

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS E HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE
ORGANIZAÇÕES PÚBLICAS**

Ruan Brum Caramês

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS
NA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES NA ZONA
RURAL - UMA ABORDAGEM UTILIZANDO DINÂMICA DE
SISTEMAS**

Santa Maria, RS
2021

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS E HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE
ORGANIZAÇÕES PÚBLICAS**

Ruan Brum Caramês

**EVALUATING OF SOCIOECONOMIC AND ENVIRONMENTAL
IMPACTS IN THE MANAGEMENT OF HOUSEHOLD SOLID WASTE IN
THE RURAL AREA - AN APPROACH USING SYSTEM DYNAMICS**

Santa Maria, RS
2021

Ruan Brum Caramês

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS NA
GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES NA ZONA RURAL - UMA
ABORDAGEM UTILIZANDO DINÂMICA DE SISTEMAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Organizações Públicas de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do título de **Mestre em Gestão de Organizações Públicas.**

Orientador: Prof. Dr. Eugênio de Oliveira Simonetto

Santa Maria, RS
2021

Carames, Ruan

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS NA
GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES NA ZONA RURAL -
UMA ABORDAGEM UTILIZANDO DINÂMICA DE SISTEMAS / Ruan

Carames.- 2021.
120 p.; 30 cm

Orientador: Eugênio de Oliveira Simonetto
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Sociais e Humanas, Programa de
Pós-Graduação em Gestão de Organizações Públicas, RS, 2021

1. Dinâmica de Sistemas 2. Resíduos Sólidos 3.
Aglomerados Rurais 4. Modelagem I. de Oliveira
Simonetto, Eugênio II. Título.

Ruan Brum Caramês


**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS NA
GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES NA ZONA RURAL - UMA
ABORDAGEM UTILIZANDO DINÂMICA DE SISTEMAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Organizações Públicas de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do título de **Mestre em Gestão de Organizações Públicas**.

Aprovado em 23 de junho de 2021:



Eugênio de Oliveira Simonetto (UFSM) - videoconferência
(Presidente/Orientador)



Celso Silva Gonçalves (IFSul) - videoconferência



Hélio Cristiano Gomes Alves De Castro (IPP) - videoconferência

Santa Maria, RS
2021

AGRADECIMENTOS

Não tenho como nominar todas as pessoas que contribuíram e auxiliaram nessa jornada, as quais reservo toda gratidão, mas preciso destacar e enaltecer aqueles que tiveram grande destaque e importância durante todo o processo. Meus mais sinceros agradecimentos:

Ao amigo e orientador, Professor Dr. Eugênio de Oliveira Simonetto, pela paciência, dedicação, suporte e confiança, por todas as conversas e conselhos desde a especialização;

Aos professores Celso Silva Gonçalves e Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro pelas contribuições na avaliação do projeto;

Aos meus professores pelo conhecimento compartilhado, disponibilidade e suporte;

A minha esposa pelo companheirismo e dedicação ao ter assumido praticamente sozinha os cuidados de nossa filha nos seus primeiros meses de vida;

A minha mãe pelo incentivo e suporte nas horas de dificuldade;

Aos amigos Glauco Rodrigues e Roni de Barros pelos inúmeros auxílios e suporte técnico;

A colega e amiga Rone Maria Rachele, por toda atenção, disponibilidade e auxílio e pelas inúmeras horas de conversas, bolos e chimarrões compartilhados;

A colega e amiga Sabrina Guimarães de Vargas pelas centenas de quilômetros compartilhados com boas conversas e estudo;

Aos colegas do Programa de Pós Graduação em Gestão de Organizações Públicas pelo companheirismo e pelos momentos de aprendizado compartilhados no mestrado.

RESUMO

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS NA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES NA ZONA RURAL - UMA ABORDAGEM UTILIZANDO DINÂMICA DE SISTEMAS

AUTOR: Ruan Brum Caramês

ORIENTADOR: Eugênio de Oliveira Simonetto

Este trabalho apresenta a compreensão, desenvolvimento e execução de modelos computacionais, os quais têm por funcionalidade principal a análise situacional e geração de alternativas para auxílio no processo decisório de implementação de políticas públicas, no que se refere a gestão de resíduos sólidos domiciliares em aglomerados rurais. Estas comunidades possuem condições semelhantes à estrutura de periferias urbanas, o que resulta em uma produção per capita de resíduos maior e mais diversificada. Os modelos foram desenvolvidos utilizando o método de Dinâmica de Sistemas, que possui as ferramentas necessárias para o estudo de sistemas dinâmicos, que alteram-se no decorrer do tempo, possibilitando a análise de sistemas complexos. Através do Vensim, foi possível desenvolver, documentar, simular e analisar os modelos, constatando o impacto ambiental e social causado pela geração e descarte de resíduos. Para a implementação no simulador Vensim (Vensim, 2016), foram utilizados dados históricos, com base em informação de fontes oficiais, para a verificação da integração entre os módulos componentes do modelo, bem como dos resultados gerados, uma vez que foram avaliadas as saídas produzidas em cada simulação a partir de dados reais fornecidos aos mesmos. Evidenciou-se os impactos do descarte e destinação irregular dos resíduos e os benefícios da implantação dos processos de gestão referentes a separação dos materiais recicláveis e o processamento da matéria orgânica existente. Em ambos os processos, os resultados foram satisfatórios e atenderam às expectativas dos projetistas, demonstrando um potencial de redução percentual superior a 76% nos resíduos descartados de forma irregular, salientando os benefícios ocasionados pela gestão e manejo adequado dos resíduos sólidos domiciliares. Cabe ressaltar que as condições observadas na falta de manejo são um alerta devido ao passivo socioambiental gerado. Com os resultados gerados pelo modelo de simulação, os gestores podem, antecipadamente, discutir, avaliar, decidir medidas e validar as políticas públicas necessárias para minimizar os impactos socioambientais dos descartes irregulares dos resíduos, melhorando deste modo as condições de vida nas comunidades rurais.

Palavras-chave: Dinâmica de Sistemas; Resíduos Sólidos; Aglomerados Rurais.

ABSTRACT

EVALUATING OF SOCIOECONOMIC AND ENVIRONMENTAL IMPACTS IN THE MANAGEMENT OF HOUSEHOLD SOLID WASTE IN THE RURAL AREA - AN APPROACH USING SYSTEM DYNAMICS

AUTHOR: Ruan Brum Caramês
ADVISOR: Eugênio de Oliveira Simonetto

This work presents the understanding, development and execution of computational models, which have the main functionality of situational analysis and generation of alternatives to assist in the decision-making process for the implementation of public policies, with regard to the management of household solid waste in rural settlements. These communities have conditions similar to the structure of urban peripheries, which results in a larger and more diversified production of waste per capita. The models were developed using the System Dynamics method, which has the necessary tools for the study of dynamic systems, which change over time, enabling the analysis of complex systems. Through Vensim, it was possible to develop, document, simulate and analyze the models, verifying the environmental and social impact caused by the generation and disposal of waste. For the implementation in the Vensim simulator (Vensim, 2016), historical data were used, based on information from official sources, to verify the integration between the component components of the model, as well as the results generated, since the outputs were evaluated produced in each simulation from real data provided to them. The impacts of the disposal and irregular destination of waste were evidenced and the benefits of implementing management processes related to the separation of recyclable materials and the processing of existing organic matter. In both processes, the results were satisfactory and met the expectations of the designers, demonstrating a percentage reduction potential of over 76% in irregularly discarded waste, highlighting the benefits occasioned by the management and proper handling of household solid waste. Fits noteworthy that the conditions observed in the lack of management are a warning due to the socio-environmental liability generated. With the results generated by the simulation model, managers can, in advance, discuss, evaluate, decide measures and validate the public policies necessary to minimize the socio environmental impacts of irregular waste discharges, thus improving living conditions in rural communities.

Keywords: System Dynamics; Solid Waste; Rural Settlements

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil em 2018.....	35
Figura 2 - Destinação final RSU no Brasil em 2018.....	36
Figura 3 - Fórmula cálculo da emissão de CO ₂ na incineração/queima de resíduos sólidos.....	38
Figura 4 - Hierarquia de prioridades na gestão de RS.....	45
Figura 5 - Obrigações municipais para gestão de RS.....	51
Figura 6 - Componentes do modelo da DS.....	59
Figura 7 - Etapas do processo interativo de modelagem.....	66
Figura 8 - Fluxo de trabalho e execução do projeto.....	67
Figura 9 - Etapas para criação das variáveis.....	70
Figura 10 - Modelo de simulação.....	73
Figura 11 - Submodelo geração de RSR anual.....	73
Figura 12 - Submodelo processamento RSR.....	74
Figura 13 - Submodelo ganho reciclagem.....	75
Figura 14 - Submodelo produção de biogás.....	76
Figura 15 - Submodelo emissão de CO ₂	77
Figura 16 - Fluxograma de análise dos cenários.....	83
Figura 17 - Produção anual de RSD no meio rural.....	86
Figura 18 - Emissão anual de CO ₂	88
Figura 19 - Descarte irregular anual de RSR.....	90
Figura 20 - Impacto da reciclagem na queima de RSD.....	93
Figura 21 - Impacto da reciclagem na emissão de CO ₂	94
Figura 22 - Estimativa da quantidade média anual de RSD queimados nos aglomerados rurais.	101
Figura 23 - Estimativa da quantidade média anual de RSD descartados nos aglomerados rurais	102
Figura 24 - Estimativa da quantidade média anual de RSD reciclados nos aglomerados rurais	103
Figura 25 - Estimativa da quantidade média anual de emissão de CO ₂	105
Figura 26 - Estimativa da quantidade média anual de receita com a reciclagem.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros para cálculo da emissão de CO ₂ na incineração/queima de resíduos sólidos	39
Tabela 2 - População rural dos municípios analisados.....	42
Tabela 3 - Estimativa de produção de resíduos sólidos e lixo doméstico.....	42
Tabela 4 - Potencial de ganho com reciclagem (R\$/KG).....	53
Tabela 5 - Habitantes das comunidades locais estudadas.....	61
Tabela 6 - Informações e atributos coletados.....	71
Tabela 7 - Cenário 1.....	79
Tabela 8 - Cenário 2.....	79
Tabela 9 - Cenário 3.....	80
Tabela 10 - Tipos de validação de sistemas.....	82
Tabela 11 - Configurações da simulação do cenário 1.....	85
Tabela 12 - Resultados da simulação do cenário 1.....	85
Tabela 13 - Produção média anual de RSD.....	85
Tabela 14 - Estimativa da quantidade média anual de RSD queimados.....	87
Tabela 15 - Estimativa da quantidade média anual de CO ₂ emitido pela queima de RSD.....	87
Tabela 16 - Estimativa média de RSR descartados de forma irregular.....	89
Tabela 17 - Configurações da simulação do cenário 2.....	91
Tabela 18 - Resultados da simulação do cenário 2.....	92
Tabela 19 - Estimativa anual do processamento e descarte final dos RSR.....	92
Tabela 20 - Estimativa de ganho pela reciclagem dos RSD.....	95
Tabela 21 - Configuração da simulação do cenário 3.....	96
Tabela 22 - Resultado da simulação do cenário 3.....	97
Tabela 23 - Estimativa da quantidade média anual dos materiais processados.....	98
Tabela 24 - Estimativa da produção média anual de conversão de biogás.....	99
Tabela 25 - Conversão do biogás em outras fontes de energia.....	100
Tabela 26 - Quantidade média anual de RSD incinerados/queimas.....	100
Tabela 27 - Quantidade média anual de RSD descartados solo/água.....	101
Tabela 28 - Quantidade média anual de matéria orgânica processada.....	103
Tabela 29 - Quantidade média anual de matéria com potencial de reciclagem.....	103
Tabela 30 - Quantidade média anual de emissão de CO ₂	104
Tabela 31 - Estimativa da quantidade média anual de receita produzida pela reciclagem.....	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação de resíduos sólidos – ABNT.....	32
Quadro 2 - Variáveis fórmula CO ₂ emissão.....	39
Quadro 3 - Conceitos de simulação computacional.....	55
Quadro 4 - Etapas do processo de modelagem.....	65
Quadro 5 - Equações e variáveis do modelo.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CG	Composição gravimétrica
CH ₄	Metano
CNM	Confederação Nacional dos Municípios
CO ₂	Dióxido de Carbono
DS	Dinâmica de Sistemas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
N ₂ O	Óxido nitroso
ONG	Organização Não Governamental
PGIMRS	Plano de Gestão Integrada Municipal de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Política Nacional de Saneamento Básico
PSGIRS	Plano Simplificado de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
RS	Resíduo Sólido
RSD	Resíduo Sólido Doméstico
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RSR	Resíduo Sólido Rural
SEBRAE	Serviço Brasileiro de apoio às Micro e Pequenas Empresas
SELURB	Sindicato das Empresas de Limpeza Urbana no Estado de São Paulo
SD	System Dynamics
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TCE	Tribunal de Contas do Estado
TIC's	Tecnologias da Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	25
1.2	OBJETIVOS	27
1.2.1	Objetivo geral	28
1.2.2	Objetivos específicos	28
1.3	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	28
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	30
2	REFERENCIAL TEÓRICO	31
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS (RS)	31
2.2.1	Consumo e geração de resíduos sólidos domiciliares	33
2.2.2	Consumo e geração de resíduos sólidos na zona rural	37
2.2.3	Produção de resíduos sólidos domiciliares na zona rural	41
2.3	LEGISLAÇÕES - GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	43
2.4	GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS MUNICIPAL	47
2.4.1	Alternativas de gestão dos resíduos sólidos domiciliares na zona rural	51
2.5	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	55
2.5.1	Dinâmica de sistemas	57
2.5.2	Componentes do modelo	58
2.6	COLETA DE DADOS	60
2.6.1	Caracterização do ambiente analisado	60
2.7	HIPÓTESE DINÂMICA	62
2.8	ANÁLISE DOS RESULTADOS	63
3	MÉTODO DE PESQUISA	64
3.1	TIPO DE PESQUISA	64
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	65
4	DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO	69
4.1	SUBMODELOS DESENVOLVIDOS	73
4.1.1	Submodelo geração de resíduos sólidos rural anual	73
4.1.2	Submodelo processamento resíduos sólido rural	74
4.1.3	Submodelo ganho com a reciclagem	75
4.1.4	Submodelo produção de biogás	76
4.1.5	Submodelo emissão de CO ₂	77
4.2	VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL	80
5	ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	83
5.1	PRODUÇÃO DE RSD NOS AGLOMERADOS RURAIS	84
5.1.1	Emissão de CO ₂	86
5.1.2	Descarte irregular RSR	88
5.2	RECICLAGEM	90
5.2.1	Emissão de CO ₂	93
5.2.2	Geração de receita	94
5.3	PROCESSAMENTO MATÉRIA ORGÂNICA	96
5.3.1	Produção de biogás/gás e biogás/kWh	98
5.4	COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIOS	100
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
	REFERÊNCIAS	111
	APÊNDICE	120

1 INTRODUÇÃO

A gestão adequada dos resíduos sólidos é um dos maiores desafios para os gestores públicos no século XXI, tendo em vista os impactos socioambientais envolvidos e a crescente produção de rejeitos pela população (REIS et. al., 2016). Grande parte do problema está associada à falta de sensibilização e conscientização por parte da população e pela falta de políticas públicas que tratem o problema de forma integrada entre a comunidade, a esfera pública e o setor privado. No meio urbano é constante o planejamento do gerenciamento de resíduos sólidos, no entanto esta realidade é pouco difundida no meio rural, gerando graves problemas ambientais, pois a forma como os resíduos são dispostos e tratados cada vez mais fazem a diferença na questão de sustentabilidade ambiental (PASQUALI, 2012).

As alterações nos padrões de consumo no meio rural fazem com que cada vez mais se produzam resíduos domésticos, que somados ao descarte das embalagens de produtos utilizados nas atividades agropecuárias, embalagens de defensivos agrícolas e produtos veterinários, decorrentes da modernização do agronegócio, resulta em um volume considerável de resíduos a serem processados. Segundo Pasquali (2012), a partir da década de 1990, ocorreu no setor rural uma grande mudança nos hábitos de consumo da população, isso em função das transformações socioeconômicas e culturais globais, passando a mesma a consumir muitos produtos comerciais transformados e industrializados.

Esta relação socioeconômica e ambiental gera de forma direta e indireta impactos ambientais, que precisam ser tratados por meio de políticas públicas que visem à redução, tais como a reciclagem, reutilização e destinação correta dos resíduos, medidas necessárias para o controle desse passivo ambiental na área rural, minimizando as cargas poluidoras sobre o solo e recursos hídricos, e de proliferação dos vetores de doenças. O lixo depositado inadequadamente provoca poluição visual; degradação ambiental; poluição de corpos d'água; além da proliferação de insetos e roedores que causam doenças (PASQUALI, 2012).

A produção de resíduos encontra-se intrinsecamente ligada ao dia a dia da população, tanto nas áreas urbanas quanto na zona rural. Anteriormente tinha-se a impressão de que a produção do lixo era maior nas áreas urbanas, porém atualmente ambas têm acesso aos mesmos bens de consumo, gerando resíduos com as mesmas características, diferenciando-se somente em sua destinação final. Estas transformações socioeconômicas são resultado da alteração da composição da renda familiar, incluindo rendimentos tais como aposentadoria, pensão, arrendamentos e aluguéis, receitas não provenientes do uso da terra, que geraram uma grande

mudança nos hábitos alimentares, passando estas populações a consumirem mais produtos transformados e industrializados (PASQUALI, 2012).

A busca por soluções capazes de reverter ou minimizar a degradação do meio ambiente gera discussão sobre a destinação correta dos resíduos, tornando-se assunto de destaque em políticas públicas. A Gestão de resíduos sólidos domésticos no meio rural está prevista na Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), estabelecida pela Lei Federal nº 11.445/07 e regulamentada pelo Decreto nº 7.217/2010, que estabelece as diretrizes para o saneamento básico em todo o país, contemplando os serviços de abastecimento de água, manejo de resíduos sólidos e manejo de águas pluviais. A PNSB trata os resíduos sólidos como um princípio básico das políticas de universalização dos serviços públicos e inclui as populações rurais (BRASIL, 2007).

Em 2010 a PNSB foi fortalecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal nº. 12.305 que desenvolveu o conceito de gestão compartilhada de resíduos, cabendo a cada ente, governo federal, estadual e municipal, incluindo toda a cadeia de produção e consumo, a responsabilidade de desenvolver ações conjuntas voltadas à busca de soluções para o manejo dos resíduos sólidos, ou seja, pela gestão do ciclo de vida dos produtos (BRASIL, 2010a). A partir da PNRS os municípios são obrigados a criar os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos, planejando e organizando ações a serem executadas, tornando-se um grande problema social a ser enfrentado.

A partir de então, o tema passou a ser amplamente discutido na esfera pública, muito em função das imposições legais previstas pela PNSB, pela PNRS, pelas legislações ambientais e pelas dificuldades em atender estas normas, tornando-se um grande problema socioeconômico e ambiental a ser enfrentado pelos municípios. Dentro desse contexto, o presente trabalho apresenta a proposta de um modelo de simulação computacional, metodologia e técnica da Dinâmica de Sistemas, para auxiliar na tomada de decisão e avaliação das melhores políticas públicas a serem adotadas pelos municípios na gestão dos resíduos sólidos domésticos na zona rural, considerando os aspectos sociais, territoriais e econômicos.

A dinâmica de sistemas e a simulação que o *software* livre Vensim proporciona, permite criar modelos e cenários, onde é possível observar o comportamento e a resposta de interferências ao longo do tempo. Além disso, o modelo de simulação computacional criado será capaz de proporcionar resultados que podem contribuir para a melhor compreensão do problema estudado e as possíveis soluções e melhorias (WINZ, BRIERLEY E TROWSDALE, 2008). Por essa razão, optou-se pela utilização da modelagem e simulação computacional, pois permite estudar e analisar o comportamento da geração de resíduos sólidos domiciliares no

meio rural, demonstrando os impactos socioambientais relacionados com o manejo irregular, bem como, projetar possíveis tratamentos para destinação correta desses resíduos e seu impacto ao longo de um determinado tempo.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Existe uma crescente preocupação com a produção de resíduos sólidos devido aos problemas socioambientais associados pela destinação incorreta desses materiais. A PNRS deixa bem evidente em seus dispositivos as ações a serem executadas visando garantir um meio ambiente mais saudável e sustentável, e a racionalidade no uso dos recursos naturais (BRASIL, 2010a).

