionando a saturação do aterro em 20 anos.

No ano de 2017 a gestão dos RSU no município de Humaitá custou US\$ 919.458,00, ressaltando que o processo só englobava a disposição e transporte dos resíduos sólidos urbanos em um lixão a céu aberto.

Por esse motivo, o cenário base considerou o investimento da construção de um aterro sanitário de pequeno porte com capacidade volumétrica de 6.500 m³/ano para recebimento de todos os resíduos gerados na mancha urbana do município, perfazendo um volume de 130.000 m³ na vida útil do aterro. Neste cenário, há continuação da terceirização sob-responsabilidade de empresas contratadas para os serviços de coleta, transporte e disposição dos RSU (Tabela 19).

Tabela 19 - Custos anuais operacionais e de investimentos do SGRSU para o cenário base.

Custos (SGRSU)	Cbase
Custos Operacionais	
	US\$/ano
Energia	1.604,96
Água	0,00
Coleta Regular	107.469,31
Coleta Diferenciada	0,00
Transporte fluvial até Manaus	0,00
Diesel	91.330,35
Triagem	0,00
Disposição em Aterro	69.140,02
Galpão de Triagem - equipamentos	0,00
Compostagem - tratamento	0,00
Subtotal	269.544,64
Custos de Investimentos	
Construção de um aterro*	56.962,03
Galpão de Triagem - construção	0,00
Planta de Compostagem	0,00
Subtotal	56.962,03
Total custo SGRSU	326.506,67

* O custo de investimento da construção do aterro foi US\$ 949.367,08. Contudo, calculou-se o investimento amortizado anualmente (1,2 x 949.367,08) durante a vida útil do aterro (20 anos). **Cbase:** 100% dos resíduos sólidos para aterro.

Nota-se nos resultados da Tabela 19 que os custos operacionais representam aproximadamente 82% do gasto total anual, destacando-se o transporte e o consumo de diesel que corresponde a 74% do custo operacional.

Nos cenários C1, C2, C3 e C4 estão contemplados o custo da construção de um galpão de triagem para os resíduos secos e de equipamentos, instalação e manutenção. Portanto, baseado na literatura se verificou que para um centro de armazenagem e triagem de resíduos, necessita-se de um galpão de com 300 m² de área, considerando-se uma geração diária de 1 t de material reciclável (MARTINS *et al.*, 2016; FERRI *et al.*, 2015). Assim, se faz necessário a cessão de um lote pela prefeitura com uma área de 800 m² para viabilizar a construção de um galpão com estrutura de concreto pré-moldado de 300 m² (10x30 m), com instalação

elétrica e hidráulica, e outras. Nesse galpão seriam necessárias duas prensas e duas balanças (Tabela 20).

Tabela 20 – Materiais e custos para construção de um galpão de triagem.

Descrição	Quantidade	Valor Total
		US\$
Construção de Alvenaria*	300 m ²	50.632,91
Prensa	02 Unidade	50.632,91
Balança	02 Unidade	3.164,55
Manutenção	-	37.974,68
Total**		142.405,05

* O custo de investimento da construção de alvenaria, baseou-se em análise de um profissional de engenharia civil do município de Humaitá. **O custo total corresponde a uma projeção de 20 anos de vida útil do galpão.

Verifica-se na Tabela 21 que os custos operacionais representam aproximadamente 92% do gasto total anual. Nesta conjuntura, o transporte e o consumo de diesel, processo de compostagem e disposição dos RSU no aterro corresponderam a 65%, 19% 9% do custo operacional, respectivamente. Em contraste, os custos de investimentos equivaleram a 8% do custo total anual.

Tabela 21 - Custos anuais operacionais e de investimentos do SGRSU para o C1.

Custos (SGRSU)	C1
Custos Operacionais	
	US\$/ano
Energia	5.432,79
Água	4.738,92
Coleta Regular	101.611,31
Coleta Diferenciada	47.375,22
Transporte fluvial até Manaus	8.113,57
Diesel	94.619,43
Triagem	13.923,64
Disposição em Aterro	35.860,31
Galpão de Triagem – equipamentos*	4.588,60
Compostagem - tratamento	73.101,26
Subtotal	389.365,05
Custos de Investimentos	
Construção de um aterro**	29.430,38
Galpão de Triagem – construção***	2.531,64
Planta de Compostagem****	1.582,28
Subtotal	33.544,30
Total custo SGRSU	422.909,35

* O custo de equipamentos e manutenção do galpão de triagem foi de US\$ 91.772,16. **O custo de investimento da construção do aterro foi US\$ 949.367,08. Contudo, calculou-se o investimento amortizado anualmente (0,62 x 949.367,08) durante a vida útil do aterro (20 anos). *** O custo da construção de um galpão de triagem correspondeu a US\$ 50.632,92. ****O custo da construção de uma planta de compostagem foi de US\$ 31.645,57. C1: 100% de metais (ferrosos e alumínio), PET e 30% de papel para triagem; 100% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem.

A Tabela 22 apresenta os custos operacionais e de investimento para o cenário C2. Neste cenário, os custos operacionais correspondem aproximadamente 91% do gasto total anual, destacando-se o transporte/consumo de diesel e do tratamento de resíduos úmidos no processo de compostagem que corresponde a 62% e 21% do custo operacional, respectivamente. Ademais, os custos de investimentos representaram 9% do custo total anual, em virtude da construção de um galpão de triagem, construção de aterro sanitário e de usina de compostagem serem amortizados em 20 anos.

Tabela 22 - Custos anuais operacionais e de investimentos do SGRSU para o C2.

Custos (SGRSU)	C2
Custos Operacionais	
	US\$/ano
Energia	5.320,84
Água	4.427,21
Coleta Regular	105.006,96
Coleta Diferenciada	8.418,92
Transporte fluvial até Manaus	3.397,40
Diesel	93.982,59
Triagem	5.830,26
Disposição em Aterro	38.044,89
Galpão de Triagem – equipamentos*	4.588,60
Compostagem - tratamento	73.101,26
Subtotal	342.118,93
Custos de Investimentos	
Construção de um aterro**	31.329,11
Galpão de Triagem – construção***	2.531,64
Planta de Compostagem****	1.582,28
Subtotal	35.443,03
Total custo SGRSU	377.561,96

* O custo de equipamentos e manutenção do galpão de triagem foi de US\$ 91.772,16. **O custo de investimento da construção do aterro foi US\$ 949.367,08. Contudo, calculou-se o investimento amortizado anualmente ($0,66 \times 949.367,08$) durante a vida útil do aterro (20 anos). *** O custo da construção de um galpão de triagem correspondeu a US\$ 50.632,92. ****O custo da construção de uma planta de compostagem foi de US\$ 31.645,57. **C2**: 100% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 100% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem.

Verifica-se na Tabela 23 que os custos operacionais representam aproximadamente 88% do gasto total anual. Nesta perspectiva, o transporte e o consumo de diesel, processo de compostagem e disposição dos RSU no aterro corresponderam a 65%, 16% 14% do custo operacional, respectivamente. Em contrapartida, os custos de investimentos equivaleram a 12% do custo total anual.

Tabela 23 - Custos anuais operacionais e de investimentos do SGRSU para o C3.

Custos (SGRSU)	C3
Custos Operacionais	
	US\$/ano
Energia	4.192,29
Água	3.098,10
Coleta Regular	105.741,69
Coleta Diferenciada	5.935,55
Transporte fluvial até Manaus	2.395,25
Diesel	96.580,54
Triagem	4.110,47
Disposição em Aterro	47.383,65
Galpão de Triagem – equipamentos*	4.588,60
Compostagem - tratamento	51.139,24
Subtotal	325.165,38
Custos de Investimentos	
Construção de um aterro**	37.974,68
Galpão de Triagem – construção***	2.531,64
Planta de Compostagem****	1.582,28
Subtotal	42.088,60
Total custo SGRSU	367.253,98

* O custo de equipamentos e manutenção do galpão de triagem foi de US\$ 91.772,16. **O custo de investimento da construção do aterro foi US\$ 949.367,08. Contudo, calculou-se o investimento amortizado anualmente (0,8 x 949.367,08) durante a vida útil do aterro (20 anos). *** O custo da construção de um galpão de triagem correspondeu a US\$ 50.632,92. ****O custo da construção de uma planta de compostagem foi de US\$ 31.645,57. **C3:** 70% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 70% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem.

A tabela 24 apresenta os custos operacionais e de investimento para o cenário C4. Neste cenário, os custos operacionais equivalem aproximadamente 85% do gasto total anual, com ênfase para o processo de transporte/consumo que corresponderam a 69% do custo operacional. Os custos de investimentos foram de 15% do valor total anual.

Tabela 24 - Custos anuais operacionais e de investimentos do SGRSU para o C4.

Custos (SGRSU)	C4
Custos Operacionais	
	US\$/ano
Energia	2.898,51
Água	1.549,05
Coleta Regular	106.595,57
Coleta Diferenciada	2.967,77
Transporte fluvial até Manaus	1.197,62
Diesel	100.043,12
Triagem	2.055,24
Disposição em Aterro	58.255,44
Galpão de Triagem – equipamentos*	4.588,60
Compostagem - tratamento	25.569,62
Subtotal	305.720,54
Custos de Investimentos	
Construção de um aterro**	47.468,35
Galpão de Triagem – construção***	2.531,64
Planta de Compostagem****	1.582,28
Subtotal	51.582,27
Total custo SGRSU	357.302,81

* O custo de equipamentos e manutenção do galpão de triagem foi de US\$ 91.772,16. **O custo de investimento da construção do aterro foi US\$ 949.367,08. Contudo, calculou-se o investimento amortizado anualmente (1 x 949.367,08) durante a vida útil do aterro (20 anos). *** O custo da construção de um galpão de triagem correspondeu a US\$ 50.632,92. ****O custo da construção de uma planta de compostagem foi de US\$ 31.645,57. **C4**: 35% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 35% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem.

Observa-se nas tabelas 19, 21, 22, 23 e 24, que os custos para cada cenário proposto corresponderiam a 326 (Cbase); 422 (C1); 377 (C2); 367 (C3) e 357 (C4) mil dólares ao ano. Neste contexto, os custos operacionais e de investimento anuais aumentariam, quando comparados ao (Cbase), em aproximadamente 30% (C1), 16% (C2), 13% (C3) e 10% (C4). Esses aumentos se justificam pela inclusão da coleta diferenciada, transporte do composto, transporte fluvial até Manaus, equipamentos para triagem de resíduos e pelo tratamento dos resíduos úmidos. Contudo, os custos de investimentos implicariam em aproximadamente 1,12% da receita anual total do município de Humaitá, a qual corresponde a US\$ 33 milhões em 2017.

Vale destacar que além dos custos operacionais e de investimentos, é possível apontar na tabela 25 que as alternativas de triagem, tratamento e disposição dos RSU nos C1, C2, C3 e C4 proporcionariam potenciais benefícios econômicos anuais para o município.

Conforme a Tabela 25 é possível observar os ganhos econômicos através da triagem e reciclagem. Assim, o cenário C1 se destaca por promover uma receita anual de venda para o município de US\$ 64 mil no ano de 2017. Desta maneira, considerando o salário mínimo de US\$ 296,51 para o ano de 2017 no Brasil e desconsiderando o dispêndio de investimento e

operacional, movimentaria a economia local, reduziria a quantidade de resíduos para o aterro e principalmente poderia oportunizar emprego para até 18 chefes de famílias. Ademais, a iniciativa da construção de um galpão de triagem permitiria aos catadores uma melhoria em seu modo organizacional, aperfeiçoamento da comercialização dos materiais, negociação direta junto à indústria, o que proporciona um aumento da lucratividade (MARTINS *et al.*, 2016).

Tabela 25 - Receita anual com a implantação dos cenários.

Cenários	Triagem				Receita Anual US\$
	Papel/papelão	Metais Ferrosos t.ano ⁻¹	Alumínio	PET	
base	0	0	0	0	0
01	171	38	20	65	64.164,55
02	0	38	20	65	47.930,38
03	0	27	14	46	33.715,19
04	0	13	7	23	16.791,14

6.4 Análise de Ecoeficiência

Na Figura 18, quando se correlacionam os impactos ambientais (milipoint) com os custos operacionais e de investimentos em cada cenário, tem-se uma tendência de melhora na transição da ecoeficiência de Cbase para todos os cenários avaliados.