Os municípios são responsáveis pelo gerenciamento dos resíduos sólidos, devem desenvolver políticas públicas de forma integrada, envolvendo a sociedade e órgãos governamentais, a fim de organizar a gestão e o manejo dos resíduos descartados (FERREIRA, 2018). Cada município recebeu, por determinação legal, a tarefa de gerenciar de forma adequada a produção de seus resíduos, disciplinando os meios de coleta, transporte e destinação final do lixo (BESEN, 2011).

A gestão dos resíduos sólidos integra, entre outras, as etapas de coleta, transporte e destinação final, bem como, políticas voltadas para educação ambiental nas comunidades. Ferraz (2008) destaca que a busca de soluções para gestão dos resíduos sólidos envolve a integração entre as funções administrativas, financeiras e de planejamento do ente público.

A geração de resíduos sólidos é ininterrupta, o consumo da população é diário, situação que exige dos órgãos da administração pública a constante busca por soluções que minimizem os impactos produzidos pelo descarte, por meio do manejo e destinação correta dos resíduos (FILHO et. al., 2014). O aumento da geração de resíduos sólidos domiciliares está ligado diretamente aos padrões de consumo das famílias, o aumento da renda tem implicação direta na produção de lixo (LOURENÇO, 2018).

As alterações da composição da renda familiar das comunidades rurais apresentadas por Pasquali (2012), aposentadoria, pensão, arrendamentos, dentre outras fontes de renda, alteraram os padrões de consumo e a composição dos resíduos gerados. Estas populações passaram a consumirem mais produtos transformados e industrializados: identifica-se um volume crescente de frascos, plásticos, pilhas, pneus, lâmpadas, aparelhos eletroeletrônicos e outros produtos comuns nos resíduos sólidos domiciliares urbanos, tornando-se um sério problema a ser enfrentado pelos municípios (BRASIL, 2011; ROCHA et. al., 2013).

O Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2017 divulgado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), relata que a pior situação de gestão de resíduos sólidos domiciliares é na zona rural em pequenos municípios, onde se encontram as maiores concentrações. O diagnóstico estima que 57,1% da população rural do país não têm acesso a nenhum tipo de coleta de lixo, um total de 18,3 milhões de pessoas, com produção de resíduos domiciliares de média 0,92 Kg/hab./dia, gerando um grande número de resíduos descartados de forma inadequada (BRASIL, 2017). Esta situação não se reflete nos centros urbanos que possuem índice de cobertura de coleta superior a 90%, chegando a 98,06% na região sudeste e 95,09% na região sul (ABRELPE, 2018, 2019).

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, divulgou no panorama dos resíduos sólidos no Brasil, que entre os anos de 2017 e 2018 ocorreu um aumento de aproximadamente 1% na geração de resíduos sólidos, chegando 216.629 toneladas diárias, crescimento superior ao da população brasileira de 0,4%, situação que evidencia o aumento no consumo das famílias e em consequência na produção de lixo (ABRELPE, 2017, 2018, 2019).

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) adverte do risco da disposição inadequada dos resíduos sólidos, que resulta em uma série de impactos socioambientais com incêndios florestais, contaminação do solo, poluição dos recursos hídricos, poluição atmosférica e proliferação de vetores de doenças (BRASIL, 2011). Mesmo em concentrações menores, os resíduos sólidos domésticos produzidos no meio rural podem causar impactos ambientais negativos, contaminando o solo e recursos hídricos (ROCHA et. al., 2013).

A gestão dos resíduos sólidos urbanos é prioridade para os municípios, as comunidades rurais ficam sem atendimento, situação que provoca graves problemas ambientais, pelo descarte inadequado resulta em poluição visual, degradação do meio ambiental, contaminação dos recursos hídricos e formação de vetores de proliferação de doenças, tornando-se um problema de sustentabilidade ambiental (PASQUALI, 2012). A proteção das bacias hidrográficas é uma necessidade, pois são recursos utilizados no abastecimento e na produção de alimentos, o acúmulo de rejeitos pode gerar além da população a contaminação dos recursos hídricos resultando em graves problemas ambientais. O excesso de resíduos descartados decorrentes da atividade humana impossibilita o processo natural de autodepuração do ambiente.

Torna-se um grande desafio aos municípios realizar a gestão dos resíduos domiciliares na zona rural, devido aos custos envolvidos no processo, que desestimulam o desenvolvimento de políticas públicas voltadas a atender essas comunidades. As limitações financeiras, a formulação de orçamentos inadequados, a logística envolvida, a deficiência técnica e

profissional, a ausência de políticas de controle ambiental, são algumas das dificuldades enfrentadas pelos municípios na gestão dos resíduos sólidos domiciliares (CEMPRE, 2018a).

O uso de ferramentas de planejamento e gestão facilita a tomada de decisão do poder público na escolha de ações que possam minimizar os custos envolvidos com a coleta, transporte e destinação dos resíduos sólidos, possibilitando maior eficiência, eficácia e efetividade em sua execução (MORAES, 2017)

Partindo dessa discussão a pesquisa delimitou-se em analisar a realidade das populações rurais visando buscar soluções para a gestão adequada dos resíduos sólidos domésticos no meio rural, auxiliando na tomada de decisão do ente público por meio da análise e escolha das principais soluções de manejo e processamento de resíduo, considerando os fatores envolvidos na coleta, transporte, destinação e na sustentabilidade ambiental, usando como referência e local de aplicação o Município de Cacequi/RS, mais especificamente junto às comunidades rurais de Umbu (segundo distrito) e Capela do Saicã (terceiro distrito).

Optou-se por essas comunidades (aglomerados rurais) por possuírem condições semelhantes à estrutura de periferias urbanas, possuindo pequenos comércios de produtos variados e bares, o que, resulta em uma produção per capita de resíduos maior e mais diversificada, porém, a aplicabilidade de pesquisa é ampla a todas as comunidades rurais por serem analisados aspectos comuns de produção, manejo e tratamento de resíduos sólidos. Outro aspecto a ser observado refere-se à possibilidade dos aglomerados rurais tornarem-se centros de referência a coleta de resíduos produzidos pelas populações rurais dispersas e as próximas a esses locais.

Nesse sentido, o trabalho propõe-se a responder o seguinte questionamento: quais são os impactos ambientais e quais as possíveis soluções para manejo e tratamento a serem adotadas pelos municípios na gestão dos resíduos sólidos domésticos na zona rural (aglomerados rurais), considerando os aspectos sociais, ambientais, territoriais e econômicos?

1.2. OBJETIVOS

O objetivo geral e os objetivos específicos desta dissertação são apresentados nas subseções a seguir.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver, verificar e validar um modelo de simulação computacional para avaliação de soluções para gestão dos resíduos sólidos domiciliares no meio rural, considerando os impactos ambientais referentes à quantidade de resíduos sólidos produzidos e sua emissão de poluentes, bem como, os fatores financeiros envolvidos no processamento, reciclagem e reaproveitamento desses materiais, tendo como base duas comunidades rurais (aglomerados rurais) localizadas em um município da região centro-oeste do Rio Grande do Sul.

1.2.2 Objetivos específicos

A partir do objetivo geral, o estudo apresenta os seguintes objetivos específicos:

- Apresentar soluções capazes de reverter ou minimizar a degradação do meio ambiente;
- projetar uma solução aceitável para a resolução do problema da coleta de resíduo sólido no meio rural;
- definir e indicar políticas públicas que atendam as demandas das comunidades rurais, com relação à gestão dos RSD, observando as peculiaridades de cada região considerando as limitações das comunidades e do ente público;
- utilizar a dinâmica de sistemas como ferramentas que permite avaliar a tomada de decisão a respeito do manejo do RSD produzido.
- validar o comportamento e desempenho do modelo de apoio à decisão desenvolvido, utilizando dados reais.

1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

“A busca por soluções na área de resíduos reflete a demanda da sociedade que pressiona por mudanças motivadas pelos elevados custos socioeconômicos e ambientais” (BRASIL, 2011, p.4).

Existe um grande déficit na gestão de resíduos sólidos domiciliares na zona rural, os diagnósticos apontam que 57,1% desta população não possuem nenhum tipo de cobertura de

tratamento ou coleta, aproximadamente 18 milhões de pessoas estão desassistidas desse serviço básico e essencial para qualidade de vida (BRASIL, 2017).

O acúmulo desses resíduos sólidos domiciliares descartados, mesmo representando uma quantidade menor se comparado com a produção urbana, pode produzir impactos ambientais graves, se largados à margem de lagos e rios, enterrados e/ou queimados (ROCHA et. al., 2013). Para Sousa (2018, p.23), “esse problema ainda inclui a poluição visual, do solo, dos rios, dos lençóis freáticos, dos oceanos e da atmosfera, este último, através dos gases provenientes da decomposição do material orgânico”.

O acúmulo dos RSD do meio rural pode ser ainda mais devastador se considerarmos os aglomerados rurais, por serem considerados de extensão urbana, onde as famílias geralmente têm acesso a comércio formais, bares e armazéns e a serviços básicos do Estado como abastecimento de água, energia elétrica, escolas e postos de saúde, aumentando as características e condições urbanas (IBGE, 2010a). Estima-se que os aglomerados rurais concentram 20% da população rural, cerca de 6 milhões de pessoas, este número pode ser superior, estudos demonstram que uma reavaliação dos critérios de classificação segundo a situação de domicílios pode aumentar a população rural para 36,1 milhões de pessoas, cerca de 7 milhões a mais que os dados oficiais (IPEA, 2014).

De acordo com o glossário do IBGE (2010a), os aglomerados rurais se caracterizam como:

Localidade situada em área não definida legalmente como urbana e caracterizada por um conjunto de edificações permanentes e adjacentes, formando área continuamente construída, com arruamentos reconhecíveis ou dispostos ao longo de uma via de comunicação (IBGE, 2010a, p.32).

Segundo o IPEA (2012), os municípios pequenos possuem grande dificuldade de gestão dos resíduos sólidos devido ao custo elevado, falta de estrutura técnica de planejamento, falta de investimento em tecnologias para aproveitamento dos resíduos, e falta de incentivo à coleta seletiva e às cooperativas de reciclagem. O manejo adequado dos resíduos sólidos possibilita agregar valor comercial, como novas matérias-primas e novos insumos (BRASIL, 2011).

Todos os problemas enfrentados pelos municípios para gestão dos resíduos sólidos dificultam o investimento nas comunidades rurais, pela percepção errada que a produção de lixo é ínfima, prejudicando diretamente a qualidade de vida das comunidades e o meio ambiente. Ferreira (2018), salienta que:

Apesar desses problemas, os municípios precisam gerir os resíduos sólidos, obrigatoriamente, de forma que as atividades inerentes contemplem aspectos de proteção ao meio ambiente e adoção de critérios baseados em eficiência, ou seja, produzir os melhores resultados possíveis com os recursos investidos. Desse modo é importante que os gestores disponham do máximo possível de informações relevantes para suas tomadas de decisões (FERREIRA, 2018, p.33).

A importância do tema debruça-se na necessidade de desenvolver políticas públicas que promovam a gestão e o manejo adequado dos resíduos sólidos domiciliares das comunidades rurais atendendo, deste modo, os preceitos legais, sociais e ambientais envolvidos nesse processo. Analisar e buscar definir modelos que mostrem as condições mais adequadas com base nas peculiaridades do público alvo, as comunidades rurais, auxilia na tomada de decisão do ente público, facilitando e justificando o investimento de recursos. Cabe ressaltar que o material produzido, além de fonte de consulta e modelo para os municípios, contribuirá para divulgação e aprofundamento do debate sobre o assunto, que ainda é pouco explorado.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

O texto está estruturado da seguinte forma: o primeiro capítulo apresenta a introdução, contextualização do problema de pesquisa, o objetivo geral e os específicos, e a justificativa; o segundo capítulo apresenta um breve referencial teórico acerca das temáticas ligadas aos resíduos sólidos, ao consumo e geração de resíduos sólidos domiciliares, a produção de resíduos sólidos domiciliares na zona rural, as legislações referentes à gestão de resíduos sólidos, a gestão de resíduos sólidos realizadas pelos municípios, a processo decisório na gestão pública, incluindo as ferramentas utilizadas no processo. Por fim, o terceiro capítulo aborda a metodologia proposta para a implementação da pesquisa e o cronograma de desenvolvimento da mesma.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para o desenvolvimento do projeto, analisaram-se os conceitos e legislações referentes ao assunto, periódicos que abordassem o tema proposto, sistemas de controle governamental e seus indicadores, o manejo de resíduos sólidos domésticos no meio rural e os fatores que influenciam a formulação de políticas públicas nos municípios.

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS (RS)

Os resíduos sólidos são um problema social, com impacto direto na qualidade de vida das pessoas. A produção de resíduos sólidos é um fenômeno inevitável e acontece diariamente, podendo ocasionar danos muitas vezes irreversíveis ao meio ambiente (BRASIL, 2013). O Dicionário Brasileiro de Ciências Ambientais define resíduo sólido como: “todo e qualquer resíduo, sobra ou detrito resultante da atividade humana, excetuando dejetos e outros materiais sólidos; pode estar em estado sólido ou semissólido” (SILVA et. al., 2002; p. 204, 205).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) em sua norma técnica NBR10004 define resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (NBR10004:2004).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal 12.305/2010, apresenta de forma detalhada o conceito de resíduos sólidos:

XVI – Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010a, art. 3º, XVI).

Quanto à sua classificação, os resíduos sólidos diferenciam-se conforme sua característica física, sua composição química, sua origem e quanto aos riscos potenciais de

contaminação do meio ambiente. A NBR10004 da ABNT classifica os resíduos sólidos conforme Quadro 1:

Quadro 1 - Classificação de resíduos sólidos – ABNT.

Classificação	Característica
Resíduos classe I – Perigosos	Resíduos que apresentam periculosidade ou alguma das características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
Resíduos classe II – Não perigosos	Resíduos não perigosos e que não se enquadram na classificação de resíduos classe I e são divididos em: Resíduos classe II A – Não Inertes e classe II B – Inertes.
Resíduos classe II A – Não inertes	Resíduos que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou de resíduos classe II B e podem ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
Resíduos classe II B – Inertes	Resíduos que quando amostrados de uma forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Fonte: Autor adaptado de ABNT NBR 10004:2004.

A PNRS apresenta uma classificação dos resíduos sólidos bastante detalhada, apresentada na Lei nº 12.305, no Art. 13 contendo dois tópicos (origem e periculosidade):

I - Quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

II - Quanto à periculosidade:

- a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco

à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.” (BRASIL, 2010a, Art. 13).

De acordo com Deus (2019), esta classificação permite observar o quanto os resíduos sólidos estão inseridos na sociedade evidenciando a importância em estudá-los para buscar identificar as melhores práticas para coleta, tratamento e destinação final.

2.2.1 Consumo e geração de resíduos sólidos domiciliares

O aumento populacional associado a padrões baseados em consumo contribuiu para a criação de grandes quantidades de resíduos sólidos domiciliares, agravando a necessidade de desenvolvimento de políticas públicas específicas para minimizar os efeitos nocivos do descarte (FERREIRA, 2018). Os resíduos sólidos domiciliares são gerados nas residências, compostos por restos de alimentos, materiais passíveis de reciclagem, com papel, metal, vidro e plástico, resíduos sanitários e produtos tóxicos (LOURENÇO, 2018).

Para Jacobi (2011), o equacionamento entre a geração excessiva e a destinação ambientalmente segura de resíduos, trata-se de um dos maiores desafios da sociedade moderna, em especial a gestão dos resíduos domiciliares, que aumentam proporcionalmente ao consumo.

O aumento na geração de resíduos está associado diretamente ao crescimento populacional e ao aumento do consumo, é um problema antigo que acompanha o desenvolvimento da sociedade, mas que recentemente ganhou enfoque devido à preocupação dos seus impactos na saúde pública e meio ambiente (BONJARDIM, 2018).

Para Menezes (2014), o aquecimento da economia é fator determinante para geração de resíduos, resultando em um novo paradigma social: “o consumo pelo consumo”. Neste sentido Jacobi (2011), afirma que essa mudança nos padrões de consumo baseia-se no consumo excessivo e supérfluo, que somado a modelos de desenvolvimento pautado pela obsolescência programada dos produtos e pela descartabilidade resultam no aumento significativo da produção de resíduos.

O aumento na geração de resíduos sólidos segue o crescimento do poder de compra da população, impulsionado pela disponibilidade de crédito, geração de empregos formais, acesso ao mercado de trabalho cada vez mais cedo e pelo aumento da produção de bens de consumo com obsolescência precoce, tornando-se um desafio aos governantes e administradores públicos (FILHO et. al., 2014). Para Campos (2012), o aumento na disponibilidade de recursos

financeiros para famílias de baixa renda tende a elevar o consumo, esta variação de rendimentos é fator relevante para compreensão do aumento na geração de resíduos sólidos.

A atual cultura de comprar diversos produtos, “ter para ser”, com baixa vida útil, sendo estes envoltos por embalagens de plástico, papelão, isopores e outros tipos de materiais, associada ao crescimento e a longevidade populacional e a intensa urbanização, acarretam a produção de imensas quantidades de resíduos (MENEZES, 2014; JACOBI, 2011).

De acordo com Filho (2014), a geração de resíduos sólidos é ininterrupta, pois o consumo de produtos pela população é diário, exigindo uma gestão cada vez melhor no manejo e destinação, pressionando a esfera pública e privada a buscar soluções que visem minimizar e valorizar os resíduos descartados.

Segundo Lourenço (2018), o aumento do consumo é proporcional ao aumento da renda, porém esta correlação não se reflete quando as políticas públicas de gestão de resíduos sólidos são implantadas, cabendo ao ente público equacionar esta relação, por meio de mais investimentos, otimização dos recursos e redução dos resíduos.

A competência pela coleta dos resíduos sólidos domiciliares é do Poder Executivo Municipal, este serviço corresponde à coleta, transporte, tratamento e disposição final (BRASIL, 2013). De acordo com Tribunal de Contas do Estado do Rio Grande do Sul - TCE/RS - os contratos de serviços de coleta, transporte e destinação final dos resíduos sólidos, no exercício de 2016, ultrapassaram 600 milhões de reais no Estado do Rio Grande do Sul, os valores vultosos forçam os municípios a melhorar os processos de contratação e a tomada de decisão (TCE/RS, 2017).

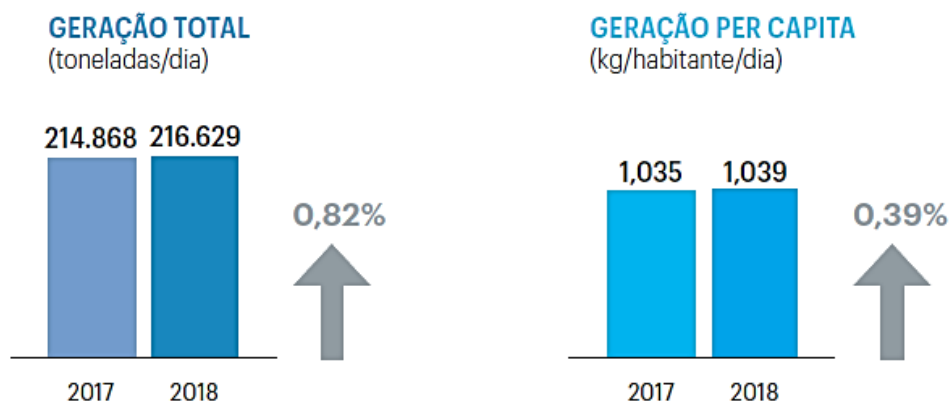
Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, em pesquisa realizada em 2016, sobre o panorama dos resíduos sólidos no Brasil, o país já ocupa o quinto lugar entre os maiores geradores de RS, produzindo em 2016 79,9 milhões de toneladas (ABRELPE, 2016).

Em 2014, o Brasil produziu 78,6 milhões de toneladas de resíduos, o que representa algo em torno de 1,2 kg por pessoa/dia, em média. Em 2015, o total de resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados no país aumentou 1,7%, passando para 79,9 milhões de toneladas, período em que a população brasileira cresceu 0,8% (ABRELPE, 2016, 2015).

Para o ano 2016, foram geradas 78,3 milhões de toneladas de RSU, o que representa 1,032 kg de lixo por pessoa, queda de 2,9% em comparação com os dados do ano anterior; a pesquisa aponta, ainda, que esta redução não se traduz em melhora na gestão da coleta, destinação final e investimentos no setor (ABRELPE, 2017).

Em 2017 a geração de RSU total anual foi de 78,4 milhões de toneladas no país, o que demonstra uma retomada no aumento em cerca de 1% em relação a 2016, sendo coletados 71,6 milhões de toneladas de RSU, índice de cobertura de coleta de 91,2%, o que evidencia que 6,9 milhões de toneladas de resíduos não foram coletados devidamente (ABRELPE, 2018). Para 2019 relatório da ABRELPE evidenciou que em 2018 foram geradas 79 milhões de toneladas, aumento próximo a 1% em relação a 2017, Figura 1, desse montante, 92%, ou seja, 72,7 milhões foram coletados, evidenciando que 6,3 milhões de toneladas de resíduos não foram recolhidas junto aos locais de geração (ABRELPE, 2019). Se comparado a 2017 em 2018 teve um aumento de 1,66% na coleta, valor superior ao ritmo de produção de resíduos.

Figura 1 - Geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil em 2018.



Fonte: Pesquisa ABRELPE (2019, p.14).

Segundo Bonjardim (2018), ainda é grande o número de municípios que descartam seus resíduos sólidos em lugares inadequados sem estrutura, muitas vezes em lixões clandestinos, fator que contribui diretamente para a poluição do meio ambiente. O panorama apresentado pela ABRELPE demonstrou, que em 2017, que:

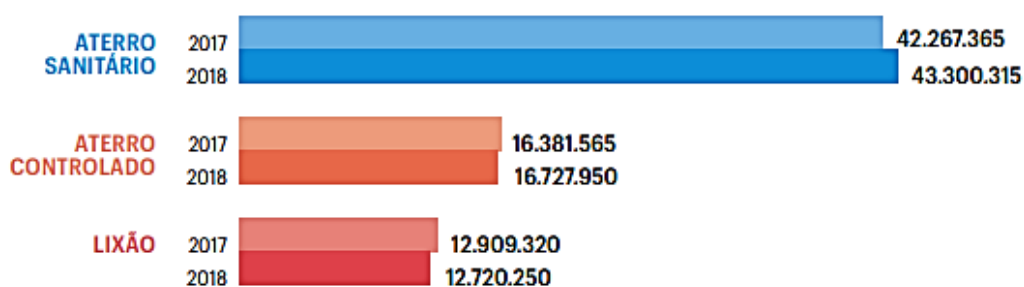
Cerca de 42,3 milhões de toneladas de RSU, ou 59,1% do coletado, dispostos em aterros sanitários. O restante, que corresponde a 40,9% dos resíduos coletados, foi despejado em locais inadequados por 3.352 municípios brasileiros, totalizando mais 29 milhões de toneladas de resíduos em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações, com danos diretos à saúde de milhões de pessoas (ABRELPE, 2017, p 14).

Em 2018 a disposição final de resíduos sólidos urbanos melhorou o percentual de disposição final adequada em comparação com 2017, porém, a destinação final ainda apresenta elevado potencial de contaminação, conforme a ABRELPE demonstrou em 2019:

Das 72,7 milhões de toneladas coletadas no Brasil em 2018, 59,5% tiveram disposição final adequada e foram encaminhadas para aterros sanitários – uma expansão de 2,4% em relação ao valor total do ano anterior. Porém, unidades inadequadas como lixões e aterros controlados ainda têm participação significativa (23% e 17,5%, respectivamente). Estão presentes em todas as regiões e recebem mais de 80 mil toneladas de resíduos por dia, com elevado potencial de poluição ambiental e impactos negativos à saúde (ABRELPE, 2019, p 18).

A Figura 2 apresenta disposição final do RSU por tipo de destinação, tendo como base a produção de toneladas por ano.

Figura 2 - Destinação final RSU no Brasil em 2018.



Fonte: Pesquisa ABRELPE (2019, p16).

O Panorama dos Resíduos Sólidos traz que a população brasileira apresentou um crescimento de 0,75% entre 2016 e 2017, enquanto a geração per capita de RSU apresentou aumento de 0,48%. A geração total de resíduos aumentou 1% no mesmo período, atingindo um total de 214.868 toneladas diárias de RSU no país (ABRELPE, 2018, 2017). O aumento nos índices se manteve em 2018, como destaca a ABRELPE:

Entre 2017 e 2018, a geração de RSU no Brasil aumentou quase 1% e chegou a 216.629 toneladas diárias. Como a população também cresceu no período (0,40%), a geração per capita teve elevação um pouco menor (0,39%). Isso significa que, em média, cada brasileiro gerou pouco mais de 1 quilo de resíduo por dia (ABRELPE, 2019, p.14).

O aumento da produção de resíduos não refletiu na aplicação de recursos para a gestão adequada dos mesmos. Segundo o relatório da ABRELPE ocorreu redução no investimento do

serviço de coleta, o declínio no país foi de 1,47%, passando de R\$ 4,07 por habitante por mês em 2017 para R\$ 4,01 em 2018.

2.2.2 Consumo e geração de resíduos sólidos na zona rural

Com a crescente preocupação com o meio ambiental e a busca por soluções capazes de reverter a atual situação de degradação do planeta, a discussão sobre a destinação correta dos resíduos tornou-se assunto de destaque em políticas públicas (SILVA, et al., 2014). Estima-se que apenas 31,6% do RSD rural possuem coleta domiciliar, percentual bastante inferior ao índice urbano superior a 98% (IBGE, 2012; ABRELPE, 2017).

A disposição inadequada e a gestão irregular dos resíduos sólidos podem resultar em sérios danos socioambientais, podendo ocasionar incêndios florestais, a contaminação de solos produtivos, a poluição dos recursos hídricos essenciais, à poluição atmosférica por meio da emissão de gases poluentes e a proliferação doenças (BRASIL, 2011).

As alterações ambientais geradas pela disposição inadequada dos resíduos sólidos domésticos em pequenas comunidades ou na zona rural, apesar de serem em concentração menor do que as produzidas na zona urbana podem constituir impactos ambientais negativos, principalmente por passarem a ocupar um espaço físico ainda não ocupado pelo homem (ROCHA et al., 2013).

Estudos realizados pelo IBGE (2010a) e divulgado no relatório de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável estimam que grande parte do lixo produzido na zona rural, cerca de 59,6% é queimado e enterrado nas propriedades, e o restante é jogado em terreno baldio, logradouro, destes estima-se que 1% são descartados em rios e lagos, causando desta forma graves prejuízos ambientais, pela contaminação do solo, da água e de gases poluentes, tornando-se uma questão de saúde pública (IBGE, 2010a). O descarte de RSD em corpos d'água contribui para o processo de eutroficação. A eutrofização é o aumento da quantidade de nutrientes nos ecossistemas aquáticos, principalmente nitrogênio e fósforo, decorrendo da atividade humana (OLIVEIRA e MOLICA, 2017). Na eutrofização a água fica turva e a quantidade de oxigênio na água diminui, o que resulta na morte de espécies animais e vegetais. Segundo Oliveira e Molica (2017) o lixo descartado na água eleva a poluição dos corpos d'água devido ao aumento da quantidade de nutrientes provenientes de materiais orgânicos resultando no processo de eutrofização. O excesso desses resíduos impossibilita a autodepuração do ambiente, que pode passar de poluído à contaminado, ressaltando a necessidade de preservação dos corpos hídricos devido sua importância no abastecimento e no agronegócio.

Segundo Rocha (2013) a acúmulo de lixo nas zonas rurais, mesmo este representando uma pequena quantidade quando comparado com o total de lixo produzido, está proporcionando ao ambiente uma significativa devastação, por este ser jogado em margens de lagos e rios quando orgânico e, em sua maioria, queimado quando reciclável.

A queima dos resíduos gera a emissão de gases de efeito estufa sendo o dióxido de carbono - CO₂ o principal gás liberado no processo. De acordo com o Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (2019), estudo produzido pelo Sindicato das Empresas de Limpeza Urbana no Estado de São Paulo - SELURB, a queima de resíduos é a principal prática entre as populações desassistidas do serviço de coleta:

Apesar de ilegal, a queima de resíduos ainda é praticada, principalmente entre domicílios que não dispõem de coleta. A incineração e a queima aberta de resíduos são fontes de emissões de gases de efeito estufa, como outros tipos de combustão. Os gases emitidos incluem CO₂, metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Na queima de resíduos, as emissões de CO₂ são mais significativas do que as emissões de CH₄ e N₂O (SELURB, 2019, p.30).

Conforme Plano Nacional de Resíduos Sólidos publicado em 2012 pelo Ministério de Meio Ambiente, ocorreu alteração na composição gravimétrica RSD rural, sua composição era essencialmente restos de materiais orgânicos, porém atualmente, identifica-se um volume crescente de frascos, sacos plásticos, pilhas, pneus, lâmpadas, aparelhos eletroeletrônicos e outros produtos comuns no resíduo urbano, que se acumulam ou se espalham de forma irregular pelas propriedades rurais (BRASIL, 2012).

A semelhança entre os resíduos produzidos no ambiente urbano e rural facilita o diagnóstico do potencial de processamento dos materiais e consequências do descarte inadequado, pelo expressivo número de estudos produzidos. O cálculo da quantidade de CO₂ gerado na queima dos resíduos segue a fórmula utilizada no estudo produzido pelo SELURB (2019), criada pelo IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), da Organização das Nações Unidas no estudo sobre a captura e armazenamento de dióxido de carbono em 2005, apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Fórmula cálculo da emissão de CO₂ na incineração/queima de resíduos sólidos.

$$CO_2 \text{ Emissão} = \sum_i (SW_i \cdot dm_i \cdot CF_i \cdot FCF_i \cdot OF_i) \cdot 44/12$$

Fonte: Autor adaptado de SELURB (2019).

No Quadro 2 está apresentado o detalhamento das variáveis que compõem a fórmula.

Quadro 2 - Variáveis fórmula CO₂ emissão.

Variável	Definição
CO₂ Emissão	Quantidade de CO ₂ produzido em Gg/ano.
SW_i	Quantidade de resíduos sólidos produzidos Classe I (potencial poluidor, apresentam riscos para a sociedade e para o meio ambiente).
dm_i	Fração de matéria seca no resíduo incinerado ou queimado.
CF_i	Fração de carbono na matéria seca, quantidade de resíduos de madeira, papel.
FCF_i	Fração de carbono fóssil, resíduos de origem fóssil como o plástico.
OF_i	Fator de oxidação da combustão.
44/12	Fator de conversão de C para CO ₂ .
i	Tipo (Classe) de resíduo incinerado/queimado a céu aberto.

Fonte: Autor adaptado de SELURB (2019).

A fórmula possibilita estimar a produção de CO₂ na incineração/queima de resíduos anualmente. Os parâmetros de gravimetria e o fator de oxidação seguem valores sugeridos pelo IPCC (2005), definidos para o cálculo da emissão de dióxido de carbono e utilizados pelo SELURB (2019), apresentados na Tabela 1, os índices são aplicados sobre a quantidade de RSD produzidos.

Tabela 1 - Parâmetros para cálculo da emissão de CO₂ na incineração/queima de resíduos sólidos.

	Teor de Matéria Seca	Fração de Carbono	Fração de carbono fóssil	Fator de Oxidação	Fator de conversão
Componente fórmula	dm	CF	FCF	OF	
Valor aplicado	0,3 (%)	0,6(%)	0,108(%)	0,58(%)	44/12

Fonte: Autor adaptado de SELURB (2019).

Segundo Besen (2011) a composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados segue a seguinte composição: 57,41% de matéria orgânica (sobras de alimentos, alimentos deteriorados, lixo de banheiro), 16,49% de plástico, 13,16% de papel e papelão, 2,34% de vidro, 1,56% de material ferroso, 0,51% de alumínio, 0,46% de inertes e 8,1% de outros materiais, o que proporciona o cálculo do potencial de processamento desses materiais, tanto pela reciclagem quanto pela compostagem. CEMPRE (2014) apresenta composição gravimétrica semelhante:

51,4% de matéria orgânica, 13,50% de plástico, 13,10% de papel e papelão, 2,40% de vidro, 2,3% de material ferroso, 0,60% de alumínio e 16,7% outros materiais.

Para Pasquali (2012) o maior enfrentamento gira em torno dos resíduos sólidos não orgânicos, pois os orgânicos são reaproveitados em compostagem ou enterrio no solo, fato comum nas propriedades rurais, sendo que os demais resíduos são geralmente enterrados ou queimados, causando grave dano ambiental. A mudança no padrão de consumo das comunidades rurais está alterando a composição do lixo produzido, PET, cerveja em lata e outros estão agregados às suas novas preferências (ROCHA et al., 2013).

Os malefícios causados por todo e qualquer tipo de lixo doméstico ou resíduo sólido não tratado da forma correta são incontáveis, podendo os mesmos causar a poluição de solos, águas, ar, contribuindo também para o aquecimento global e para a destruição da camada de ozônio (ROCHA et al., 2013). Estima-se que sua composição gravimétrica seja: de 51,4% a 57,41% de matéria orgânica (sobras de alimentos, alimentos deteriorados, lixo de banheiro), aproximadamente de 30,00% a 40,00% de recicláveis e o restante de outros materiais que devem ser depositados em local adequado como aterros sanitários (BESEN, 2011; CEMPRE, 2014).

Os resíduos são gerados por diferentes atividades, e precisam ser bem geridos a fim de evitar diversos danos ambientais. A boa gestão desse material se realiza pela correta ordem dos processos, sendo estes: coleta, transporte, processamento, tratamento, reciclagem e eliminação dos resíduos (ROCHA et al., 2013). Por se acharem afastadas do problema, as populações urbanas não possuem a percepção de que esses danos ambientais na área rural podem gerar reflexos importantes em suas vidas, seja em função da contaminação de alimentos ou da água que abastece as cidades (BESEN, 2011).

No Brasil o serviço de coleta, tratamento e destinação final do lixo doméstico rural é bastante ineficiente e deficitário, com baixa área de cobertura e investimentos (BRASIL, 2011; ROCHA et al., 2013). Considerando uma média variável de produção diária de RSD rural entre 0,1 Kg/pessoa e 0,4 Kg/pessoa, subestimada, para uma população próxima a 30 milhões de habitantes, em um ano tem-se a geração de aproximadamente 1,1 milhões a 5 milhões de toneladas/ano de RSD rural (BRASIL, 2011). Segundo SNIS o índice de massa coletada per capita de resíduos sólidos domiciliares, incluindo o rural, atinge o valor médio de 0,92 kg/hab./dia, aumentando a estimativa de geração de resíduos domiciliares superior a 10 milhões de toneladas/ano (BRASIL, 2017).

De acordo com Rocha (2013) a solução para os resíduos sólidos e o lixo doméstico na zona rural só será possível quando os agentes sociais estiverem incluídos na resolução, ou seja, o poder público, a população e as empresas recicladoras.

2.2.3 Produção de resíduos sólidos domiciliares na zona rural

De acordo com o censo do IBGE (2010b), 16 % da população brasileira residem na zona rural, porém em pesquisa apoiada pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário, e divulgada na primeira edição do Diálogos sobre o Brasil Rural em 2015, estima que este percentual possa atingir 36% da população brasileira, devido a ampliação do conceito de rural. O Censo de 2010 apontou redução da população rural do país, a variação entre os anos de 2000 a 2010 foi de -6,2% no período (IBGE, 2010; IPEA, 2014). A variação da população rural no Estado do Rio Grande do Sul apontada pelo censo 2010 foi superior ao índice nacional, para o período a redução foi estimada em -14,7%, redução resultando em uma população rural de 1,6 milhões de habitantes (IBGE, 2010b).

O IBGE (2012) aponta que o Estado do Rio Grande do Sul possui índice de cobertura de coleta de resíduos domiciliares produzidos no meio rural superior à média nacional atingindo aproximadamente 56% dos municípios. Por mais que o índice estimado para o Estado seja relativamente alto, em levantamento realizado em 11 municípios que compõem as regiões centro-oeste e sul no mês de outubro de 2018, chegou-se a apenas 2 que possuem algum tipo de mecanismo de coleta de resíduos no meio rural. As informações foram obtidas por meio de contato com as Secretarias de Agricultura e Meio Ambiente dos municípios.

Para estimar a produção de resíduos sólidos no meio rural, foram utilizados dados do IBGE referente ao Censo Demográfico (2010b) e do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS do Ministério das Cidades, que possui informações da produção per capita de resíduos sólidos (SNIS, 2016). As informações foram divididas em duas tabelas, a Tabela 2 apresenta a população rural de cada município e se há existência de mecanismos de coleta de resíduos rurais.

Tabela 2 - População rural dos municípios analisados.

Cidades	Urbana	Urbana da Sede	Aglomerados Rurais	Rural	Regiões Rurais (hab.)	Coleta RSD
Alegrete	69.594	69.009	585	8.059	8.644	NÃO
Cacequi	11.952	10.632	1.320	1.724	3.044	NÃO
Dilermando de Aguiar	991	991	0	2.073	2.073	NÃO
Mata	2.618	2.349	269	2.493	2.762	NÃO
Rosário do Sul	34.931	34.710	221	4.776	4.997	NÃO
Santiago	44.735	44.390	345	4.336	4.681	NÃO
São Gabriel	53.775	51.671	2.104	6.650	8.754	NÃO
São Pedro do Sul	11.929	11.864	65	4.439	4.504	NÃO
São Vicente do Sul	5.881	5.794	87	2.559	2.646	NÃO
Total	236.406	231.410	4.996	37.109	42.105	
Municípios sem coleta de resíduos sólidos rurais					42.105	87%
Jaguari	6.531	6.460	71	4.942	5.013	SIM
Nova Esperança do Sul	3.599	3.599	0	1.072	1.072	SIM
Municípios com coleta de resíduos sólidos rurais					6.085	13%
Total População					48.190	100%

Fonte: Autor (2018).

De uma população rural de 48.190 mil habitantes apenas 13% possuem coleta de resíduos sólidos rurais. A Tabela 3 apresenta o potencial de resíduos sólidos e de lixo doméstico que pode ser produzido pela população rural com base na produção per capita de cada município constante no SNIS (2016).

Tabela 3 - Estimativa de produção de resíduos sólidos e lixo doméstico.

Cidades - Sem coleta Região Rural	Regiões Rurais (hab.)	SNIS 2016 (RS) (Kg/hab./dia)	Produção/Dia (ton./dia)	Produção/Mês (ton./mês)	Produção/Ano (ton./ano)
Alegrete	8.644	0,610	5,27	158,19	1.898,22
Cacequi	3.044	0,400	1,22	36,53	4.38,34
Dilermando de Aguiar	2.073	2,600	5,39	161,69	1.940,33
Mata	2.762	0,510	1,41	42,26	5.07,10
Rosário do Sul	4.997	0,530	2,65	79,45	9.53,43
Santiago	4.681	0,830	3,89	116,56	1.398,68
São Gabriel	8.754	0,620	5,43	162,82	1.953,89
São Pedro do Sul	4.504	0,500	2,25	67,56	8.10,72
São Vicente do Sul	2.646	0,460	1,22	36,51	4.38,18
Total			28,72	861,57	10.338,89

Fonte: Autor (2018).

A estimativa de produção de resíduos que não são coletados chega a um valor bem expressivo, os principais motivos apresentados pelos municípios para a não realização do serviço de coleta de destinação foram a dificuldade de organização da logística (utilização de

caminhão coletor ou centros de coleta), o custo elevado envolvido no serviço e as condições precárias das estradas vicinais. A dificuldade de cumprir e o receio de penalidades por não atendimento das legislações, que tratam do manejo dos RSD, também foram apontadas como limitadores, a serem superados.

2.3 LEGISLAÇÕES - GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A partir da Constituição Federal Brasileira de 1988, foram sancionadas leis que tratam sobre os resíduos sólidos e o controle ambiental. A própria Carta Magna em seu artigo 225 faz alusão à necessidade de gestão dos resíduos produzidos “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988).

O texto constitucional atribui claramente a competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios na proteção do meio ambiente e combate à poluição apresentado no art. 23 inciso VI “[...] proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas [...]” (BRASIL, 1988). Por meio da Lei Federal nº 9.605/1998 foram impostas sanções penais e administrativas para condutas e atividades que possam prejudicar o meio ambiente, responsabilizando desde pessoas jurídicas e físicas, como também as coautoras ou participantes do fato (BRASIL, 1998a). A Lei Federal nº 9.966/2000 dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências, trazendo uma definição de lixo no artigo 2º inciso XV “[...] lixo: todo tipo de sobra de víveres e resíduos resultantes de faxinas e trabalhos rotineiros nos navios, portos organizados, instalações portuárias, plataformas e suas instalações de apoio [...]” (BRASIL, 2000b).