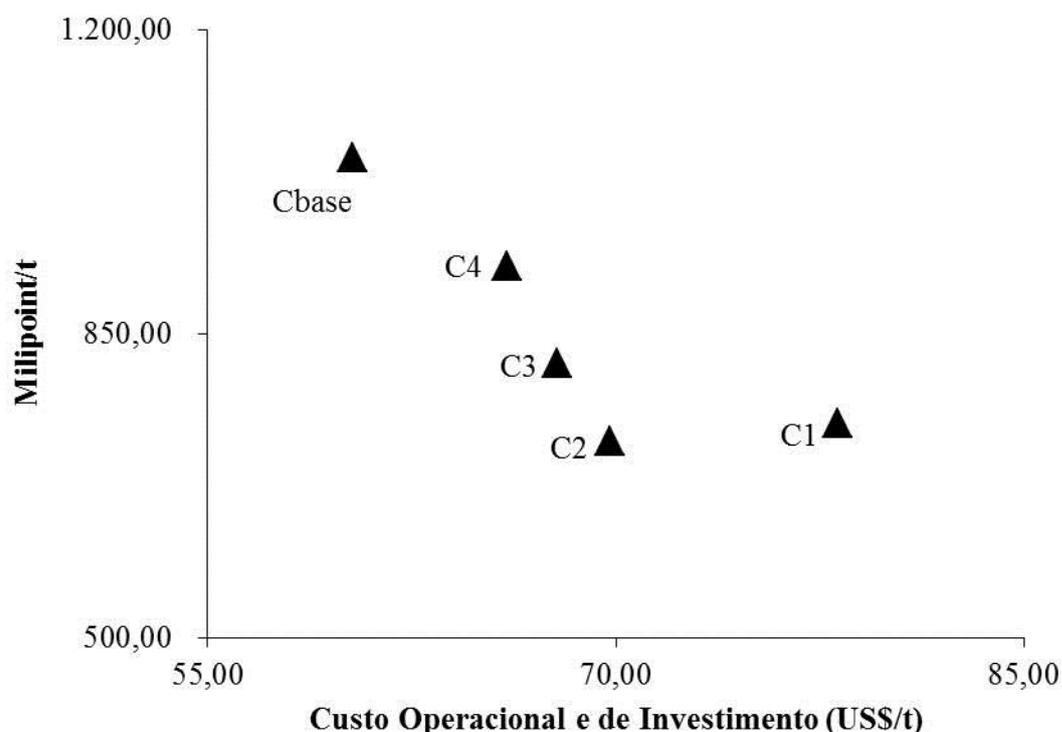
Portanto, quando se compara com o cenário base, constata-se que seria necessário aumentar o investimento em US\$ 17,81 (C1), US\$ 9,43 (C2), US\$ 7,53 (C3) e US\$ 5,59 (C4) por tonelada de RSU. Com esse investimento, os referidos cenários apresentariam uma redução potencial dos impactos ambientais de 306 milipoint ou 29% (C1), 326 milipoint ou 31% (C2), 237 milipoint ou 22% (C3) e 125 milipoint ou 12% (C4) por tonelada de RSU. Esses valores corresponderiam a uma transição de ecoeficiência de (-) 17,18 milioint.US\$⁻¹ (C1), (-) 34,57 milipoint.US\$⁻¹ (C2), (-) 31,47 milipoint.US\$⁻¹ (C3) e (-) 22,36 milipoint.US\$⁻¹ (C4).

Portanto, a melhor transição de ecoeficiência seria de Cbase para C2, enquanto a pior corresponderia de Cbase para C1. Todavia, o cenário C4 pode ser o precursor para se chegar no C3, e este pode ser uma etapa para se atingir o C2. Estes resultados corroboram com as políticas públicas e diretivas estabelecidas nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, quanto à potencialização de tecnologias de tratamentos, como as práticas de compostagem e reciclagem (PAES *et al.*, 2020a).

Nesta conjuntura, o poder público municipal poderia elaborar políticas para se atingir os cenários na seguinte ordem: C4, C3 e C2. Exclui-se, nesse momento o cenário C1 pela

menor transição de ecoeficiência, apesar da importância no desvio do papel do aterro sanitário.

Figura 18 - Ecoeficiência em termos de custos operacionais e de investimentos referentes aos impactos ambientais.



Cbase: 100% dos resíduos sólidos para aterro. **C1:** 100% de metais (ferrosos e alumínio), PET e 30% de papel para triagem; 100% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C2:** 100% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 100% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C3:** 70% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 70% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem. **C4:** 35% de metais (ferrosos e alumínio) e PET para triagem; 35% dos resíduos úmidos orgânicos para compostagem.

Na literatura científica se observou resultados similares, como os estudos de Yang *et al.* (2015) que indicaram melhor ecoeficiência com o aumento da taxa de separação e tratamento de RSU em Beijing, China. Paes *et al.* (2020a) evidenciou melhoria na transição de ecoeficiência em cenários que visavam um sistema de transporte eficiente, combinação de maiores metas de reciclagem e compostagem, o qual reduziu os impactos em até 33,7 pontos por dólar investido na cidade de Sorocaba, Brasil.

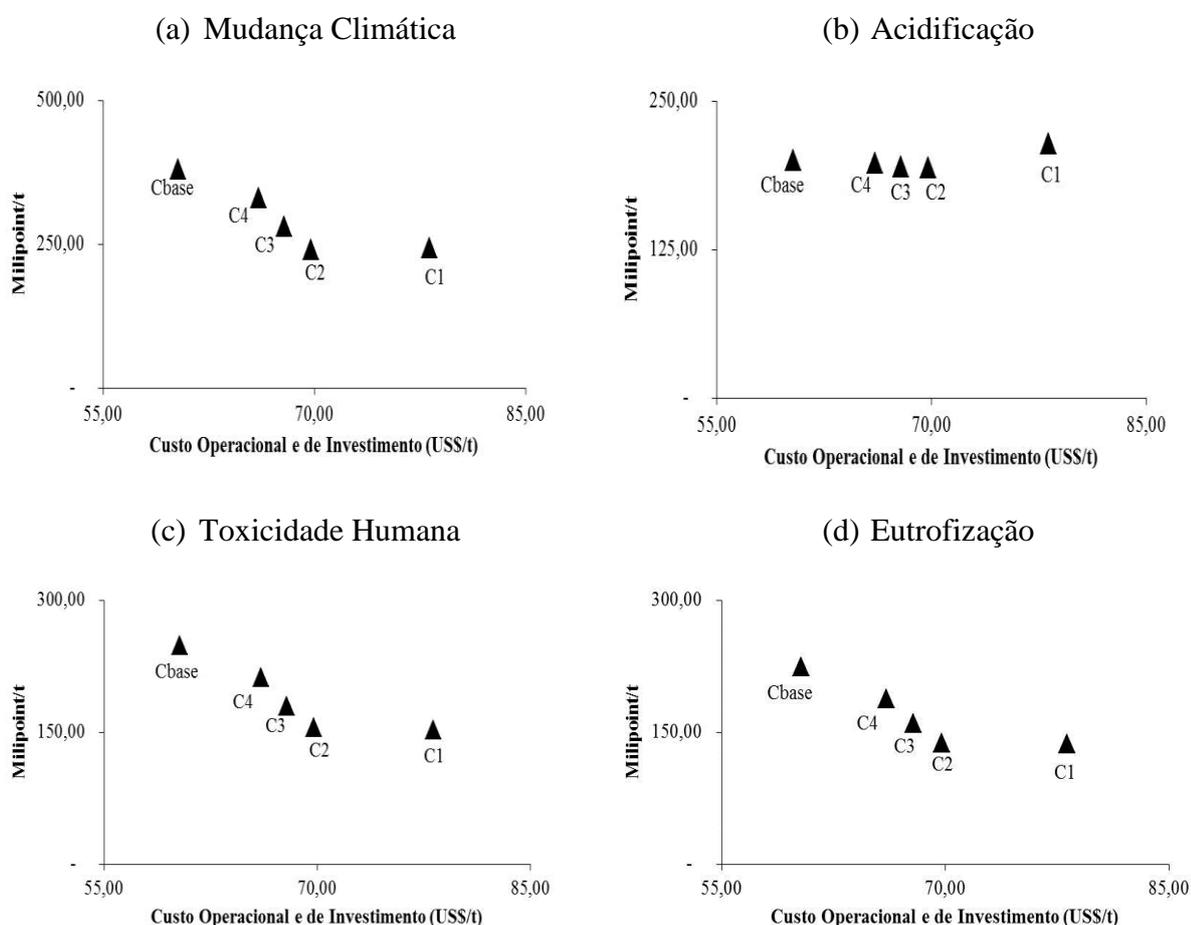
Por outro lado, quando se considerou apenas a operação e investimento em aterro sanitário (Cbase), foi possível verificar menor custo operacional e de investimento, e maior impacto por tonelada de resíduos. Neste contexto, Paes *et al.* (2020a) destacam que essa

alternativa por ser mais barata é adotada na maioria dos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil.

Quando se analisou a ecoeficiência por categoria de impacto (Figura 19). Verifica-se uma redução dos impactos ambientais em todas as categorias avaliadas, confirmando com os resultados da figura 18, mostrando-se a melhor tendência de transição de ecoeficiência de Cbase para C2.

A figura 19a seguiu a mesma hierarquização dos estudos de Paes *et al.* (2020b). Em seus estudos indicaram uma melhor ecoeficiência para o Brasil e municípios como São Paulo e Sorocaba, cenários de gestão de resíduos sólidos urbanos que potencializava a compostagem e reciclagem em 70% e os demais resíduos sendo aterrado em aterro sanitário. Para tanto, os mesmos autores enfatizaram que em municípios menores, como o de Humaitá, apresentou melhoria na transição de ecoeficiência, em cenários que fomentava 42% de compostagem, 41% de reciclagem e os demais resíduos dispostos em aterro sanitário.

Figura 19 - Ecoeficiência em termos de custos operacionais e de investimentos referentes aos impactos ambientais nas categorias avaliadas.



6.5 Diretrizes e ações para elaboração de Políticas Públicas de Gestão de RSU

Os resultados da análise de conjuntura, do Inventário do Ciclo de Vida (ICV), da Avaliação de Impactos no Ciclo de Vida (AICV), da avaliação econômica e da transição de ecoeficiência, permitiram observar que há uma relação direta para melhoria de transição de ecoeficiência no C1, C2, C3 e C4. Todavia, se faz necessário melhorar a gestão dos custos operacionais, bem como potencializar o investimento financeiro. Nesse contexto, os investimentos em tecnologias de tratamento (triagem, reciclagem e compostagem) proporcionariam reduções significativas de impactos ambientais no SGRSU.

Nessa conjuntura, foram elencadas diretrizes e ações de melhorias para a transição de ecoeficiência no Sistema de Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos da sub-região da Amazônia Ocidental, a saber:

a) A cidade de Humaitá apresenta uma baixa geração de materiais recicláveis e uma ausência de indústria de reciclagem regional para absorver tais resíduos, sendo os mesmos dispostos em aterro controlado municipal. A única iniciativa de desvio de resíduos do aterro controlado municipal é realizada por sucateiros, os quais encaminham os materiais recicláveis de maior valor para o estado de São Paulo, por meio de transporte rodoviário, a uma distância de aproximadamente 3.000 quilômetros.

Em vista disto, não foram propostos cenários que envolvessem tanto disposição em lixão (cenário atual) como o envio de material para São Paulo, pelos desdobramentos ambientais e econômicos. No contexto ambiental, o transporte rodoviário elevaria consideravelmente as emissões de gases de efeito estufa. Na abrangência econômica, o custo do transporte rodoviário por veículos de grande porte é de US\$ 126,58/t, enquanto o custo do transporte hidroviário é US\$ 27,53/t. Além disso, os cenários propostos potencializam o desenvolvimento da economia circular e nichos de negócio relacionados a reciclagem na Amazônia Ocidental.

b) Ampliar e melhorar a eficiência do sistema de coleta regular e diferenciada nos cenários C1, C2, C3 e C4, em decorrência do alto custo de investimento, do aumento de consumo de combustíveis fósseis e das emissões por toneladas de resíduos transportadas.

c) Os resultados apresentados nos cenários C1, C2, C3 e C4 direcionam para a viabilidade de implantação de técnicas de tratamento. Deste modo, propõe-se realizar estudos visando à implantação do reaproveitamento e tratamento dos RSU, fixação de taxas pela coleta, disposição e tratamento dos RSU, com o objetivo de aumentar a receita municipal, conscientizar a população a respeito do manejo de resíduos.

d) Construção de aterro sanitário de pequeno porte – sistema simplificado, definido para dispor até 20 t/dia de resíduos sólidos (ABNT NBR 158494/2010), porém, na região Amazônica boa parte do ano apresenta alta pluviosidade, o que pode dificultar e proporcionar problemas operacionais.

e) Planejar uma gestão descentralizada dos resíduos sólidos para a população indígena, assentamentos rurais, e de todas as comunidades fora da mancha urbana do município, no que tange os resíduos orgânicos, e até mesmo os resíduos secos.

f) Apoio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, com ações/programas de educação ambiental, capacitação de comunitários no uso de compostagem caseira, em razão das populações locais usarem esse insumo na agricultura urbana e periurbana.

g) Parcerias do poder público municipal com os catadores, com a disponibilização de galpões estruturados para a triagem e aproveitamento de todos os resíduos secos (metais, PET, plásticos, papel, papelão, vidro, embalagem de longa vida), o que proporcionaria maiores rendimentos econômicos para os catadores. Além da diminuição de disposição desses resíduos ao aterro sanitário, o que aumentaria a vida útil do mesmo.

h) Parcerias do poder público para subsidiar a instalação de composteiras, e engajamento dos agricultores para que os mesmos absorvam o composto gerado.

i) Realizar parcerias com os municípios da calha do rio madeira (Manicoré, Novo Aripuanã, Borba e Nova Olinda), visando estabelecer uma rota do material reciclável via transporte fluvial até a cidade de Manaus, onde se encontram as empresas recicladoras, com potencial de absorver os respectivos resíduos, possibilitando, que os municípios mais isolados consigam superar a logística via hidrovia, bem como viabilizar cooperativas e associações com resultados satisfatórios.

j) O modal fluvial prevalece na região Amazônica. Logo, a operacionalidade do porto fluvial no município de Humaitá fortalecerá seu caráter de centro logístico na calha do Rio Madeira, bem como irá impulsionar a logística de materiais recicláveis dessa região para Manaus.

k) O menor valor comercial dos materiais recicláveis papel e papelão, quando comparado a metais ferrosos, alumínio e PET, associado ao impacto de seu transporte para Manaus, poderia potencializar a construção de uma usina de reciclagem no município. Assim, o investimento estimado para montar uma empresa de reciclagem de papel é de aproximadamente US\$ 39.556,96, um valor 41% menor em relação ao capital investido em indústria recicladora de plástico.

Desta forma, recomendam-se políticas públicas municipais para viabilizar a implantação de uma indústria de reciclagem de papel no município de Humaitá, o que iria oportunizar a destinação adequada dos resíduos de papel, aumentar o tempo de vida do aterro sanitário, promover a economia circular no município e região.

7 CONCLUSÕES

Os cenários demonstraram que as principais rotas tecnológicas de gestão dos resíduos na sub-região da Amazônia Ocidental, seriam a gestão integrada dos RSU considerando o aterro sanitário, compostagem e a triagem para posterior envio dos materiais recicláveis para Manaus, por modal hidroviário, revelando os ganhos na qualidade ambiental bem como os impactos ambientais decorrentes destas tecnologias.