A Lei Federal nº 9.974/2000 trata sobre todos os aspectos relacionados com a produção, transporte, armazenagem e destinação final dos resíduos e embalagens de agrotóxicos, alterou através do seu artigo 6º o artigo 19 da Lei Federal no 7.802, de 1989 incluindo parágrafo único, ressalta a logística reversa:

Parágrafo único. As empresas produtoras e comercializadoras de agrotóxicos, seus componentes e afins, implementarão, em colaboração com o Poder Público, programas educativos e mecanismos de controle e estímulo à devolução das embalagens vazias por parte dos usuários, no prazo de cento e oitenta dias contado da publicação desta Lei (BRASIL, 2000b).

A legislação objetiva evitar possíveis danos ambientais pelo extravio ou queima das embalagens de armazenagem desses produtos.

A Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) foi instituída pela Lei Federal nº 11.445/2007 e estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, abrangendo o abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de águas pluviais e o manejo dos resíduos sólidos (BRASIL, 2007). Com relação ao manejo de resíduos sólidos a legislação prevê no seu artigo 3º inciso I que:

Saneamento básico: é o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: [...] c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestrutura e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas; [...] (BRASIL, 2007).

Em seu artigo 48 inciso VII, a PNSB estabelece que a União deve garantir os meios adequados para o atendimento da população rural dispersa:

A União, no estabelecimento de sua política de saneamento básico, observará as seguintes diretrizes: [...] VII - garantia de meios adequados para o atendimento da população rural dispersa, inclusive mediante a utilização de soluções compatíveis com suas características econômicas e sociais peculiares; [...] (BRASIL, 2007).

No artigo 49 são definidos os objetivos da Política Federal de Saneamento Básico, prevendo em seu inciso IV a obrigação de “proporcionar condições adequadas de salubridade ambiental às populações rurais e de pequenos núcleos urbanos isolados” (BRASIL, 2007). Deste modo, a PNSB garante a obrigatoriedade no atendimento às populações rurais no que se refere ao manejo de resíduos sólidos. Os critérios estabelecidos pela PNSB fazem dessa legislação um instrumento de gestão de resíduos sólidos municipal, desde que, em consonância com requisitos mínimos exigidos pela PNRS para o plano de gestão municipal (BRASIL, 2011; CNM, 2019).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída pela Lei Federal nº 12.305 e regulamentada pelo Decreto Federal nº 7.404 de 2010, da Presidência da República. Os textos abordam a gestão e manejo dos resíduos sólidos, por meio de diretrizes que norteiam a gestão e o gerenciamento de resíduos. Esta legislação define os princípios a serem seguidos e os objetivos a serem alcançados por meio de práticas e processos para elaboração dos planos de resíduos sólidos, sendo necessário considerar a hierarquia na gestão e gerenciamentos dos resíduos, previstos no artigo 9º da Lei Federal nº 12.305/2010 e no artigo 35 do Decreto Federal nº 7.404/2010, “Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deverá ser observada a seguinte

ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (BRASIL, 2010a; BRASIL, 2010b), conforme Figura 4.

Figura 4 - Hierarquia de prioridades na gestão de RS.



Fonte: FGV (2015).

Para Godoy (2013), a PNRS objetiva:

Disciplinar, no seu conjunto, a questão dos resíduos sólidos. Ela estrutura todo um conjunto de andaimes sobre o qual se deve apoiar a reconstrução de todo o que diz respeito ao setor, até agora, matérias muito disseminadas na multiplicidade de entes oficiais. A PNRS está alicerçada numa filosofia norteadora prática e coerente, a qual deverá dar as bases para o planejamento e gestão setorial que compreende, como razão de ser, a proteção do meio ambiente e seus recursos e à das comunidades, tudo dentro de um marco geossistêmico e integrado (GODOY, 2013, p.6).

A PNRS estabelece em seu artigo 19 a formulação do plano municipal de gestão integrada de resíduos, bem como seus requisitos mínimos:

[...] Art. 19. O plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos tem o seguinte conteúdo mínimo:

I - diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, contendo a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final adotadas;

II - identificação de áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, observado o plano diretor de que trata o § 1o do art. 182 da Constituição Federal e o zoneamento ambiental, se houver;

III - identificação das possibilidades de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros Municípios, considerando, nos critérios de economia de escala, a proximidade dos locais estabelecidos e as formas de prevenção dos riscos ambientais;

IV - identificação dos resíduos sólidos e dos geradores sujeitos a plano de gerenciamento específico nos termos do art. 20 ou a sistema de logística reversa na forma do art. 33, observadas as disposições desta Lei e de seu regulamento, bem como as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;

V - procedimentos operacionais e especificações mínimas a serem adotados nos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, incluída a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos e observada a Lei nº 11.445, de 2007;

VI - indicadores de desempenho operacional e ambiental dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos;

VII - regras para o transporte e outras etapas do gerenciamento de resíduos sólidos de que trata o art. 20, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS e demais disposições pertinentes da legislação federal e estadual;

VIII - definição das responsabilidades quanto à sua implementação e operacionalização, incluídas as etapas do plano de gerenciamento de resíduos sólidos a que se refere o art. 20 a cargo do poder público;

IX - programas e ações de capacitação técnica voltados para sua implementação e operacionalização;

X - programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos;

XI - programas e ações para a participação dos grupos interessados, em especial das cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, se houver;

XII - mecanismos para a criação de fontes de negócios, emprego e renda, mediante a valorização dos resíduos sólidos;

XIII - sistema de cálculo dos custos da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, bem como a forma de cobrança desses serviços, observada a Lei nº 11.445, de 2007;

XIV - metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;

XV - descrição das formas e dos limites da participação do poder público local na coleta seletiva e na logística reversa, respeitado o disposto no art. 33, e de outras ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

XVI - meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito local, da implementação e operacionalização dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos de que trata o art. 20 e dos sistemas de logística reversa previstos no art. 33;

XVII - ações preventivas e corretivas a serem praticadas, incluindo programa de monitoramento;

XVIII - identificação dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos, incluindo áreas contaminadas, e respectivas medidas saneadoras;

XIX - periodicidade de sua revisão, observado prioritariamente o período de vigência do plano plurianual municipal. [...] (BRASIL, 2010a).

Isto significa que cada município, antes de determinar qualquer forma de eliminação e destinação final dos resíduos, deve adotar uma política de redução na fonte, e privilegiar formas de tratamento, como reciclagem e compostagem (IPEA, 2012). Cabe ressaltar que infelizmente a PNRS deixou uma lacuna por não fazer referência aos resíduos domiciliares na zona rural, o foco destinou-se ao RSU (ROCHA, 2013).

A Lei nº Federal 12.305/2010 faz referência ao meio rural quando classifica os resíduos sólidos, no artigo 13, inciso I, alínea i, “[...] resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades” e quando aborda a responsabilidade compartilhada através do seu artigo 33 pela

implantação da logística reversa esclarecendo no §4º sua obrigatoriedade “[...] os consumidores deverão efetuar a devolução após o uso, aos comerciantes ou distribuidores, dos produtos e das embalagens de agrotóxicos [...]”.

Para Neto (2011), a Lei Federal nº 12.305/2010 contempla os instrumentos necessários ao auxílio do funcionamento da logística reversa e o fortalecimento e fomento a participação dos catadores de materiais recicláveis nos planos de gestão dos resíduos sólidos, sendo está uma forma de promover inclusão social e econômica dos mesmos. De acordo com Godoy (2013), embora este conceito de gestão integrada e responsabilidade compartilhada que divide as atribuições entre o ente público, o setor produtivo e a população, a responsabilidade maior acaba recaindo sobre as prefeituras.

Mesmo que a PNRS não faça referência direta ao RSD rural a Constituição Federal Brasileira de 1988, a Lei Federal nº 9.605/1998, a Lei Federal nº 9.966/2000, a Lei Federal nº 9.974/2000 e a PNSB, Lei Federal nº 11.445/2007, garantem o atendimento às comunidades rurais, por se tratar de um serviço básico, coleta, transporte e destinação de resíduos sólidos (BRASIL, 1988, 1998, 2000a, 2000b, 2007).

Fica evidente que a responsabilidade maior foi imposta aos municípios de formular políticas públicas referentes à destinação de resíduos sólidos, muito em função dos problemas causados pelo manejo inadequado. O manejo inadequado desses resíduos gera problemas socioambientais, econômicos e de saúde pública (OLIVEIRA e JUNIOR, 2016).

2.4. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS MUNICIPAL

A gestão de resíduos sólidos, constante na PNRS, refere-se ao conjunto de ações executadas, direta ou indiretamente pelo poder público, com objetivos de garantir um meio ambiente mais saudável e sustentável, e a racionalidade no uso dos recursos naturais (BRASIL, 2010a).

Para Jacobi e Besen (2011), cabe aos municípios a tarefa de gerenciar adequadamente seus resíduos produzidos, desenvolvendo políticas públicas que atendam às legislações vigentes, disciplinando o fluxo, coleta, transporte e destinação adequada para os mesmos. “A gestão de resíduos sólidos inclui as funções administrativas, financeiras, legais, de planejamento e de engenharia envolvidas na busca de soluções para os problemas dos resíduos sólidos” (FERRAZ, 2008, p.107).

Segundo Ferreira (2018, p.66), “atividade de gerenciamento é de responsabilidade principal dos municípios, que podem além de delegar serviços para entes privados, realizar

parcerias com outros órgãos governamentais para execução das políticas de gestão”. Oliveira (2016, p.57) ressalta que “o município tem de administrar o serviço de manejo dos resíduos sólidos urbanos e interagir com geradores sujeitos aos planos de gerenciamento, quer na logística reversa, quer na fiscalização desses planos, nos termos do Art. 20 da PNRS”.

Para Ferraz (2008, p.107), “gestão de resíduos sólidos pode ser definida como uma disciplina associada ao controle da geração, armazenamento, coleta, transferência, transporte, processamento e disposição final de resíduos sólidos de maneira adequada”. Segundo Oliveira (2016, p.55), “o manejo inadequado desses resíduos gera problemas socioambientais, econômicos e de saúde pública”.

A gestão integrada dos resíduos sólidos só pode ser alcançada por meio do alinhamento e colaboração de todos os elementos funcionais necessários para sua execução, legais e operacionais, visando à seleção e aplicação das técnicas, tecnologias e programas de gerenciamento para atendimento de objetivos e metas específicas (FERRAZ, 2008).

Segundo Ferreira (2018, p.33), os municípios de pequeno porte não conseguem melhores desempenhos em gestão de resíduos sólidos, pelos seguintes motivos:

- a) A geração de resíduos não tem volume de escala suficiente para atração de investimentos em tecnologias para aproveitamento dos resíduos, como usinas de reciclagens e de energias;
- b) Os municípios possuem mínimas alternativas para geração de receitas para arcar com os custos de gestão e de desenvolvimento de programas de coleta seletiva e de incentivos às cooperativas de reciclagens;
- c) Falta de estrutura técnica para o gerenciamento eficiente dos resíduos em todos os estágios (FERREIRA, 2018, p.33).

Mesmo com essas dificuldades, os municípios precisam gerir os resíduos sólidos, obrigatoriamente, de forma que as atividades relacionadas contemplem aspectos de proteção ao meio ambiente e adoção de critérios baseados em eficiência, produzindo os melhores resultados com os recursos investidos.

Para Moraes (2017) os problemas com a gestão de resíduos sólidos nos municípios, ocorrem devido à:

Inexistência ou à fragilidade dos recursos econômicos e humanos, como seria o pessoal especializado com capacidade para gerir o setor, fatores que terminam nas fragilidades na habilidade de gestão em diversas esferas de poder no país. Tais deficiências resultaram num cenário onde poucos municípios dispõem das condições necessárias para realizar uma gestão adequada dos resíduos sólidos, de forma a garantir que os serviços sejam sustentáveis e que as novas disposições legais sejam implantadas de forma efetiva à racionalidade na aplicação dos recursos técnicos, humanos e financeiros. Para isso, são necessários esforços na aplicação de políticas

de planejamento que visem mitigar tais fragilidades presentes na gestão de resíduos sólidos (MORAES, 2017, p.49).

De acordo com o apresentado no manual de gerenciamento integrado do lixo municipal publicado pela CEMPRE (2018a) os municípios enfrentam dificuldade de gestão dos resíduos sólidos domiciliares devido aos seguintes fatores:

- Limitações de ordem financeira, como orçamentos inadequados, fluxos de caixa desequilibrados, tarifas desatualizadas, arrecadação insuficiente e inexistência de linhas de crédito específicas;
- Deficiência na capacitação técnica e profissional – do gari ao engenheiro-chefe;
- Descontinuidade política e administrativa;
- Ausência de controle ambiental (CEMPRE, 2018a, p.33).

A gestão de resíduos sólidos é complexa, para ser eficiente os resíduos devem ser geridos de forma consistente, observando o ciclo de vida dos produtos, minimizando os impactos ambientais e uso dos recursos naturais e a não geração de resíduos (MONTEIRO, 2017). Para Oliveira (2016), a busca por soluções para a destinação final dos resíduos tem constituído expressivo desafio aos municípios, sobretudo com relação aos impactos ambientais, no que se refere à prevenção à poluição do solo, do ar e dos recursos hídricos.

Devem-se buscar as soluções mais adequadas para tratamento do RS; de acordo com a CEMPRE (2018a) a seleção das melhores alternativas poderá ser feita utilizando-se quatro critérios:

- a) critério econômico-financeiro – para definir, razoavelmente, custos mínimos, taxa de retorno, custo/benefício e viabilidade financeira e tarifária do negócio (ou outro objetivo econômico-financeiro);
- b) critério ambiental – para se assegurar que em todas as soluções adotadas os recursos naturais (água, ar, solo, flora e fauna) do município e da região estejam sendo preservados e protegidos;
- c) critério social – para estabelecer índices sobre efeitos positivos na saúde, segurança, educação, e de manutenção e geração de emprego, renda, lazer, ascensão social e outros benefícios, expressos de modo equitativo, notadamente na população afetada pela inserção regional da alternativa;
- d) critério político-gerencial – para otimizar modelos alternativos de cooperação, parcerias e acordos compensatórios, necessários à inserção regional da alternativa proposta, assegurando a receptividade, apoio e boa convivência com entidades (municipal, estadual, federal e privada) e comunidades presentes na área geográfica influenciada (CEMPRE, 2018a, p.23).

No processo de planejamento da gestão de resíduos é preciso incluir o maior número de partes interessadas, a fim de que todos os aspectos importantes sejam tratados resultando em ações mais efetivas.

Segundo Moraes (2017), no processo de planejamento podem ser incluídos:

- Representantes do nível administrativo e político local (Departamentos governamentais, autoridades regionais, municípios).
- Peritos ou técnicos em resíduos.
- Representantes incumbidos do setor de gestão de resíduos (coleta, reciclagem, compostagem, reaproveitamento biogás, incineração e aterro sanitário).
- Indústria, comércio e organizações sociais.
- Conselhos de consumidores/associações.
- ONGs e outras entidades afins que poderiam estar envolvidas no processo de planejamento também (MORAES, 2017, p.52).

Segundo a CEMPRE (2018a) as ações prioritárias para qualquer modelo de gerenciamento do lixo municipal devem ser:

- 1ª) Coletar todo o lixo gerado de responsabilidade da Prefeitura.
- 2ª) Dar um destino final adequado para todo lixo coletado.
- 3ª) Buscar formas de segregação e tratamento para o lixo do seu município. Considerar que essas formas só darão resultados positivos e duradouros se responderem a claros requisitos ambientais e econômicos.
- 4ª) Fazer campanhas e implantar programas voltados à sensibilização e conscientização da população no sentido de manter a limpeza da cidade;
- 5ª) Incentivar medidas que visem diminuir a geração de lixo (CEMPRE, 2018a, p.11).

De acordo com as orientações para elaboração de plano simplificado de gestão integrada de resíduos sólidos – PSGIRS (BRASIL, 2013), fornecida pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA, como um guia para os municípios de até 20 mil habitantes organizarem a gestão dos resíduos sólidos, destaca que:

É imprescindível que todos os entes da federação desenvolvam planos de gestão capazes de equacionar o enfrentamento da questão nos seus respectivos territórios, estabelecendo um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, considerando as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2013, p4).

Os esforços dos municípios para se enquadrarem às legislações e iniciarem o processo de gestão dos resíduos sólidos, começam pela apresentação do Plano de Gestão Integrada Municipal de Resíduos Sólidos (PGIMRS) e pelo plano de recuperação de áreas degradadas para combate dos danos ambientais causados pelos lixões (SOUSA, 2018).

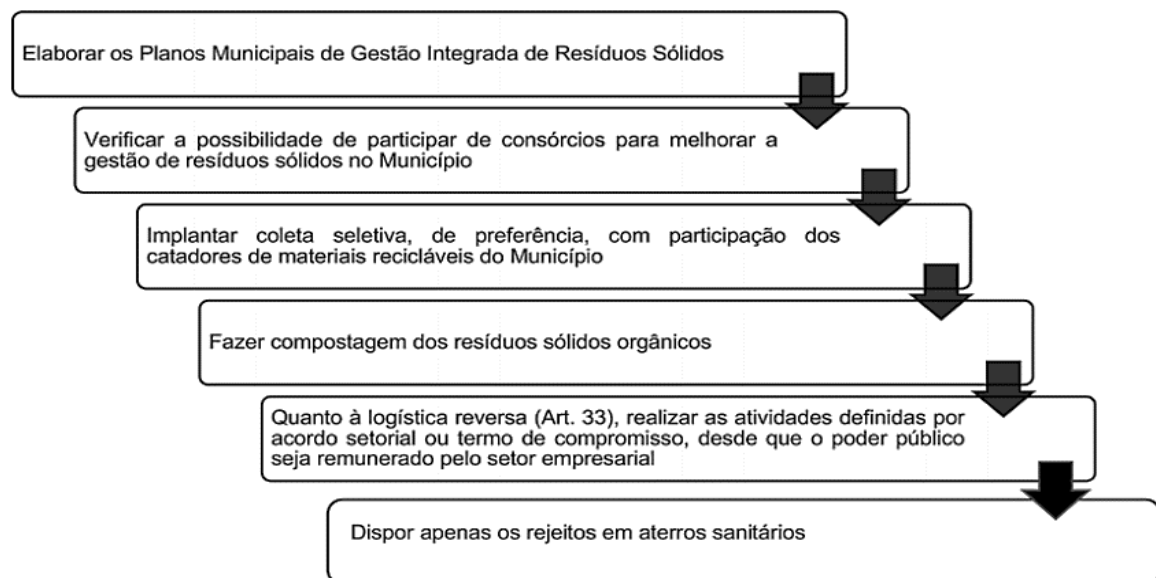
Moraes (2017) observa que os planos municípios devem conter metas e ações específicas para gestão dos resíduos sólidos, indicando que:

Os planos municipais de resíduos sólidos devem conter metas para redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem de resíduos, contemplando também a preocupação social para a inclusão de catadores de materiais recicláveis, trabalhadores

marginalizados pela sociedade que desconhece a importância da atividade que eles realizam, propondo uma visão sistêmica da gestão de resíduos sólidos, levando-se em consideração as variáveis ambientais, sociais, culturais, econômicas, tecnológicas e de saúde pública (MORAES, 2017 p.69).

No que diz respeito aos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), segundo a CNM (2019) apenas 54,8% possuem. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010, as principais obrigações municipais diretamente ligadas à gestão de resíduos sólidos local estão expostas na Figura 5.

Figura 5 - Obrigações municipais para gestão de RS.



Fonte: CNM (2019, p.36).

As etapas devem ser explícitas no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS). Esse Plano, de acordo com Lei 12.305/2010, é obrigatório para os Municípios terem acesso a recursos da União, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

2.4.1 Alternativas de gestão dos resíduos sólidos domiciliares na zona rural

Atualmente existem inúmeras opções e tecnologias para gestão dos RSD, que envolvem atividades de coleta, transporte, aterro, segregação, triagem, compostagem e incineração, dentre outros. Por meio da definição de diferentes cenários de gestão dos resíduos é possível escolher

o conjunto de atividades que produza o menor impacto ambiental e com o menor custo (CEMPRE, 2018a).

Por meio do estudo do ciclo de vida do lixo torna-se possível o levantamento de informações relativas a produtos ou serviços e seus respectivos impactos, com base nas variáveis de entrada e saída, considerando o consumo de matérias-primas, energia e seus efeitos associados que provocam emissões para o ar, terra e solo.

A utilização do estudo do ciclo de vida do lixo é uma ferramenta importante que auxilia no processo de gestão dos RSD, conforme CEMPRE (2018a) processo que consiste de várias etapas, que são:

- Definição dos objetivos e metas, que consiste no estabelecimento de uma linha mestra para o estudo, definindo os pontos que serão considerados, as unidades funcionais para comparação, as fronteiras do sistema, ou seja, o que será incluído ou omitido na avaliação. Nesta etapa é definida a profundidade e a extensão do estudo;
- Inventário, que considera todo o material e energia que entra e sai durante as várias fases do ciclo de vida do produto ou serviço; a soma do inventário destas fases é o inventário do ciclo de vida completo. Nesta etapa, a coleta de dados confiáveis, ou seja, procedentes de fontes idôneas, é imprescindível;
- Avaliação e interpretação dos impactos, que consiste em converter os dados do inventário em impactos, que podem ser global, continental, regional ou local, e na interpretação destes, a qual é de certo modo subjetiva, embora apoiada em bases técnicas (CEMPRE, 2018a, p.23).

Segundo IPEA (2017), o percentual de resíduos sólidos passíveis de reaproveitamento e reciclagem varia entre 30 e 40%, situação que reduziria consideravelmente a quantidade total de lixo descartado, algumas pesquisas apontam que o país encaminha apenas 13% dos resíduos coletados para reciclagem. As dificuldades podem ser enfrentadas por meio de políticas públicas que fomentem práticas de reciclagem, compostagem e até mesmo a utilização dos biodigestores, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos que obrigatoriamente devem ser encaminhados a aterros sanitários. Destaca-se o Município de Cacequi, com população rural de 3.044 mil habitantes, divididos em um grupo disperso e outro aglomerado, fato que possibilita a análise e estudo de duas condições de manejo de resíduos sólidos em cenários distintos (Tabela 2).

O Ministério do Meio Ambiente, em 2010, apresentou estudo referente ao potencial de geração de energia a partir de resíduos de saneamento, demonstrando que, de longa data, o tema vem sendo debatido na esfera pública, com ênfase na PNRS:

A adoção das premissas delineadas na Política Nacional de Resíduos Sólidos, tais como a operacionalização de sistemas de logística reversa, recuperação de materiais, reciclagem e principalmente a intensificação da prática da compostagem, reduzirão a

quantidade de resíduos cujo destino final será os aterros sanitários. Em concomitância, reduz-se a produção do combustível biogás (BRASIL, 2010d, p.40).

CEMPRE (2018b) apresentou no Anuário de Reciclagem 2017-2018 o valor médio por quilograma da comercialização dos materiais passíveis de reciclagem no resíduo doméstico, demonstrando o potencial de ganho com a implantação de políticas de reciclagem. As informações referentes à composição gravimétrica (CG), apresentadas por Besen (2011) apresentada na coluna CG1 e por CEMPRE (2014) apresentada na coluna CG2, aos percentuais dos materiais reciclados por quilograma produzido, a média de preço dos materiais e o valor estimado por quilograma de material reciclado estão expressos na Tabela 4, que demonstra o potencial de geração de renda com a reciclagem.

Tabela 4 - Potencial de ganho com reciclagem (R\$/KG).

Materiais	CG 1	CG 2	Média CG1 e CG2	(%/KG)	Preço Médio (R\$/KG)	Ganho Médio R\$/KG
Plásticos	16,49%	13,50%	15,00%	0,150	R\$ 1,00	R\$ 0,150
Papéis	13,16%	13,10%	13,13%	0,131	R\$ 0,36	R\$ 0,047
Vidro	2,34%	2,40%	2,37%	0,024	R\$ 0,18	R\$ 0,004
Materiais Ferros	1,56%	2,30%	1,93%	0,019	R\$ 0,51	R\$ 0,010
Alumínio	0,61%	0,60%	0,61%	0,006	R\$ 3,66	R\$ 0,022
Valor médio de ganho por Kg						R\$ 0,23

Fonte: Autor (2020).

Segundo Iwasaki (2009), sabe-se que o acúmulo de matéria orgânica entra em processo de decomposição, formando uma mistura complexa de gases, entre eles o metano. Um dos maiores problemas causados pelo metano é o efeito estufa no planeta, principalmente devido ao seu alto potencial de aquecimento global quando comparado ao gás carbônico, porém ele tem a vantagem de ser utilizado como combustível e outras variáveis.

A produção do biogás é gerada pela decomposição de resíduos de origem vegetal ou animal, produzindo no processo o metano. Segundo Ferreira (2011) a utilização do gás metano e dos resíduos para geração de energia é variada:

- Produção de eletricidade nas formas de gaseificação e pirólise.
- Gaseificação, que consiste na conversão da biomassa em um gás combustível, utilizado para gerar vapor e ligar turbinas. Essas, por sua vez, ligam geradores, que transformam a energia mecânica em energia elétrica.
- Pirólise: consiste no fornecimento de calor à biomassa, que através de reação química é convertida em óleo. Esse óleo pode ser queimado para a produção de energia elétrica.
- Biocombustíveis como etanol, metanol e biodiesel.

O tratamento e descarte correto de resíduos orgânicos podem ser viabilizados com uso dos biodigestores, que através do processo de biodigestão anaeróbia estabiliza a matéria orgânica, alterando a estrutura bioquímica do resíduo, produzindo gases (biogás) como metano e biofertilizantes, reduzindo a produção de poluentes (KRETZER et. al., 2016). A compostagem de resíduos orgânicos por meio de decomposição anaeróbia em biodigestores resulta na criação de húmus. A utilização desse adubo natural apresenta ainda uma alternativa ao uso de adubos e fertilizantes químicos que causam inúmeros prejuízos ao meio ambiente (BRASIL, 2010d).

Para Jorge (2006), a atratividade na utilização do biogás como fonte de energia está relacionada pela abundância de matéria prima para fonte de produção (resto de alimentos, esterco ou esgoto) e pelo baixo custo de manutenção do biodigestor. Para a geração do biogás, é necessária a existência de um equipamento, cuja peça principal é o biodigestor. “O biodigestor é um instrumento que proporciona um ambiente adequado para o reaproveitamento do lixo orgânico, pois transforma o mesmo em gases, com possibilidades de utilização em diversos setores” (Ferreira et. al., 2011, p.10). De acordo com Iwasaki (2009) um kg de lixo biodegradável processado gera 0,059m³ de biogás (tipo de mistura gasosa entre metano e CO₂).

Ferrari (2005) apresenta que, uma pessoa para uso doméstico necessita de 1,79 m³ de biogás diariamente, sendo que, um metro cúbico (1 m³) de biogás equivale a 0,61 litros de gasolina, 0,57 litros de querosene, 0,55 litros de óleo diesel, 0,45kg de gás liquefeito, 0,79 litros de álcool combustível, 1,538 kg de lenha e 1,5 kWh de energia elétrica.

O biogás possibilita a geração de energia elétrica, devido a existência de metano em sua composição. O potencial de produção de energia elétrica de um metro cúbico de biogás é de aproximadamente 1,66 kWh, resultado da produção final, descontando as perdas energéticas no processo de transformação em energia de uma usina termoeletrica convencional (IWASAKI, 2009).

De acordo com Sagula (2012), o biogás é constituído de 60 a 70% de metano (CH₄) e 30 a 40% de dióxido de carbono (CO₂). Para Iwasaki (2009), o biogás gerado a partir do lixo possui 55% do seu volume em metano e 30% em CO₂, sendo que, para cada m³ de biogás são liberados 0,55 m³ de metano que correspondem a 0,4 kg de gás metano, demonstrando um grande potencial de geração de energia e de créditos de carbono pela redução da emissão atmosférica de CO₂.

Silva (2016) argumenta que a utilização de biodigestores produz tanto um ganho ambiental quanto econômico:

Os biodigestores são capazes de transformar esses resíduos em biogás e biofertilizantes, permitindo não apenas uma redução de quase 80% dos materiais orgânicos residuais lançados na terra, na atmosfera ou nos rios, mas também uma diminuição na economia gerada, evitando o depósito no fundo de rios e outros desastres ambientais decorrentes do efeito estufa (SILVA et., al., 2016, p74).

Existem inúmeras alternativas para a gestão adequada dos resíduos sólidos, encontrar uma solução viável para a gestão dos resíduos sólidos rurais torna-se um desafio, devido ao grande número de fatores e variáveis envolvidas no processo. O estudo aprofundado desta temática poderá apresentar medidas que proporcionem o atendimento da legislação pertinente ao assento, produzindo ganhos socioambientais e racionalização dos recursos públicos. Os métodos de pesquisa utilizados na construção e desenvolvimento do projeto são apresentados a seguir.

2.5. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação computacional é uma técnica que consiste em criar um modelo da situação real, por meio da formulação de um modelo matemático, que deve reproduzir as características do sistema original para execução de experiências, verificações e análises de resultados (GAVIRA, 2003).

Segundo Aragão (2003) a simulação computacional possibilita a experimentação, verificação e análise de situações e problemas que não poderiam ser testados em situações reais. “A simulação computacional de sistemas consiste na utilização de um conjunto de métodos e técnicas matemáticas, com o objetivo de imitar o comportamento de sistemas reais, geralmente utilizando-se de computadores e *softwares*” (KELTON; SADOWSKI; SADOWSKI, 1998).

Medeiros (2014, p.463, p.464) apresenta um quadro com algumas definições do conceito de simulação computacional, com base na literatura apresentada pelos autores, expostas a seguir no Quadro 3.

Quadro 3 - Conceitos de simulação computacional.

Autor	Conceito
Schriber (1971)	Implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo.
Shannon (1975)	Um modelo computacional é um programa de computador cujas variáveis apresentam o mesmo comportamento dinâmico e estocástico que o sistema real representa.

Ehrlich (1976)	Método empregado para estudar o desempenho de um sistema por meio da formulação de um modelo matemático, que possui as mesmas, ou pelo menos semelhantes, características do sistema original.
Simon (1981)	Técnica para aquisição de compreensão e predição do comportamento de sistemas, antecedendo o computador digital, podendo assumir a forma de um experimento de pensamento que na verdade nunca foi implementado dinamicamente.
Pegden (1991)	Simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com esse modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação.
Hollocks (1992)	Técnica de pesquisa operacional que envolve a criação de um programa computacional para representar alguma parte do mundo real, de tal forma que os experimentos no modelo são como a antevisão do que acontecerá na realidade.
Pidd (1998)	Simulação computacional consiste no uso de um modelo como base para exploração e experimentação da realidade.

Fonte: Medeiros et. al., 2014, p.463, p.464.

A simulação computacional pode ser definida como “um processo de projetar um modelo de um sistema real e procedimentos de experimentos com esse modelo, com o propósito de verificar o comportamento do sistema, ou até mesmo avaliar estratégias para a sua operação” (PEGDEN; SHANON; SADOWSKI, 1995). Por meio do uso da simulação pode-se imitar o comportamento de, praticamente, qualquer tipo de operação ou processo do mundo real.

Segundo Simonetto e Lobler (2014) o processo de criação de uma simulação consiste:

Na criação de um modelo lógico. Assim, um modelo lógico consiste em um conjunto de suposições e aproximações, devidamente quantificadas e estruturadas, que visam representar o comportamento do sistema real sob determinadas condições, utilizando-o para prever e comparar alternativas lógicas passíveis de serem simuladas (SIMONETTO e LOBLER, 2014, p.03).

Os modelos podem ser aplicados em situações que se deseja compreender algo que não se pode observar ou experimentar diretamente, ou pela inexistência de um sistema real, ou pela dificuldade ou impossibilidade de manipulação, facilitando deste modo a compreensão e o aprendizado (SIMONETTO e LOBLER, 2014). Segundo Rodrigues (2018) a simulação computacional vem sendo utilizada por diversas áreas de estudo, devido sua flexibilidade, incluindo-se os problemas relacionados à gestão ambiental e a gestão de resíduos sólidos, evidenciando que o método é uma das ferramentas de análise mais poderosas disponíveis para a representação de sistemas complexos. Uma das técnicas utilizadas para a simulação computacional é a metodologia de Dinâmica de Sistemas (System Dynamics), a qual é apresentada a seguir (SIMONETTO e LOBLER, 2014).

2.5.1. Dinâmica de sistemas

A metodologia de Dinâmica de Sistemas foi desenvolvida por Jay Forrester e possibilita investigar o comportamento de um sistema ao longo do tempo; ou seja, testar os diferentes tipos de comportamento que o sistema pode assumir, facilitando deste modo a identificação e avaliação de melhorias potenciais, auxiliando o processo decisório (SIMONETTO et al., 2016).

O método possibilita analisar o comportamento dos sistemas ao longo do tempo, o que permite conseqüentemente um maior poder analítico para avaliar a tomada de decisões, assim como possibilita realizar alterações no sistema, aumentando ou diminuindo as entradas e saídas, provocando uma série de efeitos nas decisões (DAELLENBACH; MCNICKLE, 2005).

Esta metodologia é utilizada em diversos centros de pesquisa, sendo que já foram desenvolvidos *softwares* que contemplam as estruturas da Dinâmica de Sistemas, como por exemplo o Vensim (VENTANA SYSTEMS, 2016). Os modelos são compostos por dois componentes principais, os estoques responsáveis por acumular dados e fluxos onde são definidas as regras de decisões ou políticas do sistema (SIMONETTO et al., 2016). E através do *software* Vensim é possível realizar a conexão entre as variáveis utilizando setas como conexão causa-efeito (VENTANA SYSTEMS, 2016).

De acordo com Freitas Filho (2008), as ferramentas de simulações possuem várias vantagens, tais como: a) depois de criado um modelo de simulação o mesmo pode ser utilizado várias vezes para avaliar outros cenários propostos; b) possibilidade de criar modelos com um nível maior de detalhamento simulando um cenário real; c) através do modelo é possível controlar o tempo, podendo simular casos de forma mais rápida ou mais lenta, conforme a necessidade da análise; d) é possível realizar o teste de hipóteses e confirmação sobre determinados problemas e cenários; e) a simulação permite visualizar facilmente a presença de obstáculos, o que permite a melhor proposta de melhorias; f) permite criar cenários ou simulações de hipóteses que no cenário real seria impossível de realizar.

Além disso, a simulação utilizando a metodologia Dinâmica de Sistemas pode ser aplicada em várias áreas e campos de estudos, tais como: sistemas para avaliação do reaproveitamento de resíduos eletrônicos (SIMONETTO et. al., 2016), na área ambiental através da avaliação de cenários sobre geração de resíduos sólidos urbanos (SIMONETTO; LOBLER, 2014), em decisões estratégicas para empresas como *Startups* (TAKAHASHI; TANAKA, 2016), em tomadas de decisões financeiras e simulações de mudanças nas estratégias de negócios (SVATOŠOVÁ, 2019), na gestão de processos de construção civil (BERNARDO, SANTOS E MIRANDA, 2019), entre outros.

Portanto, a dinâmica de sistemas é uma forma aprimorada de se pensar sobre as interligações das peças que compõem o sistema à medida que o tempo aumenta, seja esse sistema, por exemplo, a geração de resíduos sólidos por completo ou a geração de gases poluentes provocados pela produção de queima desses resíduos. As simulações computacionais possuem o objetivo de realizar projeções futuras, estimar desempenho em determinadas situações, possibilitar a análise de impacto e sensibilidades provocadas por mudanças, contribuir para tomada de decisões com base nas respostas dos cenários estimados, entre outras situações que podem ser simuladas.

2.5.2 Componentes do modelo

Um modelo em Dinâmica de Sistemas (System Dynamics) é construído por meio de quatro componentes básicos: estoques, fluxos, auxiliares e conectores. Os estoques são variáveis de estado responsáveis por acumular ou armazenar informações para os demais elementos do modelo (DEATON; WINEBRAKE, 2000).

Blois e Souza (2008) argumentam que na DS qualquer sistema pode ser representado em um Diagrama de Estoque e Fluxo, permitindo quantificar as relações de causa e efeito entre os elementos que compõem sistemas:

Na perspectiva da DS, qualquer sistema pode ser descrito em um Diagrama de Estoque e Fluxo, numa linguagem composta de quatro elementos: a) estoques (stocks ou níveis): representam as acumulações de um recurso; b) fluxos (flows): são atividades que produzem crescimento ou redução dos estoques, o movimento de materiais e a informação dentro do sistema; c) auxiliares (conversores e constantes): são componentes para a realização de operações algébricas, que processam informações a respeito dos estoques e fluxos ou representam fontes de informação externas ao sistema; d) conectores: são links de informação que descrevem a relação entre estoques, fluxos e auxiliares (BLOIS E SOUZA, 2008, p.38).

De acordo com Simonetto e Lobler (2014), esses componentes fornecem uma visão do estado do sistema a qualquer instante de tempo, as ações dos fluxos influenciam os estoques, porém não de forma instantâneas, demandam um certo tempo.

Simonetto e Lobler (2014) trazem que:

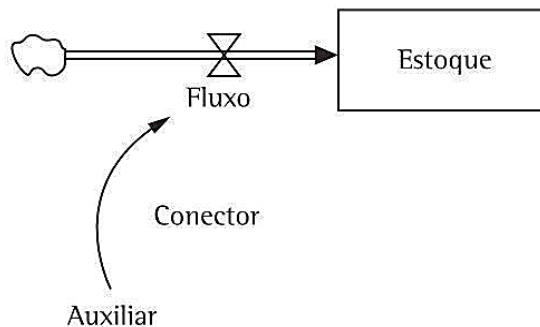
Os fluxos, por sua vez, são variáveis de ação e podem alterar os estoques, aumentando ou diminuindo seu volume. Os auxiliares servem para formular os dados para definir as equações dos fluxos. Eles servem para combinar, através de operações algébricas, fluxos, estoques e outros auxiliares. Os conectores representam as inter-relações entre todos os componentes do sistema. São essas inter-relações que ligam os componentes que formarão a expressão matemática (SIMONETTO e LOBLER, 2014, p.04).

Fernandes (2001) apresenta no trabalho *Dinâmica de Sistemas e Business Dynamics*, uma definição para os componentes da DS:

Na perspectiva da DS, qualquer sistema, natural ou artificial, pode ser descrito através de uma linguagem composta de quatro elementos: Estoques (níveis), os quais representam as acumulações de um recurso, como por exemplo, pedidos em carteira, trabalhadores, inventários ou capital intelectual; Fluxos, que são atividades que produzem crescimento ou redução dos estoques; Conversores, os quais processam informações a respeito dos Estoques e Fluxos ou representam fontes de informação externa ao sistema. Finalmente, os Conectores, que nada mais são do que links de informação que descrevem a relação entre Estoques, Fluxos e Conversores (FERNANDES, 2001, p.04).

A Figura 6 demonstra cada um dos componentes de um modelo de Dinâmica de Sistemas.

Figura 6 - Componentes do modelo da DS.



Fonte: (SIMONETTO E. LOBLER, 2014).

De acordo com Bastos (2003) todo o comportamento dinâmico de um sistema está baseado no princípio da acumulação:

A Dinâmica de Sistemas crê que todo o comportamento dinâmico de um sistema está baseado no Princípio da Acumulação. Este princípio afirma que todo comportamento dinâmico no mundo ocorre quando os Fluxos se acumulam em Estoques. Ou seja, o comportamento dinâmico surge quando algo flui por algum meio, se acumulando (ou esgotando) de alguma forma. (BASTOS, 2003, p.65).

Para Franco (2005) a utilização de diagramas de estoque e fluxo são as mais adequadas para utilização em modelos de simulação que possuam abordagem quantitativa da DS. Andrade (2006) argumenta que em um diagrama de estoque e fluxo, a estrutura do sistema possui

representação matemática, o que permite quantificar as relações de causa e efeito entre os elementos do sistema. Para Fernandes (2001, p.03) “uma das aplicações da DS é a visualização de qualquer sistema humano, através da identificação das características estruturais, das relações causa-efeito-causa e das estruturas de *feedback*”.

2.6 COLETA DE DADOS

A coleta de dados do trabalho compreendeu uma pesquisa documental, estudo exploratório, no qual o conceito de gestão de resíduos sólidos é adquirido por meio de pesquisas bibliográficas, entrevistas com técnicos municipais, análise de processos licitatórios de coleta, transporte e destinação RSU e observações *in loco* para entender a percepção das comunidades rurais com relação ao RSD produzido.

Os estudos exploratórios seguem os passos: a) verificação da existência do problema; b) definição e estruturação do problema; c) especificação dos requisitos da solução. Na metodologia Sterman (2000), a primeira etapa da metodologia, sendo considerada a principal, é a articulação/formulação do problema.