Nesta contextualização, os cenários C2, C3 e C4 mostraram uma redução dos impactos totais de até 39% para as categorias mudanças climáticas, toxicidade humana, acidificação e eutrofização, enquanto que o cenário (C1) com maior potencial de desvio de resíduos secos (papel, PET e metais) mostrou uma redução de aproximadamente 39% dos impactos ambientais para as categorias mudanças climáticas, toxicidade humana e eutrofização.

Em contraste, o sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos adotados para o Cenário base apresentou o pior desempenho ambiental em todas as categorias analisadas, em outros termos, os maiores impactos ambientais.

A avaliação econômica expôs o menor custo de investimento e operação no cenário base (Cbase) (US\$ 326.500,00) e, ao mesmo tempo, a necessidade de investimentos para a implementação de qualquer modelo que inclua processos de tratamento, especificamente no cenário 1, cenário 2, cenário 3 e cenário 4. No entanto, os custos operacionais e de investimentos anuais aumentariam em 30% (C1), 16%(C2), 13%(C3) e 10%(C4) em comparação ao Cbase. Sob outra perspectiva, esses investimentos refletiram na melhoria do desempenho ambiental em relação ao cenário base, por meio da redução dos possíveis impactos ambientais na gestão dos resíduos sólidos urbanos.

Os investimentos na construção de aterro sanitários associados a triagem dos resíduos secos e compostagem dos resíduos úmidos, foram mais favoráveis para a transição de ecoeficiência. Desse modo, este estudo demonstrou que, para o município de Humaitá, a melhor transição de ecoeficiência seria do cenário base para o cenário 2, assim, o poder público municipal pode elaborar políticas públicas para atingir os cenários na ordem: C4, C3 e C2.

Esse estudo permitiu concluir que uma abordagem metodológica considerando aspectos conjunturais, e integrando a avaliação ciclo de vida e aspectos econômicos, por meio da transição de ecoeficiência, mostrou seu potencial de uso para a elaboração, simulação e seleção de cenários de gestão de resíduos sólidos urbanos mais adequados a região Amazônica. Tal potencial oferece suporte na tomada de decisões de planejamento e elaboração de políticas públicas, podendo ser replicável em outros biomas e regiões com realidades distintas daquelas avaliadas no presente estudo.

.

SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Com a finalidade de contribuir para a sequência deste trabalho, bem como encontrar mecanismos e soluções para a gestão de RSU em outros municípios na região Amazônica com realidades semelhantes, citam-se para projetos futuros:

- Estudos por meio da ACV sobre prevenção dos RSU e redução de resíduos orgânicos pela compostagem doméstica.
- Estudos de ACV comparando aspectos ambientais e econômicos com a implantação de uma usina recicladora de papel/papelão no município de Humaitá.
- Aplicação da ACV para avaliação ambiental, econômica e de políticas públicas nos municípios da calha do rio madeira, contemplando aspectos de saneamento básico e logística fluvial.
- Construção, parametrização e ampliação do banco de dados brasileiro sobre a gestão dos RSU, visando representar todas as regiões do país, especialmente as mais isoladas na região da Amazônia Brasileira.
- Estudos de viabilidade ambiental e econômica para fomentar um consórcio intermunicipal na sub-região da Amazônia Ocidental.
- Estudo de desenvolvimento de tecnologias e processos para humanizar e viabilizar Cooperativas no contexto da Amazônia, como prensas, processos de gestão e gerenciamento, enfardadoras, segurança do trabalho e dentre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULI, M. A.; NAGHIB, A.; YONESI, M.; AKBARI, A. Life cycle assessment (LCA) of solid waste management strategies in Tehran: landfill and composting plus landfill. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.178, p.487–498, 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10.004. **Resíduos sólidos: classificação**. Brasil, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15.849. **Resíduos sólidos urbanos – aterros sanitários de pequeno porte: Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação, e encerramento**. Brasil, 2010.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14044:2009 Versão Corrigida: 2014: **Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Orientações**. Brasil, 2009b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14040:2009 Versão Corrigida: 2014: **Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Brasil, 2009a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14045:2012 Versão Corrigida: 2014: **Gestão Ambiental - Avaliação da ecoeficiência de sistema de produto – Princípios, requisitos e orientações**. Brasil, 2012.

ALELUIA, J.; FERRÃO, P. Assessing the costs of municipal solid waste treatment technologies in developing Asian countries. **Waste Management**, v.69, p.592–608, 2017.

ALFAIA, R. G. S. M.; COSTA, A. M.; CAMPOS, J. C. Municipal solid waste in Brazil: A review. **Waste Management & Research**, v.37, n.12, p.1195-1209, 2017.

ALLESCH, A.; BRUNNER, P. H. Assessment methods for solid waste management: A literature review. **Waste Management & Research**, v.32, n.6, p.461-473, 2014.

ALVES, J. C. M.; MENDONÇA, F. M.; VELOSO, L. H. M.; MAGALHÃES, G. H. Planejamento estratégico organizacional: reflexões a partir da utilização das matrizes SWOT e GUT em uma associação de catadores de materiais recicláveis. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v.13, n.2, p.219-231, 2018.

ALVES, J. E. D. **Análise de conjuntura: teoria e método**. Disponível em: http://www.ie.ufrj.br/aparte/pdfs/analiseconjuntura_teoriametodo_01jul08.pdf. Acesso em 25 de novembro de 2018.

AMLINGER, F.; PEYER, S.; CUHLS, C. Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment. **Waste Management & Research**, v.26, p.47-60, 2008.

ANDRADE, Eduardo Augusto Tardelli de. **Avaliação do ciclo de vida na gestão de resíduos sólidos: Um estudo de caso da coleta seletiva do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro**. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014, 171 p.

ARAFAT, H. A.; JIJAKLI, K.; AHSAN, A. Environmental performance and energy recovery potential of five processes for municipal solid waste treatment. **Journal of Cleaner Production**, v.105, p.233-240, 2015.

ARAUJO, Marcelo Guimarães. **Modelo de avaliação do ciclo de vida para a gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil**. Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético), COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013, 232 p.

ASTM D5231-92(2016) - **Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016. Disponível em: <https://www.astm.org>. Acesso em 15 de dezembro de 2019.

BANAR, M.; COKAYGIL, Z.; OZKAN, A. Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey. **Waste Management**, v.29, p.54–62, 2009.

BARTOLOZZI, I.; BALDERESCHI, E.; DADDI, T.; IRALDO, F. The application of life cycle assessment (LCA) in municipal solid waste management: A comparative study on street sweeping services. **Journal of Cleaner Production**, v.182, p.455-465, 2018.

BECKER, B. K. Desafios e perspectivas da integração regional da Amazônia sul-americana. **Parcerias Estratégicas**, v.15, n.30, p.25-44, 2010.

BELBOOM, S.; DIGNEFFE, J. M.; RENZONI, R.; GERMAIN, A.; LEONARD, A. Comparing technologies for municipal solid waste management using life cycle assessment methodology: a Belgian case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.18, p.1513–1523, 2013.

BERNARDES, C.; GUNTHER, W. M. R. Generation of Domestic Solid Waste in Rural Areas: Case Study of Remote Communities in the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, v.42, p.617–623, 2014.

BERTICELLI, R.; PANDOLFO, A.; KORF, E. P. Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos: perspectivas e desafios. **Revista Gestão Sustentável e Ambiental**, v.5, n.2, p.711-744, 2017.

BOTELLO-ALVAREZ, J. E.; RIVAS-GARCIA, P.; FAUSTRO-CASTRO, L.; ESTRADA-BALTAZAR, A.; GOMEZ-GONZALEZ, R. Informal collection, recycling and export of valuable waste as transcendent factor in the municipal solid waste management: A Latin-American reality. **Journal of Cleaner Production**, v.182, p.485-495, 2018.

BRASIL. **A organização coletiva de catadores de material reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da economia solidária**, Brasília, DF. 2017. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7413/1/td_2268.PDF>. Acesso em 26 de maio de 2019.

BRASIL. **A organização coletiva de catadores de material reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da economia solidária**, Brasília, DF. 2017. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7413/1/td_2268.PDF>. Acesso em 26 de maio de 2019.

BRASIL. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos**, Brasília, DF. 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso em 26 de Novembro de 2018.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010.

CAIADO, R. G. G.; SIMÃO, V. G.; RANGEL, L. A. D.; QUELHAS, O. L. G.; LIMA, G. B. A. Análise multicritério da ecoeficiência do transporte de cargas com veículos leves. **Revista Transportes**, v.26, n.1, p.21-36, 2018.

CAMPOLINA, J. M.; SIGRIST, C. S. L.; MORIS, V. A. S. Uma revisão de literatura sobre softwares utilizados em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.19, n.2, p.735-750, 2015.

CASTILLO-GIMENEZ, J.; MONTAÑÉS, A.; PICAZO-TADEO, A. Performance and convergence in municipal waste treatment in the European Union. **Waste Management**, v.85, p.225-231, 2019.

CASTRO, M. A. O.; SILVA, N. M.; MARCHAND, G. A. E. L. Desenvolvendo indicadores para a gestão sustentável de resíduos sólidos nos municípios de Iranduba, Manacapuru e Novo Airão, Amazonas, Brasil. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.20, n.3, p.415-426, 2015.

CHEN, D.; CHRISTENSEN, T. H. Life-cycle assessment (EASEWASTE) of two municipal solid waste incineration technologies in China. **Waste Management & Research**, v.28, n.6, p.508–519, 2010.

CNT – Confederação Nacional de Transportes. **Pesquisa CNT de rodovias 2018: relatório gerencial**. Disponível em: <http://cms.pesquisarodovias.cnt.org.br/Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20de%20Rodovias%202018%20-%20web%20-%20baixa.pdf>. Acesso em 01 de abril de 2019.

COBO, S.; DOMINGUEZ-RAMOS, A.; IRABIEN, A. From linear to circular integrated waste management systems: A review of methodological approaches. **Resources, Conservation & Recycling**, v.135, p.279-295, 2018.

COLORADO-LOPERA, D.; ECHEVERRY-LOPERA, G.; COLORADO-LOPERA, H. A. Logistics as an essential area for the development of the solid waste management in Colombia. **Informador Técnico**, v.83, n.2, p.131-154, 2019.

COLVERO, D. A.; RAMALHO, J.; GOMES, A. P. D.; MATOS, M. A. A.; TARELLO, L. A. C. Economic analysis of a shared municipal solid waste management facility in a metropolitan region. **Waste Management**, v.102, p.823-837, 2020.

CONKE, L. S. Barriers to waste recycling development: Evidence from Brazil. **Resources, Conservation & Recycling**, v.134, p.129–135, 2018.

CONPES - Conselho Nacional de Política Econômica e Social da Colômbia. **Política Nacional para a Gestão Integral dos Resíduos Sólidos. 2016.** Disponível em: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>. Acesso em 05 de dezembro de 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 04/95.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=182>>. Acesso em 30 de agosto de 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 415/2009.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=615>>. Acesso em 20 de novembro de 2017.

CORNÉLIO, I.; MOURA, G. S.; STOFFEL, J.; MUELBERT, B. Estudo dos resíduos sólidos domésticos da terra indígena Rio das Cobras no município de Nova Laranjeiras, PR. **Interações**, v.20, n.2, p.575-584, 2019.

COSER, A.; PEDDE, V. O gerenciamento de resíduos urbanos e os catadores: pode uma atividade ocupacional social e culturalmente excludente gerar inclusão social?. **Veredas do Direito**, v.16, n.34, p.253-277, 2019.

COSTA, F. S.; RAVENA, N. Práticas agroecológicas em assentamentos rurais no sul do Amazonas: uma abordagem institucional. **Novos Cadernos (NAEA)**, v.17, n.1, p.99-124, 2014.

CRIOLLO, R.; MALHEIROS, T.; ALFARO, J. F Municipal Environmental Management Indicators: A Bottom-Up Approach Applied to the Colombian Context. **Social Indicators Research**, (2018). <https://doi.org/10.1007/s11205-018-1864-9>.

DANGI, M. B.; PRETZ, C. R.; URYNOWICZ, M. A.; GEROWB, K. G.; REDDY, J. M. Municipal solid waste generation in Kathmandu, Nepal. **Journal of Environmental Management**, v.92, p.240-249, 2011.

DAS, SUBHASISH; LEE, S. H.; KUMAR, P.; KIM, H-H.; LEE, S. S. BHATTACHARYA, S. S. Solid waste management: Scope and the challenge of sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v.228, p.658-678, 2019.

DE FEO, G.; FERRARA, C.; FINELLI, A.; GROSSO, A. Environmental and economic benefits of the recovery of materials in a municipal solid waste management system. **Environmental Technology**, v.40, n.7, p.903-911, 2019.

DEUS, R. M.; BATTISTELLE, R. A. G.; SILVA, G. H. R. Scenario evaluation for the management of household solid waste in small Brazilian municipalities. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v.19, p.205-214, 2017.

EEA - EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Managing municipal solid waste — a review of achievements in 32 European countries.** Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste>>. Acesso em 20 de Abril de 2018.

EPA - Environmental Protection Agency (2018). **Advancing Sustainable Materials Management: 2015 Factor Sheet**. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-07/documents/2015_smm_msw_factsheet_07242018_fnl_508_002.pdf>. Acesso em 10 de janeiro de 2020.

ESPANA, V. A. A.; PINILLA, A. R. R.; BARDOS, P.; NAIDU, R. Contaminated land in Colombia: A critical review of current status and future approach for the management of contaminated sites. **Science of the Total Environment**, v.618, p.199–209, 2018.

ESTEVES, R. A. A indústria do resíduo: panorama das cooperativas de reciclagem e dos catadores de resíduos no estado do Rio de Janeiro. **Revista Monografias Ambientais**, v.14, n.2, p.86–99, 2015.