2.6.1 Caracterização do ambiente analisado

Este estudo tem como foco os aglomerados rurais por possuírem características geração de resíduos sólidos domiciliares semelhantes a urbana. O local definido para análise é o Município de Cacequi que possui dois aglomerados rurais com população total de 1.320 habitantes, conforme Tabela 5, que não possuem tratamento adequado para os RSD, facilitando deste modo identificar as vantagens da gestão adequada desses materiais pela Administração Municipal, por meio da apresentação de soluções para este problema. A análise local viabiliza a observação e a percepção da comunidade sobre a problemática em estudo. Os valores relacionados à produção, destinação irregular e valores referentes aos índices e taxa de processamento dos resíduos produzidos seguiram as proposições dos periódicos e dados referenciados.

Tabela 5 - Habitantes das comunidades locais estudadas.

Período	2000			2010		
	Aglomerado Rural	Rural	Total	Aglomerado Rural	Rural	Total
Umbu	658	575	1.233	543	361	904
Capela do Saicã	867	514	1.381	777	352	1.129
Total	1.525	1.089	2.614	1.320	713	2.033
Variação populacional no período				-13%	-35%	-22%

Fonte. IBGE 2010b.

As condições de descarte dos RSD nessas localidades refletem as práticas comuns adotadas pelas comunidades rurais que não são assistidas por serviços de gestão de resíduos, que acabam sendo incinerados/queimados ou descartados em terrenos e rios. Segundo informações dos técnicos do departamento do meio ambiente municipal, não existe previsão de implantação de políticas públicas voltadas à gestão destes resíduos. Em 2009 um esforço conjunto entre o departamento e o conselho municipal de defesa do meio ambiente que disponibilizou recursos do fundo de meio ambiente para construção de pontos de coleta voluntária nas localidades que por falta de interesse da administração não foram construídos.

Os técnicos municipais admitem a necessidade implantar um meio de coleta de RSD nas localidades devido aos problemas socioambientais envolvidos. Existe outro agravante ambiental nas localidades que refere-se a proximidade do Rio Ibicuí (Umbu) e do arroio Saicã (Capela do Saicã), essas condições facilitam o descarte do RSD nos corpos d'água tanto de forma arbitrária e inconsequente, quanto pelas chuvas que convergem os resíduos para esses locais, possibilitando a poluição e possível contaminação do ambiente.

Os subprefeitos responsáveis pelos serviços de manutenção das comunidades enfrentam inúmeros problemas com o lixo doméstico descartado que comumente é enterrado ou jogado em terrenos, admitem que por mais que cobrem a sensibilização e conscientização dos moradores a falta de um local adequado para recolhimento dos resíduos força o descarte irregular. Os moradores de longa data solicitam solução para a questão do lixo o tema é frequente na Câmara de Vereadores, possuindo inúmeros requerimento e pedidos de providência, porém a situação permanece e o passivo ambiental continua acumulando.

Uma breve análise da condição local, com base nos dados apresentados pelo SNIS em 2016, a produção per capita de RSD para Cacequi/RS de 0,4 Kg/hab./dia se considerarmos o total de habitantes das comunidades estudados, teremos uma produção de aproximadamente 10 toneladas de lixo sem destinação adequada por ano, se calcularmos sobre a média de produção

nacional divulgada pelo SNIS em 2017, de uma produção de 0,92 Kg/hab./dia, teremos mais de 22 toneladas por ano. Segundo censo demográfico (IBGE, 2010b), em 10 anos (2000 a 2010) essas comunidades tiveram pouca variação populacional por ano, possibilitando estimar uma produção de resíduos superior a 220 toneladas nesse período. Por mais que pareça pouco se comparado com a produção de RSU, ao longo do tempo o manejo inadequado desses materiais pode causar grande dano ambiental e influenciar diretamente na qualidade de vida dessas comunidades, situação que se apresenta em vários municípios, tanto em nível regional quanto em nível nacional.

Se considerarmos a estimativa que 20% da população rural vive em aglomerados rurais, torna-se bastante expressiva a produção de RSD (IBGE, 2010b; IPEA, 2014). Os impactos que a falta de gestão adequada destes materiais pode gerar são preocupantes, sendo assim, para quantificar a produção e as consequências da destinação irregular, bem como alertar para o problema, inclui-se em primeira análise, a população estimada para o Estado do Rio Grande do Sul (RS) e Brasil (BR), de 318 mil e 6 milhões de habitantes respectivamente que vive em aglomerados rurais, devido a seriedade e gravidade do tema.

2.7 HIPÓTESE DINÂMICA

A hipótese dinâmica objetiva trabalhar o problema de forma teórica, por meio da análise do seu comportamento, observando quais as variáveis integram o sistema (SILVA, 2006). Neste trabalho, incorporaram-se as seguintes variáveis básicas: (1) população amostra, (2) produção per capita de RSR, (3) geração RSR, (4) descarte do RSR, (5) emissão de CO₂, (6) matéria orgânica RSR; (7) reciclagem RSR, (8) queima RSR, (9) ganho com a reciclagem e (10) biogás, dentre outras auxiliares detalhadas no modelo. De acordo com Simonetto (2016), esta etapa tem por objetivo formular uma hipótese que explique a dinâmica das interações entre as variáveis e os agentes representados no modelo, com base na estrutura interna do sistema.

A hipótese dinâmica do modelo desenvolvido é a seguinte:

. • A quantidade de RSD produzido no meio rural (aglomerados rurais) possui influência direta na quantidade RSD descartados de forma irregular e na contaminação ambiental, logo, quanto maior a gestão de RSD maior a possibilidade de geração de recursos pelo processamento do RSD, menor o descarte irregular de RSD e menor a contaminação ambiental. Deste modo melhora-se a qualidade de vida nas comunidades e atende-se às determinações legais impostas aos municípios.

2.8. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para análise dos resultados da simulação computacional, será utilizado o *software* Vensim, por possuir as condições necessárias para desenvolver e analisar modelos de dinâmica de sistemas que possibilitam a análise das características de sistemas reais. As possibilidades apresentadas pelo *software* Vensim para construção de modelos de simulação proporcionam variadas condições de análises dentro de um cenário, amplificando consideravelmente o nível de informações e de alternativas possíveis a serem encontradas (FERREIRA, 2016).

O *software* possibilita através de suas ferramentas e de suas extensões análises de alta qualidade, com dimensões que replicam e verificam a realidade. Sua usabilidade é intuitiva, permitindo interligar diferentes variáveis, definir atributos diferentes, fornecendo um ambiente para criação de modelos flexíveis. O *software* possui uma versão gratuita, podendo ser utilizado para o desenvolvimento de projetos educacionais. As ferramentas disponíveis no *software* Vensim possibilitam a construção de modelos dinâmicos que replicam as condições de comportamento e interação da problemática em estudo, se aproximando e duplicando a realidade em análise. O *software* Vensim proporciona a visualização dos resultados do modelo de simulação por meio de tabelas e gráficos, facilitando a visualização, interpretação e análise dos dados resultantes dos cenários, facilitando a tomada de decisões (FERREIRA, 2016).

3 MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo, serão discutidos os seguintes itens: o delineamento metodológico, as etapas da pesquisa, o tipo de pesquisa, o modo de coleta de dados, a construção do modelo computacional prévio, o instrumento da pesquisa responsável pela simulação computacional e a forma de análise das evidências.

3.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa caracteriza-se por ser uma investigação de natureza exploratória, de abordagem quantitativa, que tem como objetivo investigar o processo de gestão dos resíduos sólidos domiciliares nas comunidades rurais. Segundo Gil (2008, p.27), as pesquisas exploratórias têm como principal objetivo “desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores”. As pesquisas exploratórias possuem planejamento bastante flexível, de modo a possibilitar a análise dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado.

Gil (2002, p.41) descreve que na maioria dos casos essas pesquisas envolvem: “(a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; (c) análise de exemplos que "estimulem a compreensão". A pesquisa exploratória é realizada especialmente quando o tema escolhido é bastante genérico, tornando-se necessário seu esclarecimento e delimitação a fim de facilitar a construção de hipóteses precisas e operacionalizáveis. “O produto final desse processo passa a ser um problema mais esclarecido, passível de investigação mediante procedimentos mais sistematizados” (GIL, 2008, p.27). Com vistas a atingir o objetivo proposto pela pesquisa, faz-se uso da Dinâmica de Sistemas, com base no estudo definido por Ford (2009) por meio da combinação de estoques e fluxos que utilizam uma estrutura computacional para serem simulados.

A definição dada por Andrade (2006) à modelagem computacional descreve-a como sendo o somatório entre um trabalho qualitativo, que promove a análise e captura de dados, e um modelo quantitativo, o modelo computacional, que para execução utiliza as técnicas do campo da Dinâmica de Sistemas. A modelagem em Dinâmica de Sistemas visa representar os processos de um sistema, seu desenvolvimento, parte do reconhecimento dos fluxos que convertem recursos em diferentes estados, o que implica conhecer o seu mapa sistêmico desenvolvido.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Através do projeto pretende-se demonstrar os impactos socioambientais relacionados com o manejo e descarte dos resíduos sólidos domiciliares produzidos pela população rural. Valendo-se do desenvolvimento de um modelo de simulação computacional baseado na metodologia apresentada por Sterman (2000) para modelagem de dinâmica de sistemas, que trata da construção de um modelo para avaliação dos impactos socioambientais produzidos pela gestão adequada dos RSD nas comunidades rurais. Sterman (2000) apresenta em seu trabalho as etapas do processo de construção da modelagem, que envolvem 5 atividades dinâmicas e criativas, apresentadas no Quadro 4:

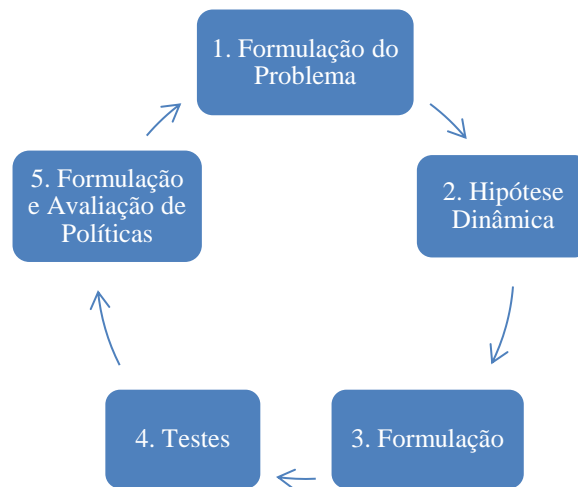
Quadro 4 – Etapas do processo de modelagem.

Etapas
1. formulação do os problemas a ser abordado (definição dos limites)
2. Formulação de Hipóteses Dinâmicas ou teoria dinâmica sobre as causas do problema.
3. Formulação/Desenvolvimento de um modelo de simulação para testar a hipótese dinâmica
4. Testar o modelo até que esteja satisfatório com os objetivos
5. Projetar, Definição e Avaliação de Políticas para melhoria

Fonte: Autor adaptado de Sterman (2000, p.86).

Sterman (2000) argumenta que a modelagem é interativa sendo um processo de constantes *feedback*, os modelos passam por interação constante, questionamento contínuo, teste e refinamento. As iterações ocorrem devido às interconexões entre as etapas do processo de modelagem, exemplificadas na Figura 7.

Figura 7 - Etapas do processo iterativo de modelagem.



Fonte: Autor adaptado de Sterman (2000, p.87).

O passo mais importante do processo de modelagem é a Etapa 1 a definição do problema (STERMAN, 2000). Nesta etapa é definido o problema, quais as principais variáveis e conceitos que precisam ser considerados, o horizonte de tempo de análise do problema, qual é o objetivo do modelo e a definição dinâmica de problemas, por meio da análise e histórico de seu comportamento. A Etapa 2 consiste na geração inicial de hipóteses com base nas teorias atuais do comportamento problemático, formulação de uma hipótese dinâmica que explique a dinâmica como consequências endógenas da estrutura de *feedback* e desenvolvimento de mapas da estrutura causal com base em hipóteses iniciais.

No desenvolvimento de um modelo de simulação realizado na Etapa 3 é definida a estrutura e as regras de decisão, os parâmetros, os relacionamentos comportamentais e condições iniciais dos testes de consistência do modelo. Os testes da Etapa 4 verificam se o modelo reproduz adequadamente o comportamento do problema para o seu propósito, verificam a robustez sob condições extremas e se reflete a realidade e sua sensibilidade às incertezas nos parâmetros, condições iniciais, limite do modelo e agregação. A partir da estabilidade e confiança na estrutura e no comportamento do modelo, passa-se à Etapa 5 que visa promover novos testes e melhorias pela definição de novas políticas, regras e cenários testando a robustez e sensibilidade a outras condições ambientais.

O fluxo de construção do projeto se assemelha às condições de desenvolvimento do modelo, composto por uma série de ações inter-relacionadas que visam prover as melhores condições de organização e eficiência na execução, sendo estas:

Ação (1) caracteriza-se pelo estudo exploratório em artigos científicos, periódicos, relatórios, orientações técnicas, legislação pertinente ao assunto, entrevistas com *stakeholders* e observações do ambiente na coleta de dados, sendo estes, indispensáveis para especificação e estruturação do problema de pesquisa;

Ação (2) caracteriza-se pelo desenvolvimento da solução, pela construção de modelos formais capazes de representar o problema (definição das variáveis e seus relacionamentos);

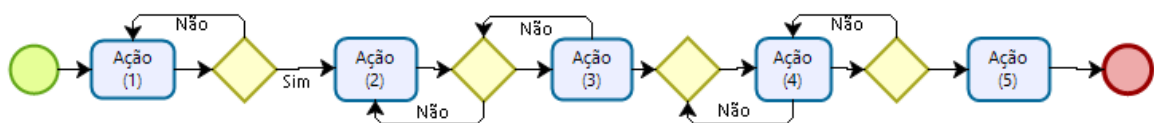
Ação (3) implementação computacional da solução, utilizando-se o simulador Vensim (VENTANA SYSTEMS, 2016) da área de da área de Dinâmica de Sistemas (*System Dynamics*);

Ação (4) verificação e validação (v&v) da solução, através de testes em laboratório e em campo, para verificar se os resultados obtidos representam parte da realidade observada, bem como através da simulação de um experimento para tal, por meio de cenários projetados e entrevistas com técnico e gestores envolvidos com a temática;

Ação (5) para exposição dos resultados e análise das diferentes possibilidades existentes para abordagem do tema.

A Figura 8 apresenta o fluxo de trabalho, representando as ações de construção, sendo que, o avanço para cada ação depende do atendimento da ação anterior, garantindo deste modo uma execução que atenda a todos os requisitos do projeto.

Figura 8 - Fluxo de trabalho e execução do projeto.



Fonte: Autor (2019).

O estudo também possui características de um estudo de caso, devido ao profundo e exaustivo estudo de um objeto, permitindo seu conhecimento de forma ampla e detalhada. De acordo com Gil (2008, p.57), “o estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado da tarefa”. O estudo de caso possibilita a investigação do fenômeno com base em seu contexto real, mesmo se as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não forem claramente definidas e apresentarem fontes de evidências variadas (Yin, 2005).

Segundo Gil (2008) a utilização do estudo de caso vem aumentando pelos pesquisadores sociais, devido a sua ampla aplicabilidade, se adaptando a pesquisas de diferentes propósitos, tais como:

- a) explorar situações da vida real cujos limites não estão claramente definidos;
- b) descrever a situação do contexto em que está sendo feita determinada investigação;
- c) explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações muito complexas que não possibilitam a utilização de levantamentos e experimentos (GIL, 2008, p.58).

4 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

A gestão adequada dos resíduos sólidos é um dos principais problemas socioambientais da atualidade. A grande produção de lixo doméstico associada a falta de processamento tem como consequência a liberação de gases que promovem o efeito estufa e a poluição do solo e das águas subterrâneas e superficiais. Silva (2014) aponta a crescente preocupação com o meio ambiente e a necessidade de buscar soluções que visem a redução na degradação do planeta por meio da destinação adequada do lixo produzido. Monteiro (2017) apresenta que para a gestão eficiente dos resíduos deve-se observar o ciclo de vida dos produtos, por meio de uma gestão consistente minimizando assim os impactos socioambientais e a utilização dos recursos naturais, incentivando a não geração.

A falta de manejo adequado dos resíduos descartados pela população acarreta uma série de problemas socioambientais, econômicos e de saúde pública. A busca por soluções para gestão, processamento e destinação final dos resíduos torna-se um desafio aos municípios (OLIVEIRA, 2016). As dificuldades para formulação de políticas públicas de controle ambiental estão associadas à falta de profissionais, limitações financeiras, orçamentos inadequados, tornando-se uma necessidade buscar soluções que auxiliem no desenvolvimento de políticas e ações tangíveis aos municípios. Neste sentido, apresenta-se o desenvolvimento do modelo de simulação, expondo e analisando cenários que demonstram e avaliam os impactos ambientais e as possíveis soluções para manejo dos resíduos produzidos.

As variáveis componentes do modelo foram definidas a partir das etapas apresentadas na Figura 9.

Figura 9 - Etapas para criação das variáveis.



Fonte: Autor (2020)

As entrevistas foram fundamentais para compreensão das limitações do ente público e a percepção das comunidades sobre o descarte dos resíduos sólidos. Na segunda etapa, realizou-se um estudo bibliométrico com o objetivo de identificar as principais características da produção científica relacionada com a gestão dos resíduos sólidos, tornando-se um grande desafio pela escassez de material específico sobre populações rurais. A terceira etapa subsidiou grande parte das informações utilizadas nas variáveis de cálculo de população e produção e descarte de resíduos pelas comunidades estudadas essenciais no estudo. A quarta e quinta etapa foram fundamentais para compreensão da gravimetria dos resíduos, os impactos ambientais envolvidos e análise das possíveis soluções para a redução do descarte inadequado. As últimas etapas são necessárias para a configuração de atributos e das interações entre as variáveis do modelo. O conjunto de informações e atributos coletados nas etapas para criação das variáveis do modelo estão expostos na Tabela 6.

Tabela 6 - Informações e atributos coletados.

Condição	Atributos e Valores			Definição / Referência
Período de análise	2020 a 2035			Tem simulado no modelo 15 anos.
População Aglomerados	Brasil	RS	Local	Estimativa de aglomerados rurais Brasil, Rio Grande do Sul e local de Estudo (IBGE, 2010b; IPEA, 2014).
	6.000.000	318.000	1.320	
Variação da população	(-)0,62% a.a. / (-)1,30 a.a.			Variação populacional conforme censo IBGE, rural Brasil e local de Estudo 2000-2010 (IBGE, 2010b).
Produção per capita	0,40 kg - 0,92 kg			Produção estimada per capita (SNIS, 2017).
Variação per capita	0,39% a.a.			Coefficiente de aumento da produção per capita de resíduos ao ano (ABRELPE, 2019).
Taxa resíduo reciclável	13% a 35%			Percentual com potencial de recicláveis, 13% índice nacional, 35% média entre 30 e 40% apontado como o máximo possível (IPEA, 2017; BESEN, 2011).
Taxa resíduo orgânico	51,04 / 57,41%			Percentual Matéria Orgânica (BESEN, 2011; CEMPRE, 2014)
Taxa resíduo queimado	59,6%			Percentual incinerado/queimado a céu aberto (IBGE, 2010a).
Taxa descarte	0% a 49,40%			Percentual de descarte inadequado, mínimo e máximo (somada à taxa de sobra de queima) (IBGE, 2010a). Altera conforme as taxas de outras destinações e processamentos.
Taxa sobra queima	5% / 10%			Estimativa de sobre de rejeitos que resistem à queima com base na composição gravimétrica (vidro, metal, alumínio, dentre outros) (BESEN, 2011).
Taxa produção de biogás	0,059			Produção de biogás por kg de lixo biodegradável processado em m ³ (IWASAKI, 2009).
Taxa produção kWh	1,55 / 1,66			Produção de kWh por m ³ de biogás (FERRARI 2005; IWASAKI, 2009).
Taxa produção de gás	0,4 / 0,45			Equivalência de produção de kg de gás metano por m ³ (FERRARI 2005; IWASAKI, 2009).
Preço médio R\$/ Kg	R\$ 0,23			Estimativa de ganho por quilograma de material reciclado, com base no valor dos principais materiais comercializados (BESEN, 2011; CEMPRE, 2014; CEMPRE, 2018b).
Inflação	2020: 4,3%; 2021-2022:3,4%; 2023-2035:3,3%			Estimativa de inflação para correção do valor do preço médio da comercialização do resíduo (BACEN, 2020).
Produção de CO ₂	CO ₂ Emissão			Fórmula de cálculo de emissão de CO ₂ por tonelada de lixo incinerado/queimado kg/ton. (IPCC, 2005; SELURB, 2019).