EXPOSITO, A.; VELASCO, F. Municipal solid-waste recycling market and the European 2020 Horizon Strategy: A regional efficiency analysis in Spain. **Journal of Cleaner Production**, v.172, p.938-948, 2018.

FADE – Fundação Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco. **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Jaboatão dos Guararapes, PE: Grupo de Resíduos Sólidos – UFPE, 2014, 186 p.

FALAHI, M.; AVAMI, A. Optimization of the municipal solid waste management system using a hybrid life cycle assessment–energy approach in Tehran. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v.22, p.133-149, 2020.

FEI, F.; WEN, Z.; HUANG, S.; CLERCQ, D. D. Mechanical biological treatment of municipal solid waste: Energy efficiency, environmental impact and economic feasibility analysis. **Journal of Cleaner Production**, v.178, p.731-739, 2018.

FERNANDEZ-NAVA, Y.; DEL RIO, J.; RODRIGUEZ-IGLESIAS, J.; CASTRILLON, L.; MARANON, E. Life cycle assessment of different municipal solid waste management options: a case study of Asturias (Spain). **Journal of Cleaner Production**, v.81, p.178-189, 2014.

FERREIRA, C. F. A.; JUCÁ, J. F. T. Metodologia para avaliação dos consórcios de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.3, p.513-521, 2017.

FERREIRA, Marcio Antônio Couto. **Transporte fluvial por embarcações mistas no Amazonas: Uma análise do trecho Manaus-Coari e Manaus-Parintins**. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade da Amazônia), Universidade Federal do Amazonas, 2016, 164 p.

FERRI, G. L.; CHAVES, G. L. D.; RIBEIRO, G. M. Análise e localização de centros de armazenamento e triagem de resíduos sólidos urbanos para a rede de logística reversa: um estudo de caso no município de São Mateus, ES. **Production**, v.25, n.1, p.27-42, 2015.

FERRONATO, N.; PORTILLO, M. A. G.; LIZARAZU, E. G. G.; TORRETTA, V.; BEZZI, M.; RAGAZZI, M. The municipal solid waste management of La Paz (Bolivia): Challenges and opportunities for a sustainable development. **Waste Management & Research**, v.36, n.3, p.288-299, 2018.

FERRONATO, N.; TORRETTA, V.; RAGAZZI, M.; RADA, E. C. Waste mismanagement in developing countries: a case study of environmental contamination. **U.P.B Science Bulletin**, v.79, n.3, p.185-196, 2017.

FIDELIS, R.; COLMENERO, J. C. Evaluating the performance of recycling cooperatives in their operational activities in the recycling chain. **Resources, Conservation & Recycling**, v.130, p.152–163, 2018.

FINNVEDEN, G.; BJORKLUND, A.; MOBERG, A.; EKVALL, T.; MOBERG, A. Environmental and economic assessment methods for waste management decision-support: possibilities and limitations. **Waste management & research**, v.25, n.3, p.263-269, 2007.

FLORINDO, T. J.; MEDEIROS, G. I. B.; RUVIARO, C. F.; COSTA, J. S. Avaliação do impacto do ciclo de vida: uma discussão metodológica. **Natureza On line**, v.13, n.5, p.211-219, 2015.

FONSECA, E. C. C.; BARREIROS, E. C. M.; MELO, A. C. S.; MARTINS, V. W. B.; NUNES, D. R. L. Melhorias Logísticas em uma cooperativa de catadores de materiais recicláveis de Belém-PA: uma proposta baseada na PNRS. **GEPROS - Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v.12, n.1, p.1-19, 2017.

GAUTHIER, C.; MORAN, E. F. Public policy implementation and basic sanitation issues associated with hydroelectric projects in the Brazilian Amazon: Altamira and the Belo Monte dam. **Geoforum**, v.97, p.10-21, 2018.

GILARDINO, A.; ROJAS, J.; MATTOS, H.; LARREA-GALLEGOS, G.; VAZQUEZ-ROWE, I. Combining operational research and Life Cycle Assessment to optimize municipal solid waste collection in a district in Lima (Peru). **Journal of Cleaner Production**, v.156, p.589-603, 2017.

GOEDKOOP M.; HEIJUNGS R.; HUIJBREGTS, M.; DE SCHRYVER, A.; STRUIJS J.; VAN ZELM, R. ReCiPE 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. **First edition (version 1.08)**. Report I: Characterisation. Ruimte em Milieu Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening em Milieubeheer. Maio. 2013.

GOMES, L. P.; KOHL, C. A.; SOUZA, C. L. L.; REMPEL, N.; MIRANDA, L. A. S.; MORAES, C. A. M. Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.20, n.3, p.449-462, 2015.

GOMES, Solange Lima. **Resíduos Sólidos dos Serviços de Saúde em Terras Indígenas: O caso do distrito sanitário especial indígena médio Rio Purus, Amazonas**. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável), Universidade de Brasília, 2013, 153 p.

GROSSBERG, L. Cultural studies in search of a method, or looking for conjunctural analysis. **New Formations**, v.96, n.96-97, p.38-68, 2019.

GUERRERO, L. A.; MAAS, G.; HOGLAND, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries, **Waste Management**, v.33, p.220-232, 2013.

HALKOS, G.; PETROU, K. N. Assessing 28 EU member states' environmental efficiency in national waste generation with DEA. **Journal of Cleaner Production**, v.208, 509-521, 2019.

HERVA, M.; NETO, B.; ROCA, E. Environmental assessment of the integrated municipal solid waste management system in Porto (Portugal). **Journal of Cleaner Production**, v.70, p.183-193, 2014.

HUNKELER, D.; LICHTENVORT, K.; REBITZER, G. **Environmental life cycle costing**. Crc press, 2008.

IBÁÑEZ-FORÉS, V.; BOVEA, M. D.; COUTINHO-NÓBREGA, C.; MEDEIROS, H. R. Assessing the social performance of municipal solid waste management systems in developing countries: Proposal of indicators and a case study. **Ecological Indicators**, v.98, p.164-178, 2019.

IBÁÑEZ-FORÉS, V.; NÓBREGA, C. C.; BOVEA, M. D.; MELLO-SILVA, C.; VIRGOLINO, J. L. F. Influence of implementing selective collection on municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study. **Resources, Conservation & Recycling**, v.134, p.100–111, 2018.

IBGE (2017). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeção população**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em 20 de maio de 2018.

IBGE (2018a). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Amazônia Legal**. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/amazonialegal.shtm?c=2>. Acesso em 10 de março de 2018.

IBGE (2018b). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama do município de Humaitá**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/humaita/panorama>. Acesso em 31 de agosto de 2018.

IBGE (2018c). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama do município de Manicoré**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/por-cidade-estado-estatisticas.html?t=destaques&c=1302702>. Acesso em 31 de agosto de 2018.

IBGE (2018d). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama do município de Ariquemes**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/por-cidade-estado-estatisticas.html?t=destaques&c=1100023>. Acesso em 31 de agosto de 2018.

IDB - Inter-American Development Bank. **Relatório de Sustentabilidade – 2016**. Disponível: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/8173/Inter-American-Development-Bank-Sustainability-Report-2016.PDF?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 02 de dezembro de 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**, v.180, 571-586, 2018.

IMBIRIBA, B. C. O.; RAMOS, J. R. S.; SILVA, R. S.; CATTANIO, J. H.; COUTO, L. L.; MITSCHKEIN, T. A. Estimates of methane emissions and comparison with gas mass burned in CDM action in a large landfill in Eastern Amazon. **Waste Management**, v.101, p.28-34, 2020.

INE – Instituto Nacional de Estadística. **Generación y Manejo de Residuos y Desechos sólidos em Venezuela para los años 2011-2012**. Venezuela, 2013. Disponível em: http://www.ine.gov.ve/documentos/Boletines_Electronicos/Estadisticas_Sociales_y_Ambientales/Residuos_Solidos/pdf/2013.pdf. Acesso em 15 de março de 2018.

INEC - Instituto Nacional de Estadística e Censos do Equador. **Censo de Informações Econômicas Ambientais**. 2017a. Disponível em: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/GAD_Provinciales_2017/Presentacion%20de%20resultados%20GAD%20provinciales%20v_2.pdf. Acesso em 01 de dezembro de 2018.

INEC - Instituto Nacional de Estadística e Censos do Equador. **Informações Ambientais**. 2017b. Disponível em: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares/Hogares_2017/RESULTADOS_MOD_AMBIENTAL_ENEMDU_2017.pdf. Acesso em 01 de dezembro de 2018.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados climáticos**. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas_ Acesso em 10 de abril de 2018.

KHANDELWAL, H.; DHAR, H.; THALLA, A. K.; KUMAR, S. Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: A worldwide critical review. **Journal of Cleaner Production**, v.209, p.630-654, 2019.

KLING, M.; SEYRING, N.; TZANOVA, P. Assessment of economic instruments for countries with low municipal waste management performance: An approach based on the analytic hierarchy process. **Waste Management & Research**, v.34, n.9, p.912-922, 2016.

KOCHE, J. C. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. 31. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

LARSEN, P. B. Municipal environmental governance in the Peruvian Amazon A case study in local matters of (in)significance. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v.22, n.3, p.374-385, 2011.

LAURENT, A.; BAKAS, I.; CLAVREUL, J.; BERNSTAD, A.; NIERO, M.; GENTIL, E.; HAUSCHILD, M. Z.; CHRISTENSEN, T. H. Review of LCA studies of solid waste management systems e Part I: lessons learned and perspectives. **Waste Management**, v.34, p.573-588, 2014a.

- LAURENT, A.; CLAVREUL, J.; BERNSTAD, A.; BAKAS, I.; NIERO, M.; GENTIL, E.; CHRISTENSEN, T. H.; HAUSCHILD, M. Z. Review of LCA studies of solid waste management systems – Part II: Methodological guidance for a better practice. **Waste Management**, v.34, p.589-616, 2014b.
- LEAL FILHO, W. L.; BRANDLI, L.; MOORA, H.; KRUIPIOENÉ, J.; STENMARCK, A. Benchmarking approaches and methods in the field of urban waste management. **Journal of Cleaner Production**, v.112, p.4377-4386, 2016.
- LEE, S.; KIM, J.; CHONG, W. K. O. The causes of the municipal solid waste and the greenhouse gas emissions from the waste sector in the United States. **Waste Management**, v.56, p.593-599, 2016.
- LEITE, Clauber Barão. **Tratamento de resíduos sólidos urbanos com aproveitamento energético: avaliação econômica entre as tecnologias de digestão anaeróbia e incineração**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Energia) da Universidade de São Paulo, 2016, 117 p.
- LIKANEN, M.; HAVUKAINEN, J.; VIANA, E.; HORTTANAINEN, M. Steps towards more environmentally sustainable municipal solid waste management e A life cycle assessment study of Sao Paulo, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v.196, p.150-162, 2018.
- LIMA, Cláudia Lins. **A questão ambiental na Amazônia: resíduos sólidos urbanos e sua representação imagética**. Dissertação (Pós-Graduação em Geografia), da Universidade de Brasília – UNB, 2013, 205p.
- LIMA, Geraldo Francisco Corrêa Alves de. **O gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em Rio Pomba – MG na visão de atores sociais que participaram do processo**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais) Universidade Federal de Goiás, 2014, 235 p.
- LIMA, N. S. S.; MANCINI, S. D. Integration of informal recycling sector in Brazil and the case of Sorocaba City. **Waste Management & Research**, v.35, n.7, p.721-729, 2017.
- LIU, Y.; XING, P.; LIU, J. Environmental performance evaluation of different municipal solid waste management scenarios in China. **Resources, Conservation & Recycling**, v.125, p.98-106, 2017.
- LUZ, Leila Mendes da. **Integração da avaliação do ciclo de vida ao processo de desenvolvimento de produto: uma proposta metodológica**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017, 149 p.
- MACHADO, S. M.; FIDELIS, A. C. F.; CARRARO, I. R.; OLEA, P. M. Pesquisa científica: Conhecimento e percepção dos Acadêmicos de administração em Caxias do Sul. **E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial**, Florianópolis, v.9, n.2, p. 151-170, 2016.

MAGNO, L. D.; PAIM, J. S. Dos clamores das ruas aos rumores no Congresso: uma análise da conjuntura recente da saúde no Brasil. **Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde**, v.9, n.4, p.1-14, 2015.

MAH, C. M.; FUJIWARA, T.; HO, C. S. Life cycle assessment and life cycle costing toward eco-efficiency concrete waste management in Malaysia. **Journal of Cleaner Production**, v.172, p.3415-3427, 2018.

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N.; VALLE, T. F. Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Administração Pública**, v.52, n.1, p.24-51, 2018.

MALINAUSKAITE, J.; JOUHARA, H.; CZAJCZYNSKA, D.; STANCHEV, P.; KATSOU, E.; ROSTKOWSKI, P.; THORNE, R. J.; COLON, J.; PONSÁ, S.; AL-MANSOUR, F.; ANGUILANO, L.; KRZYZYNSKA, R.; LOPEZ, I. C. L.; VLASOPOULOS, A.; SPENCER, N. Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. **Energy**, v.141, p.2013-2044, 2017.

MANCINI, S. D.; FERRAZ, J. L.; BIZZO, W. A. Resíduos Sólidos. **In: ROSA, A. H.; FRACETO, L. F.; MOSCHINI-CARLOS, V. (orgs). Meio Ambiente e Sustentabilidade. 1. Ed. São Paulo: Bookman Companhia Editora Ltda, 2012, cap.15, p.346-374.**

MANCINI, S. D.; NOGUEIRA, A. R.; KAGOHARA, D. A.; SCHWARTZMAN, J. A. S.; MATTOS, T. Recycling potential of urban solid waste destined for sanitary landfills: the case of Indaiatuba, SP, Brazil. **Waste Management & Research**, v.25, p.517-523, 2007.

MANNARINO, C. F.; FERREIRA, J. A.; GANDOLLA, M. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Européia. **Revista Sanitária e Ambiental**, v.21, n.2, p.379-385, 2016.

MARCHI, C. M. D. F. Novas Perspectivas na Gestão do Saneamento: apresentação de um modelo de destinação final de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.7, n.1, p.91-105, 2015.

MARCONDES; N. A. V.; BRISOLA, E. M. A. Análise por triangulação de métodos: um referencial para pesquisas qualitativas. **Revista Univap**, v.20, n.35, p.201-208, 2014.

MARELLO, M.; HELWEGE, A. Solid Waste Management and Social Inclusion of Wastepickers: Opportunities and Challenges. **Latin American Perspectives**, v.45, n.1, p.108-129, 2018.

MARQUES, J. B. V.; FREITAS, D. Método Delphi: caracterização e potencialidades na pesquisa em Educação. **Pro-Posições**, v.29, n.2, p.389-415, 2018.

MARSHALL, R. E.; FARAHBAKHS, K. Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. **Waste Management**, v.33, n.4, p.988-1003, 2013.

MARTINEZ, C. I. P.; PINÃ, W. A. Solid waste management in Bogotá: the role of recycling associations as investigated through SWOT analysis. **Environment, Development and Sustainability**, v.19, p.1067-1086, 2017.

MARTINEZ-SANCHEZ, V.; KROMANN, M. A.; ASTRUP, T. F. Life cycle costing of waste management systems: Overview, calculation principles and case studies. **Waste management**, v.36, p.343-355, 2015.

MARTINEZ-SANCHEZ, V.; LEVIS, J. W.; DAMGAARD, A.; DECAROLIS, J. F.; BARLAZ, M. A.; ASTRUP, T. F. Evaluation of Externality Costs in Life-Cycle Optimization of Municipal Solid Waste Management Systems. **Environmental Science & Technology - ACS Publications - American**, v.51, p.3119–3127, 2017.

MARTINS FILHO, J. B.; NEVES, R. A.; MELO, T. F.; FERRÃO, G. E.; PIRES, I. C. G. Análise SWOT da associação dos catadores de materiais Recicláveis de Chapadinha – MA. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.7, n.4, p.134-157, 2018.

MARTINS, K. N.; CRUZ, C. S.; COUTO, M. C. L. Composição de custos de implantação e operação de centrais de valorização de resíduos sólidos urbanos secos. **Revista Científica Faesa**, v.12, n.1, p.23-30, 2016.

MATOS, F. B.; CAMACHO, J. R.; RODRIGUES, P.; GUIMARÃES JR., S. C. A research on the use of energy resources in the Amazon. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, p.3196–3206, 2011.

MAYER, F.; BHANDARI, R.; GATH, S. Critical review on life cycle assessment of conventional and innovative waste-to-energy technologies. **Science of the Total Environment**, v.672, p.708-721, 2019.

MENDES, A.; GALVÃO, P.; SOUSA, J.; SILVA, I.; CARNEIRO, R. N. Relations of the groundwater quality and disorderly occupation in an Amazon low-income neighborhood developed over a former dump area, Santarém/PA, Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v.21, p.353-368, 2019.

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, 2016.

MERSONI, C.; REICHERT, G. A. Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida: o caso do município de Garibaldi, RS. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.5, p.863-875, 2017.

MEYLAN, G.; STAUFFACHER, M.; KRUTLI, P.; SEIDL, R.; SPOERRI, A. Identifying Stakeholders' Views on the Eco-efficiency Assessment of a Municipal Solid Waste Management System: The Case of Swiss Glass-Packaging. **Journal of Industrial Ecology**, v.19, n.3, p.490-503, 2015.

MGLRD - Ministério do Governo Local e Desenvolvimento Regional da Guiana. **A National Solid Waste Management Strategy for the Cooperative Republic of Guyana 2013-2024**. Disponível em: <http://moc.gov.gy/wp-content/uploads/2016/08/National-Solid-Waste-Management-Strategy.pdf>. Acesso em 05 de dezembro de 2018.

MINAM – Ministério del Ambiente. **Agenda Nacional de Ação Ambiental**. Peru, 2014. Disponível em: <http://www.minam.gob.pe/wp->

content/uploads/2013/06/agendambiental_peru_2013-20141.pdf. Acesso em 10 de dezembro de 2018.

MINAM – Ministério del Ambiente. **Plan Nacional de gestión Integral de residuos sólidos, 2016.** Peru, 2016. Disponível em:

https://www.unpei.org/sites/default/files/e_library_documents/Solid%20Waste%20Management%20National%20Plan%20%28PLANRES%29%202016-2024%20.pdf. Acesso em 16 de março de 2018.

MMA YA – Ministério de Medio Ambiente y Agua. **Diagnóstico de la gestión de residuos sólidos en Bolívia.** Bolívia, 2011. Disponível em: <http://www.anesapa.org/wp-content/uploads/2014/07/Diagnostico-de-la-Gestion-de-Residuos-Solidos-en-Bolivia-2011.pdf>. Acesso em 16 de março de 2018.

MONTEIRO, K. F. G. Contribuições para a gestão ambiental da cadeia produtiva de biodiesel na Amazônia Brasileira e Colombiana. **Oecologia Australis**, v.15, n.2, p.351-364, 2011.

OLIVEIRA, A. Análise de conjuntura: conceitos e aplicações. **Em Debate**, Belo Horizonte, v.6, n.1, p.24-35, 2014.

OLIVEIRA, A. B. S. A Análise de Conjuntura: Mapeamento de Construção de Cenários em Relações Internacionais no Brasil. **Revista Perspectiva**, v.11, n.21, p.129-147, 2018.

OLIVEIRA, B. O. S. Impactos ambientais decorrentes do lixão da cidade de Humaitá, Amazonas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, PB, v.11, n.4, p. 80-84, 2016.

OLIVEIRA, B. O. S.; MEDEIROS, G. A. Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos nos estados da região norte, Brasil. **Revista Valore**, v.4, n.1, p. 749-761, 2019.

OLIVEIRA, B. O. S.; TUCCI, C. A. F.; NEVES JÚNIOR, A. F.; SANTOS, A. A. Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá, Amazonas. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21, n.3, p. 593-601, 2016.

OLIVEIRA, F. T.; PEREIRA, I. S. Coleta seletiva com inclusão social dos catadores e viabilidade econômica. **Revista dos Estudantes de Públicas**, v.1, n.1, p.55-70, 2015.

OLIVEIRA, J. A. P. Intergovernmental relations for environmental governance: Cases of solid waste management and climate change in two Malaysian States. **Journal of Environmental Management**, v.233, p.481-488, 2019.

OMID, S.; DERAKHSHAN, Z.; MOKHTARI, M. Using life cycle assessment for municipal solid waste management in Tehran Municipality Region 20. **Environmental Health Engineering And Management Journal**, v.4, n.2, p.123-129, 2017.

PÁDUA, José Augusto. Biosfera, história e conjuntura na análise da questão amazônica. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v.6, p.793-811, 2000.

PAES, M. X.; MANCINI, S.D.; MEDEIROS, G.A.; BORTOLETO, A.P.; KULAY, A.L. Life cycle assessment as a diagnostic and planning tool for waste management: a case study in a Brazilian municipality. **The Journal of Solid Waste Technology and Management**, v.44, p. 259-269, 2018.

PAES, M. X.; MEDEIROS, G. A.; MANCINI, S. D.; RIBEIRO, F. M.; OLIVEIRA, J. A. P. Transition to circular economy in Brazil: A look at the municipal solid waste management in the state of São Paulo. **Management Decision**, (2019). <https://doi.org/10.1108/MD-09-2018-1053>.

PAES, M. X.; MEDEIROS, G. A.; MANCINI, S. D.; BORTOLETO, A.P.; OLIVEIRA, J. A. P.; KULAY, A.L. Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic indicators based on life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v.254, p. 1-12, 2020a.

PAES, M. X.; MEDEIROS, G. A.; MANCINI, S. D.; GASOL, C.; PONS, J. R.; DURANY, X. G. Transition towards eco-efficiency in municipal solid waste management to reduce GHG emissions: The case of Brazil. **Journal of Cleaner Production**, p. 121370, 2020b.

PAIVA, Rayane de Lima Moura. **Avaliação de ciclo de vida na gestão de resíduos sólidos orgânicos no porto do Rio de Janeiro**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil), COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016, 172 p.

PAVANI, I. D.; CICERELLI, E.; ALMEIDA, T.; MOURA, L. Z.; CONTRERAS, F. Allocation of sanitary landfill in consortium: strategy for the Brazilian municipalities in the State of Amazonas. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.191, n.39, p.1-13, 2019.

PHADERMROD; B.; CROWDER, R. M.; WILLS, G. B. Importance-Performance Analysis based SWOT analysis. **International Journal of Information Management**, v.44, p.194-203, 2019.

PINHEIRO, E. S.; REZENDE, M. G. G. Análise do desflorestamento no sul do Amazonas. **ACTA Geográfica**, v.6, n.13, p.175-192, 2012.

PLASTIVIDA – Juntos somos mais sustentáveis. **Empresas Recicladoras**. Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/index.php/conhecimento/recicladores?lang=pt>. Acesso em: 04 de setembro de 2018.

POLETO, M.; MORI, P. R.; SHNEIDER, V. E.; ZATTERA, A. J. Urban solid waste management in Caxias do Sul/Brazil: practices and challenges. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v.10, n.1, p.50-56, 2016.

RAJAEIFAR, M. A.; TABABAEI, M.; GHANAVATI, H.; KHOSHNEVISAN, B.; RAFIEE, S. Comparative life cycle assessment of different municipal solid waste management scenarios in Iran. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.51, p.886–898, 2015.

RAJCOOMAR, A.; RAMJEAWON, R. Life cycle assessment of municipal solid waste management scenarios on the small island of Mauritius. **Waste Management & Research**, v.35, n.3, p.313-324, 2017.

- RAMOS, N. F.; GOMES, J. C.; CASTILHO JÚNIOR, A. B.; GOURDON, R. Desenvolvimento de ferramenta para diagnóstico ambiental de lixões de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.6, p.1233-1241, 2017.
- RAUPP, E. B.; CARVALHO, C. M.; ARAUJO, R. K.; ROCHA, N. S. Gestão de resíduos e a análise SWOT: Estudo de caso em uma organização de maquinaria agrícola. **Scientia cum Industria**, v.6, n.3, p.17-26, 2018.
- REBEHY, P. C. P. W.; COSTA, A. L.; CAMPELLO, C. A. G. B.; ESPINOZA, D. F.; JOAO NETO, M. Innovative social business of selective waste collection in Brazil: Cleaner production and poverty reduction. **Journal of Cleaner Production**, v.154, p.462-473, 2017.
- Revised IPCC, **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory**, v.5-Reference Manual, Cap. 3-Solid Waste Disposal, 2006.
- REZENDE, J. H.; CARBONI, M.; MURGEL, M. A. T.; CAPPS, A. L. A. P.; TEIXEIRA, H. L.; SIMÕES, G. T. C.; RUSSI, R. R.; LOURENÇO, B. L. R.; OLIVEIRA, C. A. Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.18, n.1, p.1-8, 2013.
- RIPA, M.; FIORENTINO, G.; VACCA, V.; ULGIATI, S. The relevance of site-specific data in Life Cycle Assessment (LCA). The case of the municipal solid waste management in the metropolitan city of Naples (Italy). **Journal of Cleaner Production**, v.142, p.445-460, 2017.
- RODRIGUES, G. L.; FEITOSA, M. J. S.; SILVA, G. F. L. Cooperativas de reciclagem de resíduos sólidos e seus benefícios socioambientais: um estudo na coopecamarest em Serra Talhada – PE. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade - RMS**, v.5, n.1, p.18-38, 2015.
- ROSADO, L. P.; PENTEADO, C. S. G. Avaliação do ciclo de vida do Sistema Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil da Região Metropolitana de Campinas. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.24, n.1, p.71-82, 2019.
- RUTKOWSKI, J. E.; RUTKOWSKI, E. W. Recycling in Brasil: Paper and Plastic Supply Chain. **Resources**, v.6, n.43, p.1-15, 2017.
- SAHERI, S.; MIR, M. A.; BASRI, N. E. A.; MAHMOOD, N. Z. B.; BEGUM, R. A. Life Cycle Assessment for Solid Waste Disposal Options in Malaysia. **Polish Journal of Environmental Studies**, v.21, n.5, p.1377-1382, 2012.
- SAKAMOTO, Hugo Mitsuo. **Análise de ecoeficiência de rota processual para recuperação de água em planta petroquímica**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência), da Universidade de São Paulo – USP, 2019, 232p.
- SANTIAGO, C.; MORAES, R. C. **Como fazer Análise de Conjuntura**. 3ª Edição, 1ª Reimpressão, Brasília/DF: Confederação Nacional dos Trabalhadores em Educação, 2014. 66 p.

SANTIAGO, L. S.; DIAS, S. M. F. Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.17, n.2, p.203-212, 2012.

SANTOS, A. A.; PEIXOTO, K. L. G.; TARTARI, R.; OLIVEIRA, B. O. S.; MOTTA SOBRINHO, M. A. Caracterização dos resíduos sólidos gerados na cidade de Humaitá – AM. **Revista EDUCamazônia - Educação Sociedade e Meio Ambiente**, v.X, n.1, p.38-48, 2013.

SANTOS, D. I. P.; GOBBI, M. C. M.; LOPES, M. M. Formação do professor indígena em Humaitá, sul do Amazonas. **Retratos de Assentamento**, v.20, n.2, p.207-222, 2017.

SANTOS, M. R.; TEIXEIRA, C. E.; KNISS, C. T.; BARBIERI, J. C. O uso da avaliação do ciclo de vida e da ecoeficiência para avaliar alternativas de valorização de resíduos: um estudo em empresa termelétrica. **Revista de Administração**, v. 9, Edição Especial, p.82-99, 2016.

SÁ-SILVA, J. R.; ALMEIDA, C. D.; GUINDANI, J. F. Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas. **Revista Brasileira de História & Ciências Sociais**, v.1, n.1, p.1-15, 2009.