Fonte: Autor (2020).

As variáveis que compõem o modelo, seus atributos, suas funções, as interações e relacionamentos estão expostas no Quadro 5.

Quadro 5 - Equações e variáveis do modelo.

```

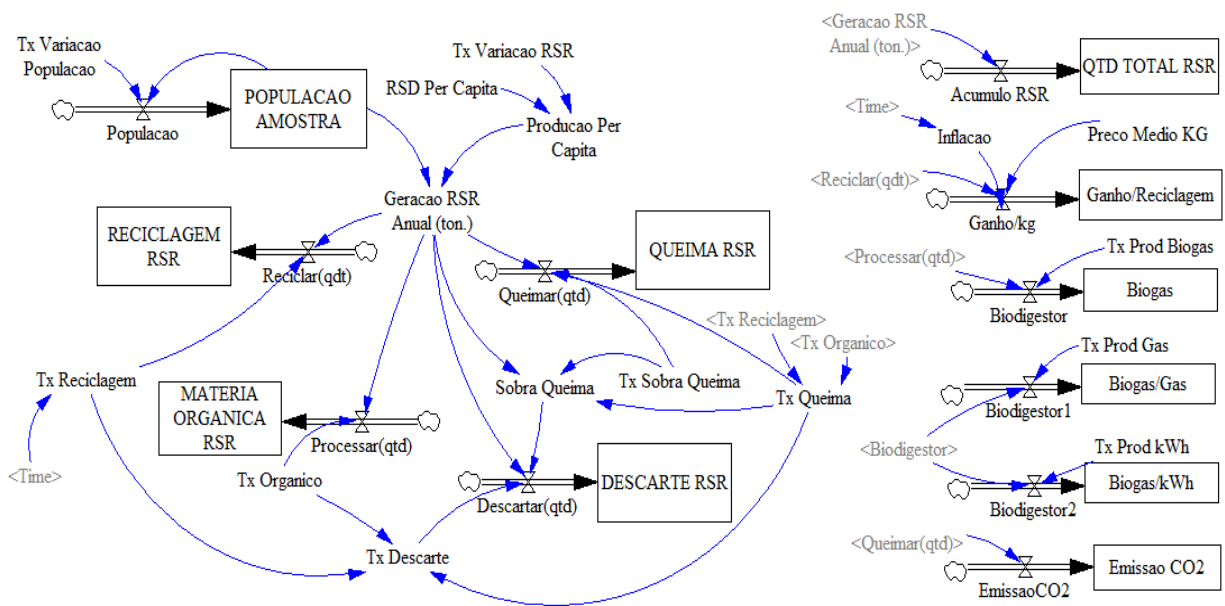
(01) Acumulo RSR=Geracao RSR Anual (ton.)
(02) Biodigestor=(Processar(qtd)*1000)*Tx Prod Biogas
(03) Biodigestor1=Biodigestor*Tx Prod Gas
(04) Biodigestor2=Biodigestor*Tx Prod kWh
(05) Biogas= INTEG (Biodigestor,Biodigestor)
(06) Biogas/Gas= INTEG (Biodigestor1,Biodigestor1)
(07) Biogas/kWh= INTEG (Biodigestor2,Biodigestor2)
(08) Descartar(qtd)=(Geracao RSR Anual (ton.)*Tx Descarte)+(Sobra Queima)
(09) DESCARTE RSR= INTEG (Descartar(qtd),Descartar(qtd))
(10) Emissao CO2= INTEG (EmissaoCO2,EmissaoCO2)
(11) EmissaoCO2=(Queimar(qtd)*0.3*0.6*0.108*0.58)*(44/12)
(12) FINAL TIME = 2035
(13) Ganho/kg=(Reciclar(qtd)*1000)*((Preco Medio KG*Inflacao)+Preco Medio KG)
(14) Ganho/Reciclagem= INTEG (Ganho/kg,Ganho/kg)
(15) Geracao RSR Anual (ton.)=((POPULACAO AMOSTRA*Producao Per Capita)*365)/1000
(16) Inflacao = WITH LOOKUP (Time, ((0,0)-
(2035,1)], (2020,0.043), (2021,0.034), (2022,0.034), (2023,0.033), (2035,0) ))
(17) INITIAL TIME = 2020
(18) MATERIA ORGANICA RSR= INTEG (Processar(qtd),Processar(qtd))
(19) Populacao=POPULACAO AMOSTRA*Tx Variacao Populacao
(20) POPULACAO AMOSTRA= INTEG (Populacao,1.320 / 318.000 / 6.000.000)
(21) Preco Medio KG=0.23
(22) Processar(qtd)=Geracao RSR Anual (ton.)*Tx Organico
(23) Producao Per Capita=(RSD Per Capita*Tx Variacao RSR)+RSD Per Capita
(24) QTD TOTAL RSR= INTEG (Acumulo RSR,Acumulo RSR)
(25) QUEIMA RSR= INTEG (Queimar(qtd),Queimar(qtd))
(26) Queimar(qtd)=(Tx Queima*Geracao RSR Anual (ton.))-((Tx Queima*Geracao RSR
Anual (ton.))*Tx Sobra Queima)
(27) RECICLAGEM RSR= INTEG (Reciclar(qtd),Reciclar(qtd))
(28) Reciclar(qtd)=Tx Reciclagem*Geracao RSR Anual (ton.)
(29) RSD Per Capita=RANDOM UNIFORM (0.45, 0.92 , 0.68)
(30) Sobra Queima=(Geracao RSR Anual (ton.)*Tx Queima)*Tx Sobra Queima
(31) Tx Descarte=1-(Tx Organico+Tx Queima+Tx Reciclagem)
(32) Tx Organico=RANDOM UNIFORM (0.514, 0.5741 , 0.544)
(33) Tx Prod Biogas=0.059
(34) Tx Prod Gas=RANDOM UNIFORM (0.4, 0.45 , 0.425)
(35) Tx Prod kWh=RANDOM UNIFORM (1.5, 1.66 , 1.58)
(36) Tx Queima=IF THEN ELSE(Tx Organico=0, IF THEN ELSE( Tx Reciclagem=0 , 0.596
, ( 0.596-Tx Reciclagem) ) , 0 )
(37) Tx Reciclagem = WITH LOOKUP (Time, ((0,0)-
(2035,1)], (2020,0.13), (2027,0.3), (2035,0.35) ))
(38) Tx Sobra Queima=RANDOM UNIFORM (0.05, 0.1 , 0.75)
(39) Tx Variacao Populacao=RANDOM UNIFORM (-0.0062, -0.013 , -0.0096)
(40) Tx Variacao RSR=0.0039

```

Fonte: Autor (2020).

O relacionamento e as interações das variáveis do modelo de simulação para análise dos cenários podem ser observados na Figura 10, que apresenta o modelo completo.

Figura 10 - Modelo de simulação.



Fonte: Autor (2020).

4.1 SUBMODELOS DESENVOLVIDOS

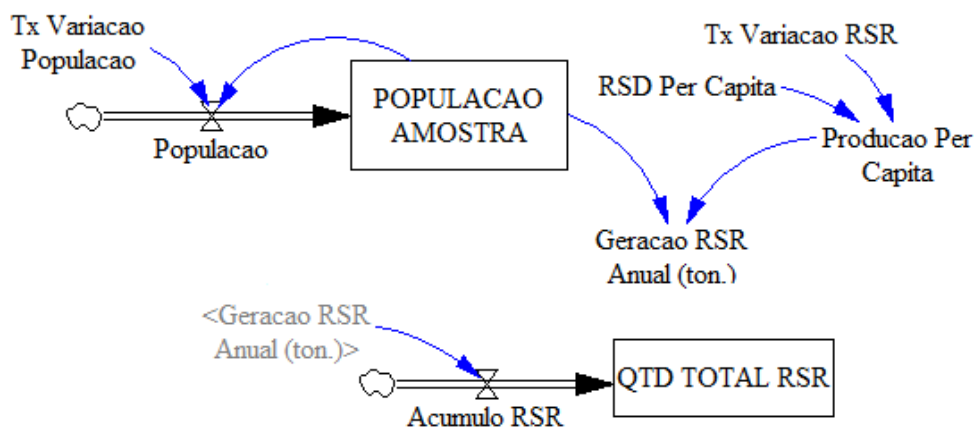
Para uma melhor detalhamento e estruturação do desenvolvimento, o modelo foi dividido em 4 (quatro) submodelos denominados: (a) Geração de RSR Anual; (b) Processamento RSR; (c) Produção de Biogás e; (d) Emissão de CO₂ e; A seguir nas próximas subseções serão apresentados os submodelos e sua modelagem utilizando a Dinâmica de Sistemas.

4.1.1 Submodelo geração de resíduos sólidos rural anual

O submodelo visa replicar o comportamento da produção de resíduos sólidos nos aglomerados rurais. A variável (**POPULACAO AMOSTRA**) calcula e armazena a variação populacional e a estimativa de produção anual de resíduos sólidos rurais com base na geração per capita diária. As variáveis auxiliares (**Tx Variacao Populacao**, **Tx Variacao RSR** e **RSD Per Capita**) são responsáveis por armazenar as taxas de estimativa de variação da população. Na variável (**Producao Per Capita**) são calculados os valores da produção per capita de resíduos. Os valores são calculados de forma randômica dentro da faixa estipulada de variação mínima e máxima definida no estudo, o cálculo da produção anual é realizado na variável

auxiliar (**Geracao RSR Anual (ton.)**) em toneladas por ano, os valores são a base para cálculo dos fatores relacionados com destinação e processamento do RSR. A variável (**QTD TOTAL RSR**) calcula e armazena a quantidade acumulada de resíduos produzidos durante o período analisado. O submodelo está representado na |Figura 11.

Figura 11 - Submodelo geração de RSR anual.



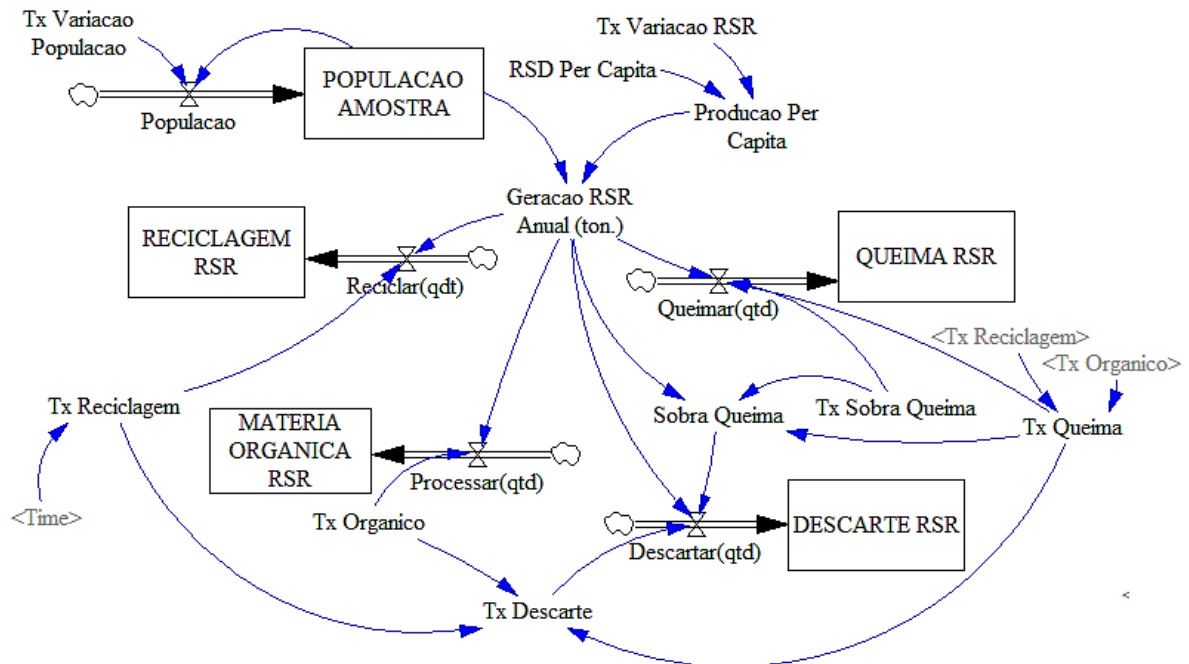
Fonte: Autor (2020).

4.1.2 Submodelo processamento resíduos sólido rural

O submodelo é responsável por estimar os valores referentes à destinação e processamento dos resíduos sólidos rurais produzidos, com base na variável (**Geracao RSR Anual (ton.)**). As variáveis de estoque (**RECICLAGEM RSR, MATERIA ORGANICA RSR, QUEIMA RSR e DESCARTE RSR**) calculam e armazenam a quantidade de materiais processados conforme suas destinações: resíduos passíveis de reciclagem; matéria orgânica presente no resíduos; eliminação dos resíduos por incineração ou queima a céu aberto; e descarte inadequado no solo ou corpos d'água. As variáveis auxiliares (**Tx Reciclagem, Tx Organico Tx Queima, Tx Descarte e Tx Sobre Queima**) são responsáveis por armazenar os valores percentuais referentes a cada destinação dos resíduos, a variável auxiliar (**Sobre Queima**) calcula a quantidade de resíduos da sobra do processo de queima a serem somados aos descartados. As variáveis auxiliares (**Tx Reciclagem e Tx Orgânico**) exercem influência na variável (**Tx Queima**), uma para cálculo da redução de resíduos incinerados ou queimados e a quantidade de emissão de CO₂, mensurando o impacto da gestão adequada sobre a emissão de poluentes e gases de efeito estufa e a outra validar a condição de incineração ou queima, que se torna inexistente quando implementada a reciclagem e o processamento da matéria orgânica.

Materiais, como por exemplo, plásticos e papéis são os principais combustíveis na queima e possuem alto potencial de reciclagem. O submodelo está representado na Figura 12.

Figura 12 - Submodelo processamento RSR.

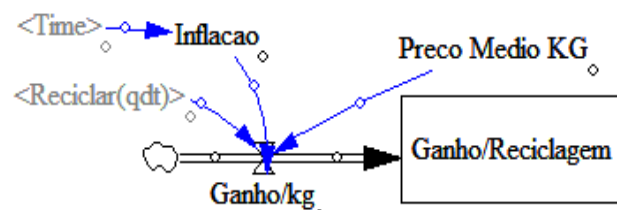


Fonte: Autor (2020).

4.1.3 Submodelo ganho com a reciclagem

O processamento adequado dos resíduos pode ser revertido em renda, por meio da venda dos materiais. A variável (**Ganho/Reciclagem**) armazena o total de ganhos financeiros produzido pelo processo de reciclagem, com base na quantidade de RSR processados, armazenados na variável (**Reciclar(qtd)**). A variável auxiliar (**Preco Medio KG**) armazena o valor estimado de ganho por quilograma de material processado. O valor estimado é corrigido pela estimativa de inflação para o período analisado, calculado através da variável auxiliar (**Inflacao**) que segue os índices fixados pelo Banco Central do Brasil (BACEN, 2020). A Figura 13 apresenta o submodelo.

Figura 13 - Submodelo ganho reciclagem.



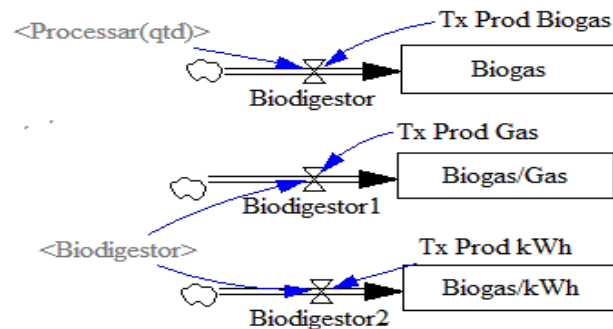
Fonte: Autor (2020).

4.1.4 Submodelo produção de biogás

O submodelo é responsável por calcular, com base nos valores armazenados na variável (**Processar(qdt)**), o potencial de geração de biogás pelo processamento e decomposição dos materiais orgânicos presentes no RSR. A variável (**Biogas**) calcula com base na quantidade de resíduos processados e armazenados na variável (**Processar(qdt)**) e na taxa de conversão em biogás, variável auxiliar (**Tx de Prod Biogas**) a quantidade de biogás produzido por quilograma de material constante no biodigestor, variável (**Biodigestor**).

A variável (**Biogas/Gas**) armazena o quanto de gás de cozinha (metano) é produzido pela conversão do biogás, a variável auxiliar (**Tx Prod Gas**) armazena o valor da taxa de conversão do metro cúbico (m³) biogás produzido para gás metano (gás de cozinha). A variável (**Biogas/kWh**) armazena os valores referentes ao potencial de geração de energia elétrica por meio da conversão do biogás, a variável auxiliar (**Tx Prod kWh**) armazena o valor da conversão do m³ do biogás para geração de energia. O cálculo das duas variáveis (**Biogas/Gas e Biogas/kW**) tem como base a quantidade de biogás produzido, calculado e armazenado na variável (**Biodigestor**). A produção de biogás é estimada por quilograma de material processado em um biodigestor e as taxas de conversão em gás metano e kWh são calculadas com base na quantidade de metros cúbicos (m³) produzidos. O submodelo está representado na Figura 14.

Figura 14 - Submodelo produção de biogás.



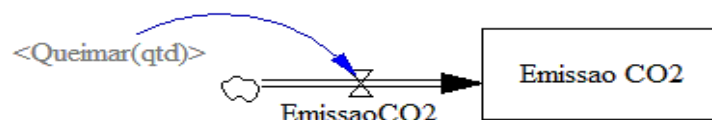
Fonte: Autor (2020).

4.1.5 Submodelo emissão de CO₂

Um dos maiores problemas associados com o descarte irregular dos resíduos sólidos domiciliares, principalmente quando a tentativa de eliminação é a incineração ou queima a céu aberto, são a emissão de gases poluentes que contribuem para o efeito estufa, principal agente das mudanças climáticas. O dióxido de carbono (CO₂) é um dos principais gases produzidos nesse processo, sendo que, a queima dos RSR é a prática mais utilizada na tentativa de eliminação dos resíduos.

O submodelo é responsável por calcular, com base nos valores armazenados na variável (**Queimar(qtd)**), a quantidade de CO₂ liberado pela incineração e queima dos resíduos valor armazenado na variável (**Emissao CO2**). O cálculo é realizado por meio da fórmula apresentada no Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas em 2005, detalhada na Figura 3, e tem como base a tonelada dos resíduos. O submodelo está representado na Figura 15.

Figura 15 - Submodelo emissão de CO₂.



Fonte: Autor (2020).

4.2 CENÁRIOS

O modelo computacional desenvolvido possibilita a simulação de cenários para avaliação da destinação e manejo dos resíduos sólidos domiciliares nos aglomerados rurais. Os modelos possuem grande versatilidade, podem ser utilizados várias vezes para avaliação de cenários, garantem um maior nível de detalhamento e alta similaridade com um cenário real, facilitando a realização de testes de hipóteses e condições conforme a necessidade de análise (FILHO, 2008).

Para a modelagem desenvolvida neste estudo geraram-se três cenários para análise de produção, descarte e gestão dos RSR. A configuração de simulação dos cenários, exposta nas Tabelas 7, Tabela 8 e Tabela 9, seguem as condições de descarte e gestão dos RSR, de acordo com as condições atuais e possibilidades de manejo. Os critérios adotados visam contemplar as condições de análise, sendo estas: Queima RSR - refere-se a utilização da prática da incineração e queima a céu aberto dos resíduos domiciliares; Descarte RSR - condição verdadeira presente em todos os cenários, trata-se de resíduo não incinerados e não processados e/ou sem processamento, sempre haverá uma quantidade de rejeitos o fator determinante e a forma de eliminação se o descarte é irregular ou não; Reciclagem RSR - remete aos percentuais de potencial de reciclagem dos resíduos; Matéria Orgânica RSR - refere-se a quantidade de matéria orgânica presente nos resíduos com potencial para produção de biogás; Emissão de CO₂ - condição resultante da tentativa de eliminação por incineração ou queima de resíduos; Produção de Biogás - condição resultando do processamento da matéria orgânica presente nos resíduos; Descarte Irregular - condição referente a destinação final dos resíduos ou rejeitos, podendo ser irregular, descarte indiscriminado no solo ou corpos d'água, ou recolhido para depósito em local adequado.