SCARLAT, N.; FAHL, F.; DALLEMAND, J. F. Status and Opportunities for Energy Recovery from Municipal Solid Waste in Europe. **Waste and Biomass Valorization**, v.10, p.2425-2444, 2019.

SEDAM - Secretaria de Desenvolvimento Ambiental do Estado de Rondônia. **Relatório de Impacto Ambiental**. Disponível em: <http://www.sedam.ro.gov.br/images/publicacoes/COLMAM/RIMA%20-%20Aterro%20Sanit%C3%A1rio%20de%20Ariquemes.pdf>. Acesso em 01 de setembro de 2018.

SHARMA, B. K.; CHANDEL, M. K. Life cycle assessment of potential municipal solid waste management strategies for Mumbai, India. **Waste Management & Research**, v.35, n.1, p.79-91, 2017.

SIASI - Sistema de Informação da Atenção à Saúde Indígena. **Dados populacionais de 2013 das etnias cadastradas**. Disponível em: <http://portalms.saude.gov.br/saude-indigena/gestao/siasi>. Acesso em 28 de março de 2019.

SILVA, A. D.; PINHEIRO, E. S. A problemática dos resíduos sólidos urbanos em Tefé, Amazonas. **Sociedade & Natureza**, v.22, n.2, p.297-302, 2010.

SILVA, C. L.; FUGIL, G. M.; SANTOYO, A. H. Proposta de um modelo de avaliação das ações do poder público municipal perante as políticas de gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: um estudo aplicado ao município de Curitiba. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.9, n.2, p.276-292, 2017.

SILVA, Diogo Aparecido Lopes. **Avaliação do Ciclo de Vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais), da Universidade de São Paulo – USP, 2012, 207p.

SILVA, L. E. P. Metodologia de análise de conjuntura. **Estudos Teológicos**, v.28, n.3, p.305-315, 2014.

SNIS - Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico. **Diagnostico do Manejo de Resíduos Sólidos, 2016**. Brasil, Brasília, DF, 2018. Disponível em <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2016>. Acesso em 16 de março de 2018.

SNIS - Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico. **Diagnostico do Manejo de Resíduos Sólidos, 2017**. Brasil, Brasília, DF, 2019. Disponível em <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2017>. Acesso em 28 de março de 2019.

SOLTANI, A.; SADIQ, R.; HEWAGE, K. The impacts of decision uncertainty on municipal solid waste management. **Journal of Environmental Management**, v.197, p.305-315, 2017.

SOUZA, H. V. G.; OLIVEIRA, B. O. S.; QUERINO, J. K. A.; MIRANDA, I. L. S.; ROLDÃO, A. J. L. N. Análise das rotas de coleta de resíduos sólidos no município de Humaitá-AM. In: ABREU, B. R.; LEITE, J. C.; SOUZA, J. S. (orgs). **Tópicos especiais em Meio ambiente: uma abordagem prática de temas sustentáveis VOLUME I**. Alexa Cultural: São Paulo, 2018, p.159-175.

SOUZA, Herbert José de. **Como se faz análise de conjuntura**. 34^a. Ed. Petrópolis: Vozes, 2014.

SOUZA, R. G.; CORDEIRO, J. S. Mapeamento cognitivo e Balanced Scorecard na gestão estratégica de resíduos sólidos urbanos Strategic solid waste management using Balanced Scorecard. **Gestão & Produção**, v.17, n.3, p.483-496, 2010.

SOUZA, S. N. M.; HORTTANAINEN, M.; ANTONELLI, J.; KLAUS, O.; LINDINO, C. A.; NOGUEIRA, C. E. C. Technical potential of electricity production from municipal solid waste disposed in the biggest cities in Brazil: Landfill gas, biogas and thermal treatment. **Waste Management & Research**, v.32, n.10, p.1015-1023, 2014.

SSPD – Superintendência de Serviços Públicos Domiciliários. **Disposición Final de Residuos Sólidos Informe Nacional – 2016**. Disponível em: <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/informenacional2016disposicionfinalderesiduossolidos1.pdf>. Acesso em 02 de dezembro de 2018.

SULLIVAN, Andrea K. Water. **Sanitation and Waste Management in Latin America, Colombia, and Cartagena: A Study of the Relationship Between Environment, Health, Poverty, and Policy**. (Tese apresentada na Universidade de Flórida), 2016. 85p.

TRULLI, E.; FERRONATO, N.; TORRETTA, V.; PISCITELLI, M.; MASI, S.; MANCINI, I. Sustainable mechanical biological treatment of solid waste in urbanized areas with low recycling rates. **Waste Management**, v.71, p.556–564, 2018.

TULOKHONOVA, A.; ULANOVA, O. Assessment of municipal solid waste management scenarios in Irkutsk (Russia) using a life cycle assessment integrated waste management model. **Waste Management & Research**, v.31, n.5, p.475–484, 2013.

VIEIRA, N. M. C.; SILVA, M. J. P. G.; PEDRO FILHO, F. S.; MADEIRA, M. J. A.; ALMEIDA, F. M. Managing the technology for selectively collecting solid waste in the western Amazon sub region. **Journal of Solid Waste Technology and Management**, v.44, n.1, p.43-51, 2018.

VIRGENS, J. H. A.; TEIXEIRA, C. F. Revisão da produção científica sobre análise de conjuntura: contribuição à análise política em saúde. **Saúde Debate**, v.42, Número Especial 2, p.377-393, 2018.

VUJIĆ, G.; GONZALEZ-ROOF, A.; STANISAVLJEVIĆ, N.; RAGOSSNIG, A. M. Municipal solid waste development phases: Evidence from EU27. **Waste Management & Research**, v.33, n.12, p.1112-1120, 2015.

WANG, H.; XU, J.; YU, H.; LIU, X.; YIN, W.; LIU, Y.; LIU, Z.; ZHANG, T. Study of the application and methods for the comprehensive treatment of municipal solid waste in northeastern China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.52, p.1881–1889, 2015.

YADAV, P.; SAMADDER, S. R. A critical review of the life cycle assessment studies on solid waste management in Asian countries. **Journal of Cleaner Production**, v.185, p.492-515, 2018.

YANG, Z.; ZHOU, X.; XU, L. Eco-efficiency optimization for municipal solid waste management. **Journal of Cleaner Production**, v.104, p.242-249, 2015.

YAY, A. S. E. Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya. **Journal of Cleaner Production**, v.94, p.284-293, 2015.

YILDIZ, S.; YAMAN, C.; DEMIR, G.; OZCAN, H. K.; COBAN, A.; OKTEN, H. E.; SEZER, K.; GORENE, S. Characterization of Municipal Solid Waste in Istanbul, Turkey. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v.32, n.3, p.734-739, 2013.

YUAN, H. A SWOT analysis of successful construction waste management. **Journal of Cleaner Production**, v.39, p.1-8, 2013.

ZAMAN, A. U.; SWAPAN, M. S. H. Performance evaluation and benchmarking of global waste management systems. **Resources, Conservation and Recycling**, v.114, p.32-41, 2016.

ZHAO, Z.; TANG, Y.; DONG, J.; CHI, Y.; NI, M.; LI, N.; ZHANG, Y. Environmental performance evolution of municipal solid waste management by life cycle assessment in Hangzhou, China. **Journal of Environmental Management**, v.227, p.23-33, 2018.

ZIEGLER-RODRIGUEZ, K.; MARGALLO, M.; ALDACO, R.; VAZQUEZ-ROWE, I.; KAHHAT, R. Transitioning from open dumpsters to landfilling in Peru: Environmental benefits and challenges from a life-cycle perspective. **Journal of Cleaner Production**, v.229, 989-1003, 2019.

APÊNDICE

Apêndice A – Métodos para avaliação de impactos na ACV

Quadro 4 - Métodos para avaliação de impactos.

Método	Características
ReCiPe	Trata-se de um método de AICV criado pela National Institute for public health and environment, CML, Pré Consultants, Radboud Universiteit Nijmegen e Committed to the environment de escopo global. Desenvolveu-se na combinação dos métodos CML e eco-indicator 99, com abordagens midpoint e endpoint (SILVA, 2012). As categorias abordadas no método são: mudança climática, depleção de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização aquática, toxicidade humana, formação de oxidantes fotoquímicos, formação de matéria particulada, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade aquática, radiação ionizante, uso do solo agrícola, uso do solo urbano, esgotamento de recursos fósseis, esgotamento de recursos minerais e esgotamento de recursos de água doce (MENDES <i>et al.</i> , 2016).
CML 2002 ou Dutch Handbook on LCA	Apresenta instruções baseados nas normas ISO para a realização de um estudo de ACV. Método este de abordagem midpoint e seus modelos avançaram por meio de outras revisões metodológicas realizadas a nível mundial. Neste método são abordadas as seguintes categorias: depleção de recursos abióticos, uso da terra, mudança climática, depleção de ozônio estratosférico, toxicidade humana, ecotoxicidade aquática de água doce, ecotoxicidade aquática marinha, ecotoxicidade terrestre, formação de foto-oxidantes, acidificação e eutrofização (MENDES <i>et al.</i> , 2016; ARAUJO, 2013).
Eco-indicator 99	Método de abordagem endpoint, que objetiva interpretar e pondera os resultados de ACV por meio de pontuações únicas (eco indicadores). Apresenta as seguintes categorias de impacto: mudança climática, depleção do ozônio e consumo de recursos minerais e fósseis, inaláveis orgânicos e inorgânicos, radiação ionizante e ecotoxicidade, acidificação e eutrofização (MENDES <i>et al.</i> , 2016; ARAUJO, 2013).
EPS 2000	O Environmental Priority Strategies in product development – EPS 2000 desenvolvido na Suécia, na Universidade de Tecnologia Chalmers, com abordagem endpoint e escopo de aplicação global. As categorias de impacto são: saúde humana, capacidade de produção dos ecossistemas, recursos abióticos, biodiversidade e ações culturais e recreativas (MENDES <i>et al.</i> , 2016; ARAUJO, 2013).
IMPACT 2002+	O Impact Assessment of Chemical Toxics, IMPACT 2002+ é um método suíço que propõe a implementação da avaliação combinada midpoint/endpoint, e escopo específico para a Europa. As categorias de impacto são: mudança climática, toxicidade humana, radiação ionizante, depleção de ozônio, formação de ozônio fotoquímico, ecotoxicidade aquática, e outros (MENDES <i>et al.</i> , 2016; ARAUJO, 2013).

Apêndice B – Softwares usados na ACV

Quadro 5 - Softwares de apoio a ACV.

Nome	Características	Endereço	País
BEES	Foi desenvolvido pelo Laboratório de Engenharia do NIST (Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia). O software destina-se apoiar a tomada de decisões a designers, construtores e fabricantes de produtos na avaliação do desempenho econômico e ambiental de 230 produtos de construção.	https://www.nist.gov/services-resources/software/bees	Estados Unidos
ECO-it 1.3	Desenvolvido por Pré Consultants. O software apresenta mais de 200 pontuações eco-indicadores para materiais como metais, plásticos, papel, cartão e vidro, bem como dados referentes aos processos de produção, transporte, energia e tratamento dos resíduos.	https://simapro.com/business/product-development-eco-design/	Holanda
GaBi	Desenvolvido pela Universidade de Stuttgart e pela empresa de consultoria PE Europe. Objetivando avaliar aspectos ambientais, sociais, econômicos, processos e tecnologias associados ao ciclo de vida de um produto. Possui o banco de dados Gabi que apresenta cobertura mundial, além do banco de dados doecoinvent.	http://www.gabi-software.com/international/index/	Alemanha
IDEMAT	Desenvolvido pela seção de Desenvolvimento Ambiental de Produtos da Faculdade de Engenharia e Design Industrial, da Delft University of Technology. Ferramenta empregada na seleção de materiais no processo de design e fornece ainda banco de dados com informações técnicas sobre materiais, processos e componentes.	http://www.idemat.nl/	Holanda
SimaPro	Desenvolvido por Pré Consultants. Apresenta usuários em aproximadamente 80 países, sendo o software mais utilizado para ACV. Possui vários métodos de avaliação de impacto (CML, Eco-indicator 99, ILCD, RECIPE, EPS, entre outros) e banco de dados (ecoinvent e outros).	https://simapro.com/	Holanda
Umberto	Desenvolvido pelo Instituto de Informática Ambiental de Hamburg. Utilizado para visualizar fluxogramas de materiais e energia de tal forma que possibilite otimizar processos produtivos, reduzindo recursos de materiais e energia. Esse software é usado principalmente na necessidade de resultados gráficos de fácil interpretação.	https://www.ifu.com/en/umberto/	Alemanha
OpenLca	Software desenvolvido pela GreenDelta. Ferramenta gratuita utilizada no desenvolvidos de projetos de ACV, no entanto, a base de dados precisam ser adquiridas.	http://www.openlca.org/	Alemanha

Fonte: Adaptado de Luz (2017); Campolina *et al.*, (2015).

Apêndice C – Banco de dados de ICV

Quadro 6 - Banco de dados de ICV.

Nome	Endereço	Software	Região
Australian LCI Data Project	https://www.lifecycles.com.au/australian_data_tools	SimaPro	Austrália
Dutch Input Output	https://www.pre-sustainability.com/	SimaPro	Holanda
Ecoinvent	https://www.ecoinvent.org/	SimaPRO, GaBi, Umberto	Mundial; Europa, Suíça
German Network on LCI Data	http://www.lci-network.de/cms/content.html	GaBi, Umberto	Alemanha
GaBi	http://www.gabisoftware.com/italy/databases/	GaBi	Alemanha
US LCI Database	https://www.nrel.gov/lci/	GaBi	Estados Unidos
BUWAL 250	https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home.html	SimaPRO	Suíça

Fonte: Adaptado de Campolina *et al.*, (2015); Paiva (2016).

Apêndice D - Instrumento para coleta de dados: Questionário

Questionário

Prezado Professor/Pesquisador (a):

O Questionário faz parte da pesquisa de tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista - ICT/UNESP. Assim, considerando sua percepção e experiência quanto ao tema, gostaríamos de sua contribuição na pesquisa.

Este instrumento objetiva analisar e compreender a evolução, desafios e dificuldades do gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos na região Amazônica, além disso, busca traçar cenários factíveis de gestão de RSU para região sul do estado do Amazonas. Deste modo, visando dar o suporte a tomada de decisão nas questões do instrumento será elencada a seguir algumas características do município de Humaitá e região.

1. O município de Humaitá, no estado do Amazonas, está localizado a uma distância aproximada de 700 km da cidade de Manaus-AM, tendo o seu acesso mais viável somente pelo rio Madeira. No período de estiagem existe a possibilidade do acesso via terrestre (rodovia BR-319), todavia o estado de conservação dessa rodovia torna o deslocamento precário.
2. Humaitá tem aproximadamente 54.000 habitantes, densidade demográfica de 1,34 hab./km² e produto interno bruto (PIB) de R\$ 8.778,41 per capita.
3. O município não apresenta sistema de tratamento de água e esgoto e dispõe seus resíduos sólidos em um lixão a céu aberto, o qual está distante 10 km da cidade, as margens da rodovia BR 319, que conecta Humaitá a Porto Velho, estado de Rondônia.
4. A geração diária de resíduos sólidos na cidade de Humaitá é de 14,83 toneladas, onde 44% são resíduos orgânicos, 37% materiais recicláveis e 19% rejeitos. A geração per capita é de cerca de 0,4 kg por dia.
5. No local de disposição os catadores coletam os materiais passíveis de reciclagem (papel, plástico e papelão) após a rota da coleta regular e, posteriormente, ocasionam incêndios intencionais para diminuir o volume dos resíduos sólidos e facilitar a coleta de outros materiais recicláveis (alumínio e metal ferroso).
6. O aterro sanitário mais próximo da cidade de Humaitá está num raio de 500 km, localizado na cidade de Ariquemes-RO. Local esse que é gerido por um consórcio intermunicipal.

7. O município não possui cooperativas ou associações que visam o aproveitamento de materiais recicláveis. No entanto o município de Manicoré-AM que faz limite com Humaitá possui a única cooperativa de catadores em operação no sul do estado do Amazonas.

8. Indústria recicladora mais próxima da região localiza-se na cidade de Manaus-AM.

9. Os catadores no município vendem os materiais recicláveis para um atravessador. Em seguida esse atravessador, vende os materiais para outro atravessador na cidade de Porto Velho-RO para assim ser encaminhada a indústria de reciclagem no estado de São Paulo.

Caracterização do respondente:

Instituição: _____

As respostas devem ser baseadas segundo as escalas abaixo.

- 1 ____ Não concordo totalmente
- 2 ____ Não concordo parcialmente
- 3 ____ Não concorda e nem discorda
- 4 ____ Concordo parcialmente
- 5 ____ Concordo totalmente

1º) Quais os principais problemas, limitações e barreiras enfrentadas pelos municípios de pequeno porte da Amazônia em relação ao cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS):

a) Falta de incentivos legais e financeiros p/ programar a PNRS.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

b) Profissionais capacitados para projetar, operar e monitorar aterro sanitário.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

c) Falta de conhecimento sobre a legislação.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

d) Dificuldade para a montagem de cooperativa de materiais recicláveis.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

2º) O planejamento da gestão de RS pode trazer ganhos e melhor organização do espaço territorial dos municípios e recursos econômicos.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

3º) Dentre as alternativas de disposição e tecnologias de tratamento dos RSU disponíveis no Brasil. Qual (is) há potencial de melhor utilização dos resíduos sólidos na região sul do estado do Amazonas:

a) Aterro Sanitário

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

b) Compostagem

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente

3 __ Não concorda e nem discorda

4 __ Concordo parcialmente

5 __ Concordo totalmente

b) Incineração

1 __ Não concordo totalmente

2 __ Não concordo parcialmente

3 __ Não concorda e nem discorda

4 __ Concordo parcialmente

5 __ Concordo totalmente

c) Reciclagem

1 __ Não concordo totalmente

2 __ Não concordo parcialmente

3 __ Não concorda e nem discorda

4 __ Concordo parcialmente

5 __ Concordo totalmente

4º) Visando melhorar, organizar e otimizar o planejamento municipal, qual (is) alternativas de gestão de resíduos sólidos urbano se enquadrariam em ambientes amazônicos com predominância de logística fluvial:

a) Prevenção

1 __ Não concordo totalmente

2 __ Não concordo parcialmente

3 __ Não concorda e nem discorda

4 __ Concordo parcialmente

5 __ Concordo totalmente

b) Cooperativas de reciclagem e inclusão social

1 __ Não concordo totalmente

2 __ Não concordo parcialmente

3 __ Não concorda e nem discorda

4 __ Concordo parcialmente

5 __ Concordo totalmente

c) Consórcios Intermunicipais

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

5º) Diante da escassez de indústrias recicladoras e mercado para absorver os materiais passíveis de serem reciclados na região Amazônica. Quais são as barreiras e limitações para atrair essas respectivas indústrias.

a) Baixa produção diária de RS e conseqüentemente pouco material reciclável.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

b) Baixa concentração populacional

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

c) Padrões de produção e consumo

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

d) Irrelevante potencialidade de reciclagem

- 1 __ Não concordo totalmente

- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

e) Falta de estratégias do poder público municipal

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

f) Precariedade na logística

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

6º) Visando propor cenários de gestão dos RSU para avaliação de Ciclo de Vida no município de Humaitá-AM, qual (is) seriam os cenários mais factíveis:

a) C1 - Coleta convencional + Aterro: Construção de um aterro sanitário e disposição no mesmo de todos os resíduos gerados (orgânicos, recicláveis e rejeitos) na cidade.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

b) C2 - Coleta convencional + coleta diferenciada + triagem + aterro: Considera o aproveitamento de 100% de materiais recicláveis, e 100% do aterramento dos rejeitos e matéria orgânica no aterro. Com envio dos resíduos para o processo de reciclagem via terrestre em uma distância de 200 km até a cidade de Porto Velho-RO.

- 1 __ Não concordo totalmente

- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

c) C3 - Coleta convencional + coleta diferenciada + triagem + estação de transbordo + aterro: Considera o aproveitamento de 100% de materiais recicláveis, e 100% do aterramento dos rejeitos e matéria orgânica no aterro. Com envio dos resíduos para o processo de reciclagem via transporte fluvial em uma distância de 700 km até a cidade de Manaus-AM.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

d) C4 - Coleta convencional + coleta diferenciada + triagem + aterro: Considera o aproveitamento de 70% de materiais recicláveis, e o aterramento dos demais resíduos no aterro. Com envio dos resíduos para o processo de reciclagem via terrestre em uma distância de 200 km até a cidade de Porto Velho-RO.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

e) C5 - Coleta convencional + coleta diferenciada + triagem + estação de transbordo + aterro: Considera o aproveitamento de 70% de materiais recicláveis, e o aterramento dos demais resíduos no aterro. Com envio dos resíduos para o processo de reciclagem via transporte fluvial em uma distância de 700 km até a cidade de Manaus-AM.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

f) C6 - Coleta convencional + coleta diferenciada + triagem + aterro: Considera o aproveitamento de 35% de materiais recicláveis, e o aterramento dos demais resíduos no aterro. Com envio dos resíduos para o processo de reciclagem via terrestre em uma distância de 200 km até a cidade de Porto Velho-RO.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

g) C7 - Coleta convencional + coleta diferenciada + triagem + estação de transbordo + aterro: Considera o aproveitamento de 35% materiais recicláveis, e o aterramento dos demais resíduos no aterro. Com envio dos resíduos para o processo de reciclagem via transporte fluvial em uma distância de 700 km até a cidade de Manaus-AM.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

h) C8 - Coleta convencional + coleta diferenciada + triagem + usina de compostagem+ estação de transbordo + aterro: Considera o aproveitamento de 100% de materiais recicláveis, 100% da matéria orgânica e o aterramento dos demais resíduos no aterro. Com envio dos resíduos para o processo de reciclagem via terrestre em uma distância de 200 km até a cidade de Porto Velho-RO. E envio do composto para agricultores locais em um raio de 23 km.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

i) C9 - Coleta convencional + coleta diferenciada + triagem + usina de compostagem+ estação de transbordo + aterro: Considera o aproveitamento de 100% de materiais recicláveis, 100%

da matéria orgânica e o aterramento dos demais resíduos no aterro. Com envio dos resíduos para o processo de reciclagem via transporte fluvial em uma distância de 700 km até a cidade de Manaus-AM. E envio do composto para agricultores locais em um raio de 23 km.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

j) C10 - Coleta convencional + coleta diferenciada + triagem + usina de compostagem+ estação de transbordo + aterro: Considera o aproveitamento de 70% de materiais recicláveis, 70% da matéria orgânica e o aterramento dos demais resíduos no aterro. Com envio dos resíduos para o processo de reciclagem via terrestre em uma distância de 200 km até a cidade de Porto Velho-RO. E envio do composto para agricultores locais em um raio de 23 km.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

k) C11 - Coleta convencional + coleta diferenciada + triagem + usina de compostagem+ estação de transbordo + aterro: Considera o aproveitamento de 70% de materiais recicláveis, 50% da matéria orgânica e o aterramento dos demais resíduos no aterro. Com envio dos resíduos para o processo de reciclagem via transporte fluvial em uma distância de 700 km até a cidade de Manaus-AM. E envio do composto para agricultores locais em um raio de 23 km.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

l) C12 - Coleta convencional + coleta diferenciada + triagem + usina de compostagem+ estação de transbordo + aterro: Considera o aproveitamento de 35% de materiais recicláveis, 35% da matéria orgânica e o aterramento dos demais resíduos no aterro. Com envio dos

resíduos para o processo de reciclagem via terrestre em uma distância de 200 km até a cidade de Porto Velho-RO. E envio do composto para agricultores locais em um raio de 23 km.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

m) C13 - Coleta convencional + coleta diferenciada + triagem + usina de compostagem+ estação de transbordo + aterro: Considera o aproveitamento de 35% de materiais recicláveis, 35% da matéria orgânica e o aterramento dos demais resíduos no aterro. Com envio dos resíduos para o processo de reciclagem via transporte fluvial em uma distância de 700 km até a cidade de Manaus-AM. E envio do composto para agricultores locais em um raio de 23 km.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

n) C14 - Coleta convencional + incineração: Eliminação de todo o resíduo gerado no município pelo processo de incineração.

- 1 __ Não concordo totalmente
- 2 __ Não concordo parcialmente
- 3 __ Não concorda e nem discorda
- 4 __ Concordo parcialmente
- 5 __ Concordo totalmente

Apêndice E - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Título da Pesquisa: “ANÁLISE DE CENÁRIOS DE GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS BASEADO NA TRANSIÇÃO DE ECOEFICIÊNCIA, NA SUB-REGIÃO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, BRASIL”

Nome do Pesquisador: Benone Otávio Souza de Oliveira

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

O Sr. (a) está sendo convidado (a) como voluntário (a) a participar da pesquisa “ANÁLISE DE CENÁRIOS DE GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS BASEADO NA TRANSIÇÃO DE ECOEFICIÊNCIA, NA SUB-REGIÃO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, BRASIL”, que será desenvolvida pelo pesquisador, Benone Otávio Souza de Oliveira, doutorando em Ciências Ambientais pelo Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba (ICT/UNESP), com orientação do professor Dr. Gerson Araújo de Medeiros (ICT/UNESP).

O motivo que nos leva a este estudo é que em áreas de vulnerabilidade ambiental, social e econômica, como na região Amazônica são escassos estudos de ACV relacionados à gestão de RSU, além disso, a baixa densidade populacional, extensão territorial, elevada precipitação, altas temperaturas, reduzida industrialização, estrutura logística deficiente, dificuldade da instalação, manutenção e operação de obras civis como estradas e estruturas de saneamento, como aterros sanitários, estações de tratamento de água e esgoto, e sistemas de drenagem de águas pluviais, levam a uma piora dos indicadores de qualidade ambiental dessa região.

A presente pesquisa visa desenvolver um referencial metodológico para dar suporte à tomada de decisão na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Sul do estado do Amazonas, na região do município de Humaitá, Brasil, utilizando a técnica de avaliação do ciclo de vida.

Sua participação se dará a partir da aplicação da técnica Delphi, o qual é um método subjetivo de previsão confiável, pois expressa a evolução de eventos por meio de opiniões de especialistas, além disso, apresenta como uma das principais características o anonimato do participante. Os especialistas foram selecionados por sua percepção e experiência na área de gestão de resíduos sólidos urbanos, e assim convidados a responder um questionário estruturado em formato eletrônico através do formulário Google docs.

O (a) senhor (a) ao aceitar participar da pesquisa deverá: Eletronicamente aceitar participar da pesquisa, o que corresponderá à assinatura do TCLE, sendo que, concomitantemente a isso, será encaminhado via e-mail, caso desejar o termo impresso.

Para participar deste estudo o Sr.(a) não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Apesar disso, caso sejam identificados e comprovados danos provenientes desta pesquisa, o Sr. (a) tem assegurado o direito a indenização (Resolução N° 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, item V.7). Sua participação auxiliará na construção de cenários factíveis de gestão de RSU para região sul do estado do Amazonas, podendo deste modo trazer benefícios, através de informações para tomadas de decisões ao município de Humaitá/AM, como também aos demais municípios da Amazônia que apresente características semelhantes. Ressalta-se, ainda, que a técnica proposta permite a participação de especialistas dispersos geograficamente, sem necessidade de deslocamento até o local da pesquisa, possibilitando o enriquecimento do estudo com uma visão multidisciplinar, além de possibilitar o desenvolvimento da pesquisa com baixo custo.

Sua colaboração é voluntária e sem identificação dos sujeitos participantes, sendo preservada sua privacidade e mantida sua identidade em sigilo, minimizando a possibilidade de desconforto para expressar sua opinião. A qualquer momento da realização da pesquisa, caso não seja de seu interesse a continuidade na participação, haverá possibilidade de retirar esse consentimento, e para tanto, você poderá fazer o contanto nos endereços mencionados nesse termo.

Os riscos envolvidos na pesquisa consistem em risco mínimo, onde não se realiza nenhuma intervenção nas variáveis fisiológicas ou psicológicas e sociais, garantindo assim a total integridade e direitos dos indivíduos.

Ao participar desta pesquisa você não terá nenhum benefício direto. Entretanto, esperamos que este estudo contribua com informações importantes para literatura científica, além de contribuir para estratégias e tomada de decisões do poder público no que tange a gestão de resíduos sólidos urbanos na região Amazônica.

Os dados coletados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 (cinco) anos, e após esse tempo serão excluídos, de forma que os mesmos não possam ser utilizados por terceiros. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo, atendendo as legislações brasileiras (Resoluções N° 510/16 e N° 466/12 do Conselho Nacional de Saúde), utilizando as informações somente para os fins acadêmicos e científicos.

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Eu, _____, portador do documento de Identidade _____ na qualidade de especialista e participante voluntário (a), concordo em participar da pesquisa **“ANÁLISE DE CENÁRIOS DE GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS BASEADO NA TRANSIÇÃO DE ECOEFICIÊNCIA, NA SUB-REGIÃO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, BRASIL”**. Fui informado (a) dos objetivos da pesquisa de maneira clara e detalhada e esclareci minhas dúvidas.

Declaro, ainda, estar ciente que os procedimentos realizados serão utilizados exclusivamente com a finalidade de desenvolver estudo para divulgação dos resultados no meio acadêmico, sem identificação dos sujeitos participantes.

Minha participação se dará na forma de colaboração para a construção de cenários factíveis de gestão de RSU para região sul do estado do Amazonas, por meio da aplicação da técnica Delphi, com duração aproximada de 5 minutos, sem prejuízo das minhas atividades.

Estou informado (a) e esclarecido (a) de que:

- a) Minha identidade será mantida em sigilo e minha privacidade preservada.
- b) Minha participação ou não participação não acarretará ônus financeiro para minha pessoa;
- c) Minha participação é voluntária, e em possíveis desconfortos para expressar minha opinião como especialista serão minimizados perante características como, o anonimato presente na técnica utilizada durante a realização da pesquisa.
- d) Mesmo após o início, posso recusar-me a realizar a atividade solicitada, retirando minha autorização para participar da pesquisa a qualquer momento, sem nenhum tipo de prejuízo a minha pessoa.
- e) Recebi informações sobre os objetivos desta pesquisa e tenho o direito de receber, respostas, em qualquer momento, sobre as dúvidas relacionadas à mesma.

Estando ciente e de acordo, firmo o presente.

Declaro que concordo em participar. Recebi uma via original deste termo de consentimento livre e esclarecido e me foi dada à oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Sorocaba, _____ de _____ de 20____

Assinatura do Participante

Assinatura do Pesquisador

Pesquisador: Benone Otávio Souza de Oliveira

E-mail: benone.oliveira@unesp.br

Contato: (92) 981034229

Orientador: Gerson Araújo de Medeiros

E-mail: gerson.medeiros@unesp.br

Contato: (15) 32383400

**Em caso de dúvidas, com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa, você poderá
consultar:**

CEP - Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos - UNESP

Faculdade de Ciências – Campus Bauru

CEP: 17033-360

Fone: (14) 3103-9400 / E-mail: cepesquisa@fc.unesp.br

Apêndice F - Questionário aplicado à associação de catadores de Manicoré - AM

- (1) Como se originou a Associação (histórico)?
- (2) A associação possui estrutura física adequada (galpão de triagem, prensa, e outros)?
- (3) A associação é reconhecida a nível municipal e possui concorrente dentro do município?
- (4) Como os materiais são armazenados e qual a periodicidade do encaminhamento a indústria de reciclagem?
- (5) Quais as matérias que a associação trabalha?
- (6) Os materiais recicláveis acondicionados nos fardos de 500 kg que envia para Manaus são separados por tipo de resíduos?
- (7) Qual o preço do fardo por material (plástico, papel, alumínio)?
- (8) Qual o custo do frete até o barco e do carregador?
- (9) Existe rateio de lucro dos materiais vendidos com os outros cooperados?
- (10) Os materiais recicláveis arrecadados pela associação são comprados de catadores ou somente da demanda dos cooperados?
- (11) A despesa, de água, luz, compra de sacos de fibra, frete e carregamento até o porto, são descontados do lucro do material?

Apêndice G - Questionário aplicado ao gestor do aterro sanitário de Ariquemes - RO

- (1) Qual a produção de resíduos que chega ao aterro?
- (2) Quantificam o chorume no aterro?
- (3) Qual o custo operacional, de implantação e manutenção do aterro?
- (4) Qual o custo de uma tonelada de resíduo transportado em um quilômetro?
- (5) Qual a quantidade estimada do gás gerado no aterro?
- (6) O que fazem com os resíduos recicláveis e orgânicos?
- (7) Tem empresa de reciclagem na cidade ou destina-se Porto Velho?
- (8) Qual o consumo de água e energia no processo de triagem de resíduos?
- (9) Em razão do alto índice de pluviometria na região, quais os processos para uma drenagem eficiente de águas pluviais?

Tabela 27 - Dados de entrada e saída das unidades de destinação dos RSU para o “C1” anual.

Parâmetro	Coleta Regular	Coleta Diferenciada	Transporte Fluvial (MAO)	Transporte Composto	Triagem	Compostagem	Transbordo	Aterro
Entrada								
Diesel (t)	46,30	5,32	1,58	2,48	0	0	0	9,50
Energia Elétrica (kwh)	0	0	0	0	943,04	16.170	58,9	7.200
Água (m ³)	0	0	0	0	338,90	2.656	0	0
Transporte (tkm)	255.500	6.716	206.290	0	0	0	0	0
Saída								
Dióxido de Carbono (t)	88,33	10,16	5,01	8,83	0	0,14	0	401,37
Monóxido de Carbono (t)	1,825	0,21	0	0,183	0	0,04	0	0,0012
Material Particulado (t)	1,168	0,013	0	0,12	0	0	0	0
Hidrocarbonetos (t)	0,44	0,051	0	0,044	0	0	0	0
Dióxido de Enxofre (t)	0,219	0,025	0	0,03	0	0	0	0
Óxidos de Nitrogênio (t)	2,409	0,292	0	0,25	0	0,028	0	0
Metano (t)	0	0	0	0	0	0,069	0	14,00
Nitrogênio (t)	0	0	0	0	0	0	0	0,048
Lixiviado (t)	0	0	0	0	0	0	0	112,27
Sulfeto de Hidrogênio (t)	0	0	0	0	0	0,00002	0	0,31
Compostos orgânicos voláteis sem metano (NMVOC) (t)	0	0	0	0	0	0	0	1,13
Amônia (t)	0	0	0	0	0	0,12	0	0
Óxido Nitroso (t)	0	0	0	0	0	0,00023	0	0

Tabela 28 - Dados de entrada e saída das unidades de destinação dos RSU para o “C2” anual.

Parâmetro	Coleta Regular	Coleta Diferenciada	Transporte Fluvial (MAO)	Transporte Composto	Triagem	Compostagem	Transbordo	Aterro
Entrada								
Diesel (t)	46,30	5,32	0,66	2,48	0	0	0	9,97
Energia Elétrica (kwh)	0	0	0	0	394,88	16.170	24,72	7.200
Água (m ³)	0	0	0	0	142	2.656	0	0
Transporte (tkm)	262.800	2.854	86.380	0	0	0	0	0
Saída								
Dióxido de Carbono (t)	88,33	10,16	2,1	8,83	0	0,14	0	425,91
Monóxido de Carbono (t)	1,825	0,21	0	0,183	0	0,04	0	0,0013
Material Particulado (t)	1,168	0,013	0	0,12	0	0	0	0
Hidrocarbonetos (t)	0,44	0,051	0	0,044	0	0	0	0
Dióxido de Enxofre (t)	0,219	0,025	0	0,03	0	0	0	0
Óxidos de Nitrogênio (t)	2,409	0,292	0	0,25	0	0,028	0	0
Metano (t)	0	0	0	0	0	0,069	0	14,85
Nitrogênio (t)	0	0	0	0	0	0	0	0,052
Lixiviado (t)	0	0	0	0	0	0	0	119,14
Sulfeto de Hidrogênio (t)	0	0	0	0	0	0,00002	0	0,327
Compostos orgânicos voláteis sem metano (NMVOC) (t)	0	0	0	0	0	0	0	1,20
Amônia (t)	0	0	0	0	0	0,12	0	0
Óxido Nitroso (t)	0	0	0	0	0	0,00023	0	0

Tabela 29 - Dados de entrada e saída das unidades de destinação dos RSU para o “C3” anual.

Parâmetro	Coleta Regular	Coleta Diferenciada	Transporte Fluvial (MAO)	Transporte Composto	Triagem	Compostagem	Transbordo	Aterro
Entrada								
Diesel (t)	46,30	5,32	0,46	2,48	0	0	0	11,96
Energia Elétrica (kwh)	0	0	0	0	278,4	11.312	17,4	7.200
Água (m ³)	0	0	0	0	100	1.858	0	0
Transporte (tkm)	262.800	2.015	60.900	0	0	0	0	0
Saída								
Dióxido de Carbono (t)	88,33	10,16	1,48	8,83	0	0,09	0	530,30
Monóxido de Carbono (t)	1,825	0,21	0	0,183	0	0,027	0	0,0016
Material Particulado (t)	1,168	0,013	0	0,12	0	0	0	0
Hidrocarbonetos (t)	0,44	0,051	0	0,044	0	0	0	0
Dióxido de Enxofre (t)	0,219	0,025	0	0,03	0	0	0	0
Óxidos de Nitrogênio (t)	2,409	0,292	0	0,25	0	0,02	0	0
Metano (t)	0	0	0	0	0	0,048	0	18,50
Nitrogênio (t)	0	0	0	0	0	0	0	0,064
Lixiviado (t)	0	0	0	0	0	0	0	148,33
Sulfeto de Hidrogênio (t)	0	0	0	0	0	0,000017	0	0,407
Compostos orgânicos voláteis sem metano (NMVOC) (t)	0	0	0	0	0	0	0	1,50
Amônia (t)	0	0	0	0	0	0,08	0	0
Óxido Nitroso (t)	0	0	0	0	0	0,00016	0	0

Tabela 30 - Dados de entrada e saída das unidades de destinação dos RSU para o “C4” anual.

Parâmetro	Coleta Regular	Coleta Diferenciada	Transporte Fluvial (MAO)	Transporte Composto	Triagem	Compostagem	Transbordo	Aterro
Entrada								
Diesel (t)	46,30	5,32	0,23	2,48	0	0	0	14,28
Energia Elétrica (kwh)	0	0	0	0	139,2	5.656	8,69	7.200
Água (m ³)	0	0	0	0	50	929	0	0
Transporte (tkm)	270.100	1.007	30.408	0	0	0	0	0
Saída								
Dióxido de Carbono (t)	88,33	10,16	0,74	8,83	0	0,05	0	651,91
Monóxido de Carbono (t)	1,825	0,21	0	0,183	0	0,014	0	0,002
Material Particulado (t)	1,168	0,013	0	0,12	0	0	0	0
Hidrocarbonetos (t)	0,44	0,051	0	0,044	0	0	0	0
Dióxido de Enxofre (t)	0,219	0,025	0	0,03	0	0	0	0
Óxidos de Nitrogênio (t)	2,409	0,292	0	0,25	0	0,0098	0	0
Metano (t)	0	0	0	0	0	0,024	0	22,75
Nitrogênio (t)	0	0	0	0	0	0	0	0,08
Lixiviado (t)	0	0	0	0	0	0	0	182,13
Sulfeto de Hidrogênio (t)	0	0	0	0	0	0,0000085	0	0,50
Compostos orgânicos voláteis sem metano (NMVOC) (t)	0	0	0	0	0	0	0	1,85
Amônia (t)	0	0	0	0	0	0,04	0	0
Óxido Nitroso (t)	0	0	0	0	0	0,00008	0	0

Apêndice I – Cálculo Econômico dos Cenários

Resultados da avaliação econômica por meio dos custos operacionais e de investimentos para cada cenário. Nesta perspectiva os custos operacionais e de investimentos contempla o transporte, tratamento, disposição final, energia (kWh) e água (m³).

Tabela 31 - Avaliação econômica anual para cada cenário em reais sem amortização.

Custos/Operacionais (SGRSU)	US\$/Unidade	Total/Unidade				
		CBASE	C1	C2	C3	C4
Custos Operacionais						
Energia (kWh)	0,22	7.200,00	24.372,00	23.789,00	18.807,00	13.003,00
Água (m ³)	1,58	0	2.995,00	2.798,00	1.958,00	979
Coleta Regular (t)	19,86	5.412,00	5.117,00	5.288,00	5.325,00	5.368,00
Coleta Diferenciada (ton)	68,22	0	694,4	123,4	87	43,5
Transporte fluvial (frete) até Manaus (t)	27,53	0	294,7	123,4	87	43,5
Diesel (L)	1,23	74.001,00	76.666,00	76.150,00	78.255,00	80.715,00
Triagem (t)	47,25	0	294,7	123,4	87	43,5
Disposição em Aterro (t)	12,77	5.412,00	2.931,00	2.978,00	3.709,00	4.560,00
Galpão de Triagem - equipamentos	91.772,15	0	1	1	1	1
Compostagem (t)	31,64	0	2.310,00	2.310,00	1.616,00	808
Custos de Investimento						
Construção de um aterro	949.367,09	1	1	1	1	1
Galpão de Triagem - construção	50.632,92	0	1	1	1	1
Planta de Compostagem	31.645,57	0	1	1	1	1