O cenário, Tabela 7, representa a condição atual do descarte de resíduos da população objeto de estudo, conforme Tabela 5, projetando a situação do percentual estimado de aglomerados rurais em nível nacional e estadual. Neste cenário apresenta a produção total de resíduos gerados dentro do período analisado de 15 anos (2020 -2035), a quantidade de resíduos descartados de forma irregular e a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) emitida para a atmosfera.

Tabela 7 - Cenário 1.

Cenário 1		Destinação / Processamento do RSR						
Estudo	População	Queima RSR	Descarte RSR	Reciclagem RSR	Matéria Orgânica RSR	Emissão de CO₂	Produção de Biogás	Descarte Irregular
Brasil	6.000000	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Sim
RS	318.000	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Sim
Local	1.320	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Sim

Fonte: Autor (2020).

A Tabela 8, traz as condições iniciais de processamento dos resíduos gerados, referindo-se à separação dos materiais suscetíveis à reciclagem. O processo de triagem de materiais para reciclagem não é complexo, a sensibilização, conscientização e estímulo à prática podem gerar grande impacto na redução dos resíduos descartados, com potencial de geração de receita pela comercialização dos materiais selecionados. O potencial de ganho também será estimado na análise, conforme a evolução dos percentuais de reciclagem, os índices começam em 13% nos primeiros, chegando a uma estimativa de 35% de separação de materiais no final do período, o crescimento é gradativo. O processo de reciclagem tem impacto direto no descarte de resíduos e na tentativa de eliminação por meio da incineração ou queima a céu aberto.

Tabela 8 - Cenário 2.

Cenário 2		Destinação / Processamento do RSR						
Estudo	População	Queima RSR	Descarte RSR	Reciclagem RSR	Matéria Orgânica RSR	Emissão de CO₂	Produção de Biogás	Descarte Irregular
Local	1.320	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim

Fonte: Autor (2020).

O Cenário 3, exposto na Tabela 10, apresenta a implementação e utilização de biodigestores para processamento da matéria orgânica na gestão dos resíduos sólidos domésticos nos aglomerados rurais. Neste cenário a coleta seletiva de materiais recicláveis é efetiva (35% de materiais reciclados), existe o processamento da matéria orgânica em biodigestores para produção e conversão do biogás em energia e/ou gás metano (equivalente a gás de cozinha) e a sombra dos resíduos (rejeito) são armazenados e coletados para destinação adequada. A utilização dos dois processos, reciclagem e processamento da matéria orgânica, impactam no processo de descarte e tentativa de eliminação de resíduos.

Tabela 9 – Cenário 3.

Cenário 3		Destinação / Processamento do RSR						
Estudo	População	Queima RSR	Descarte RSR	Reciclagem RSR	Matéria Orgânica RSR	Emissão de CO ₂	Produção de Biogás	Descarte Irregular
Local	1.320	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não

Fonte: Autor (2020).

4.2 VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

A validação do modelo computacional desenvolvido é fundamental, pois o modelo visa representar o mundo real ou parte dele. A concepção da criação de uma modelo computacional baseia-se na busca de exploração e experimentação da realidade (PIDD, 1998). O propósito da construção de um modelo computacional de um sistema real é conduzir experimentos visando entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação. (PEGDEN, 1991). Hollocks (1992) apresenta que os modelos computacionais são a antevisão do que acontecerá na realidade.

Segundo Simonetto e Lobler (2014) os modelos podem ser aplicados em situações que se deseja compreender algo que não se pode observar ou experimentar diretamente, facilitando deste modo a compreensão e o aprendizado. Somerville (2015) afirma que a validação deve garantir que todos os requisitos para o desenvolvimento do modelo estão devidamente contemplados no mesmo e que ele é isento de erros na sua concepção. A verificação e validação (V&V), tem a intenção de mostrar que a solução modelada se adequa a suas especificações do sistema, os testes simulados são a principal técnica de validação (SOMMERVILLE. 2011).

O processo de validação do modelo foi realizado em diferentes etapas durante sua concepção, constituídas em: análises de artigos científicos e literatura específica da área; manuais técnicos referentes à gestão de resíduos sólidos; tecnologias da informação e comunicação - TIC's; bases de dados governamentais; e entrevistas com *stakeholders* envolvidos com a problemática. A base de dados e informações sobre os resíduos seguem valores percentuais e os processos de gestão e processamento dos materiais apontados em estudos e por entidades oficiais, a matéria é bastante estudada em parâmetros urbanos o que possibilita a verificação dos resultados pela aproximação de estudos semelhantes. O modelo de simulação segue os parâmetros de construção do modelo apresentados por Simonetto e Lobler (2014), que trata sobre geração e disposição de resíduos sólidos urbanos, a similaridade dos

assuntos possibilita a aproximação e comparação dos dados para avaliação e validação do modelo.

Conforme Simonetto e Lobler (2014) o processo de validação do modelo conceitual segue três fases: a primeira de levantamento bibliográfico sobre o tema e especialistas na área para validação nominal e definição das variáveis fundamentais para execução da modelagem; na segunda fase aborda a implementação do modelo no simulador Vensim (VENTANA SYSTEMS, 2016), com base nas informações e parâmetros coletadas e definidos na primeira fase, detalhados na Tabela 6, as interações entre os componentes do modelo foram verificadas com base nos resultados gerados, a partir de informação reais, sendo estes, satisfatórios e coerentes com as expectativas e ainda compatíveis com outros estudos similares e com a realidade, demonstrando a correteza do modelo; na última fase de validação foram implementados os dados e taxas no modelo para construção do experimento. Destaca-se a análise e avaliação dos técnicos municipais pela experiência de trabalho na gestão dos resíduos RSU e o conhecimento dos problemas enfrentados nas comunidades rurais para descarte do RSD, garantindo desta forma coerência na validação dos resultados do modelo.

Foram definidos três cenários a serem simulados no modelo: (a) cenário atual de produção de resíduos, sem processamento dos resíduos gerados e descarte irregular (incineração/queima; solo/corpos d'água); (b) cenário futuro com implementação parcial de processamento de resíduos (reciclagem), porém ocorre o descarte irregular da sobra e tentativa de eliminação por incineração ou queima; e (c) cenário futuro com implementação total de processamento de resíduos (reciclagem e processamento da matéria orgânica), com coleta e descarte adequado da sobra. Conforme os tipos de validação de sistemas apresentados na Tabela 10, a validação do modelo caracteriza-se com análise de sensibilidade pois a análise dos cenários se dá por meio de alterações controladas nos valores de entradas (*inputs*) para verificação de resultados.

Tabela 10 - Tipos de validação de sistemas.

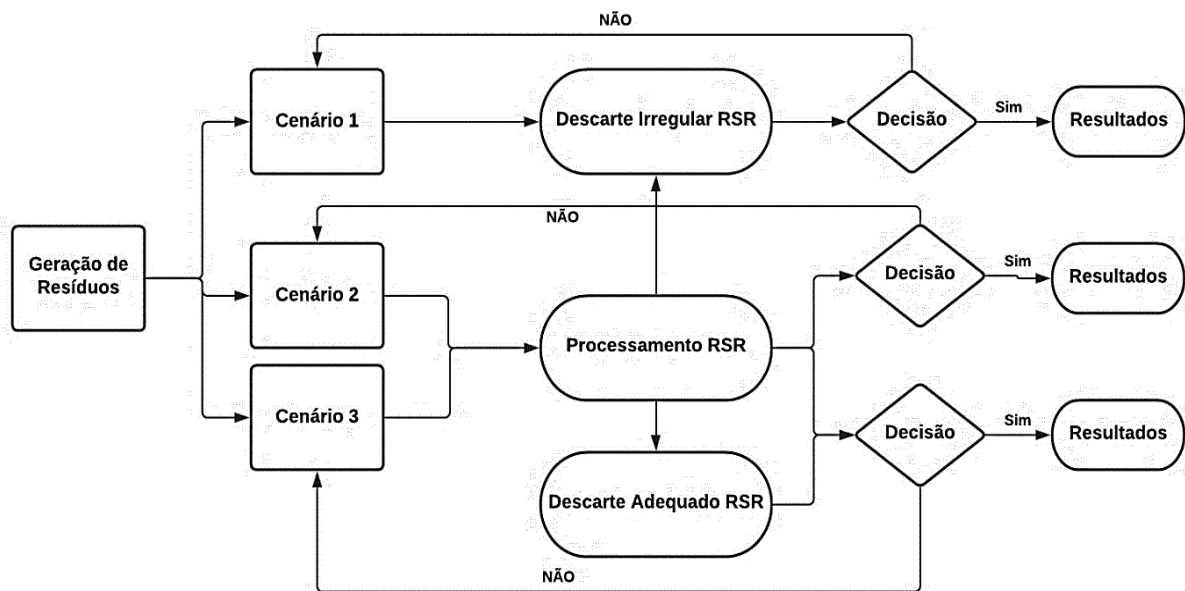
Tipo	Detalhes
Validação nominal	Baseado em especialistas para verificar se o problema está bem formulado e contém as variáveis chaves para a representação do mesmo.
Validação de previsibilidade	Baseado em testes em laboratório do sistema, onde os resultados já são conhecidos e esperados.
Rastreamento	Impressão das variáveis de um programa logo após o evento ter ocorrido, para verificar se o programa está funcionando de acordo.
Testes de Turing	Adequados para sistemas de conhecimento. Testa a compatibilidade do resultado do sistema com aquele utilizado por especialistas.
Validação de subsistemas	Consiste na decomposição do sistema em módulos e sua validação em partes.
Testes de campo	Consiste em fazer o sistema funcionar e verificar os erros de desempenho que ocorrem.
Análise de sensibilidade	Consiste em fazer alterações controladas nos inputs do sistema e verificar as alterações nas saídas.
Interação visual	Consiste em usar as capacidades visuais para observar o sistema em funcionamento.
Avaliação do usuário	Consistem em consultar o usuário final do sistema e após o uso questionar sobre algumas características do sistema.

Fonte: Adaptado de Borenstein e Becker (2000).

5. ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Após a definição dos cenários para a experimentação do modelo foram executadas as simulações no simulador Vensim (VENSIM, 2016) em um computador com processador Intel Core i3 e 12 Gb de memória RAM. O tempo de execução da simulação foi na ordem de milionésimos de segundos. O horizonte de tempo simulado no experimento foi de 15 (quinze) anos, representando o período de anos de 2020 a 2035, podendo o modelo ser adequado para maior ou menor período. A análise dos cenários seguirá os passos apresentados no fluxograma da Figura 16.

Figura 16 - Fluxograma de análise dos cenários.



Fonte: Autor (2020).

Os resultados gerados pelo modelo demonstram as vantagens envolvidas no processo de implantação da gestão e processamentos dos resíduos sólidos domiciliares produzidos nos aglomerados rurais. As decisões, quanto à implantação do processo de reciclagem e utilização de biodigestores, poderão ser sugeridas devido às vantagens produzidas pela redução e eliminação do descarte inadequado dos resíduos e da emissão de CO₂. Poderão ser realizadas outras análises e observações a critério dos gestores municipais e técnicos municipais, desde que, as mesmas possam ser adaptadas e executadas no modelo de simulação, pois o modelo foi

concebido buscando simplificar a interação usuário-modelo, para que análises do tipo *what-if* sejam de simples execução.

5.1 PRODUÇÃO DE RSD NOS AGLOMERADOS RURAIS

A produção e descarte inadequado de RSD é um grave problema ambiental e socioeconômico. Nos centros urbanos esse impacto é minimizado, devido às imposições legais da PNSB e PNRS, que forçam dos municípios a implantarem políticas de coleta e destinação dos resíduos produzidos, chegando a índices de coleta dos RSU superiores a 90% (ABRELPE, 2019), situação que não se reflete nas comunidades rurais estimada em apenas 31,6% (IBGE, 2012; ABRELPE, 2017).

Pasquili (2012) argumenta que a prioridade para os municípios são os centros urbanos, expondo as comunidades rurais a graves riscos de contaminação ambiental pelo descarte inadequado dos resíduos no meio ambiente, tornando-se um problema socioambiental. Neste cenário as comunidades rurais acabam tendo que lidar com essa situação e acabam, devido à falta de orientação, utilizando técnicas de descarte inadequadas e altamente prejudiciais à saúde e ao meio ambiente. De acordo com o IBGE (2010a) aproximadamente 59,6% dos resíduos são queimados e enterrados pelas comunidades rurais o restante é jogado a céu aberto ou em corpos d'água.

As transformações socioeconômicas e culturais ocorridas no setor rural alteraram os hábitos de consumo das populações, que aumentaram o consumo de produtos comerciais transformados e industrializados (PASQUALI, 2012). A similaridade dos resíduos produzidos ainda é maior se considerarmos os aglomerados rurais, por serem considerados de extensão urbana e pela disponibilidade de acesso a produtos comercializados em comércios formais, como bares e armazéns (IBGE, 2010a). Estas condições e a falta de políticas públicas de coleta e destinação dos resíduos domiciliares rurais tornam-se um grave problema social.

No Cenário 1 o modelo visa dimensionar a produção, as condições de descarte e o resultado das práticas utilizadas para eliminação dos resíduos produzidos, trata-se da análise e projeção das condições atuais existentes nas comunidades rurais. Os resultados são um alerta, devido aos danos socioambientais envolvidos no processo, tanto pela estimativa futura, quanto pelas emissões de anos anteriores. A configuração para a simulação do Cenário 1 apresenta-se na Tabela 11.

Tabela 11 - Configurações da simulação do cenário 1.

Cenário 1		Destinação e processamento do RSR				
População		a) Incineração / Queima RSR	b) Reciclagem RSR	c) Matéria Orgânica RSR	d) Sobre Queima RSR	e) Descarte RSR
Brasil	6.000.000	59,6%	0%	0%	5% / 10%	= (Total de RSR) - (Incineração/queima de RSR) + (Sobra Queima RSR)
RS	318.000					
Local	1.320					

Fonte: Autor (2020).

A Tabela 12 apresenta a estimativa do total acumulado de resíduos produzidos e descartados para o cenário analisado, fica evidente o grande volume de RSD produzidos nos aglomerados rurais. Os dados são alarmantes se considerarmos as possíveis condições de destinação e tentativa de descarte que esses materiais podem ter sofrido, fato que acentua a necessidade de implantação de políticas públicas para tratamento do problema, devido aos danos socioambientais envolvidos no processo.

Tabela 12 – Resultados da simulação do cenário 1.

Cenário 1		Estimativa para 15 anos (2020 - 2035)			
População		Total de Resíduos Produzido (ton.)	Total Descarte Irregular (ton.)	Total de Resíduos Queimados (ton.)	Total de Emissão de CO ₂ (ton.)
Brasil	6.000.000	20.753.700	9.274.940	11.478.800	474.560
RS	318.000	1.099.950	491.573	608.375	25.151,70
Local	1.320	4.565,82	2.040,49	2.525,33	104,40

Fonte: Autor (2020).

A média anual de produção de RSD está apresentada na Tabela 13, que traz os valores referentes às três populações de aglomerados rurais analisadas: local; estimativa população nível Estadual; e estimativa de população nível Federal. Os valores são significativos até para a situação local com uma produção estimada superior a 280 toneladas/ano de resíduos descartados de forma irregular.

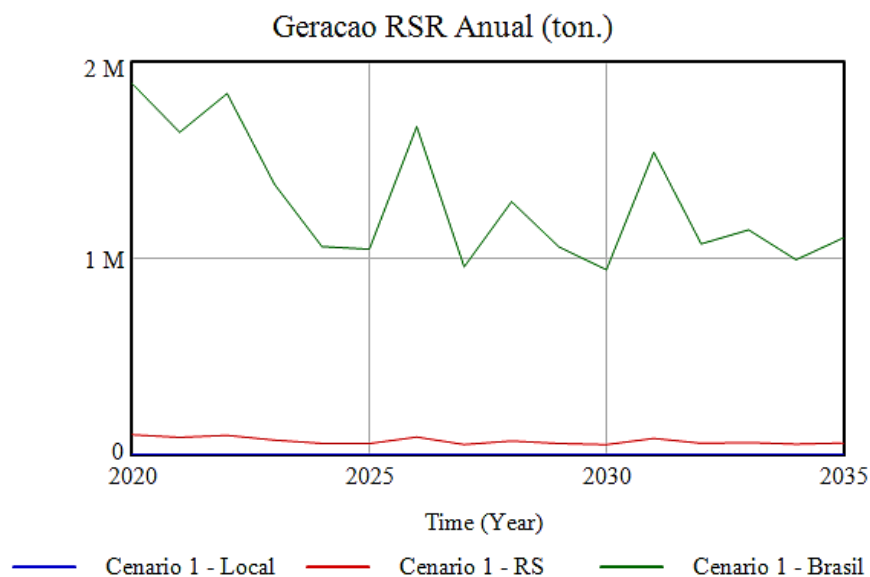
Tabela 13 - Produção média anual de RSD.

Cenário 1	Estimativa média de produção anual RSR - (ton.)		
Média Geração RSR Anual (ton.)	Cenário 1 – Local 1.320 hab.	Cenário 1 – RS 318.000 hab.	Cenário 1 – Brasil 6.000.000 hab.
2020 - 2035	281,05	68.384,46	1.290.092,00

Fonte: Autor (2020).

A Figura 17 apresenta o gráfico da produção anual dos RSD, evidencia uma ligeira queda na produção de resíduo no decorrer no período analisado, fato decorrente da diminuição da população rural, estimada com base nos índices definidos pelo IBGE para cada região do estudo. As oscilações de produção presentes no gráfico, decorrem da variação da quantidade de produção per capita de RSD, definida randomicamente pelo modelo, geradas a partir das estimativas de produção diária de RSD.

Figura 17 - Produção anual de RSD no meio rural.



Fonte: Autor (2020).

A produção média diária per capita estimada no modelo é de 0,628 kg, considerando este valor temos uma produção anual de 226 kg por pessoa, que se projetada para os 15 anos analisados atinge à quantidade de 3,39 toneladas de RSD produzidas por um indivíduo, o que demonstra o impacto de geração de RSD.

5.1.1 Emissão de CO₂

O dióxido de carbono, conhecido também como gás carbônico ou CO₂, é um composto químico gasoso. Em condições normais é essencial para a vida no planeta, por auxiliar na manutenção da temperatura e por ser um dos principais compostos no processo da fotossíntese. O CO₂ também é produzido pela atividade humana, a excessiva utilização combustíveis fósseis,

a degradação do meio ambiente e outras atividades que geram grande emissão do gás, como os lixões, alteram sua quantidade na atmosfera, causando desequilíbrios climáticos pela elevação da temperatura do planeta, cerca de 84% dos gases de efeito estufa são provenientes das atividades humanas (DIAS, 2009).

O grande número de lixões e a queima irregular de resíduos são responsáveis pela emissão de aproximadamente 6 milhões de toneladas de gás de efeito estufa, sendo o CO₂ a principal emissão, o que equivalente ao gerado por 3 milhões de carros movidos a gasolina em circulação (SELURB, 2019). O controle de nossas emissões de CO₂ é essencial para reduzir os efeitos das mudanças climáticas (ENERGY & CLIMATE CHANGE, 2012; IPCC, 2012). A falta de controle da emissão de CO₂ coloca em risco a manutenção do ecossistema do planeta, gerando reflexos irreparáveis na vida do homem (EMILIANO *et al*, 2014).

A incineração/queima a céu aberto dos RSD é um dos principais processos utilizados para tentativa de eliminação dos resíduos nas comunidades rurais, de acordo com o IBGE (2010a) a prática corresponde a 59,6%, ocasionando a emissão de gases poluentes e de efeito estufa como o CO₂. A Tabela 14 apresenta a estimativa da quantidade média anual de resíduos incinerados ou queimados nas comunidades, possibilitando o cálculo de emissão de CO₂ no processo.

Tabela 14 – Estimativa da quantidade média anual de RSD queimados.

Cenário 1			
Variável: Queimar(qtd)	Estimativa média de RSR queimados - (ton.)		
Período	Cenário 1 - Local	Cenário 1 - RS	Cenário 1 - Brasil
2020 - 2035	156,8	37.816,27	713.502

Fonte: Autor (2020).

A Tabela 15 apresenta a emissão média de CO₂ provocada pela incineração/queima de RSD, os valores ratificam a necessidade de gestão e processamento dos resíduos produzidos. Se analisarmos o acumulado no período projetado de 15 anos, Tabela 12, os valores tornam-se expressivos.

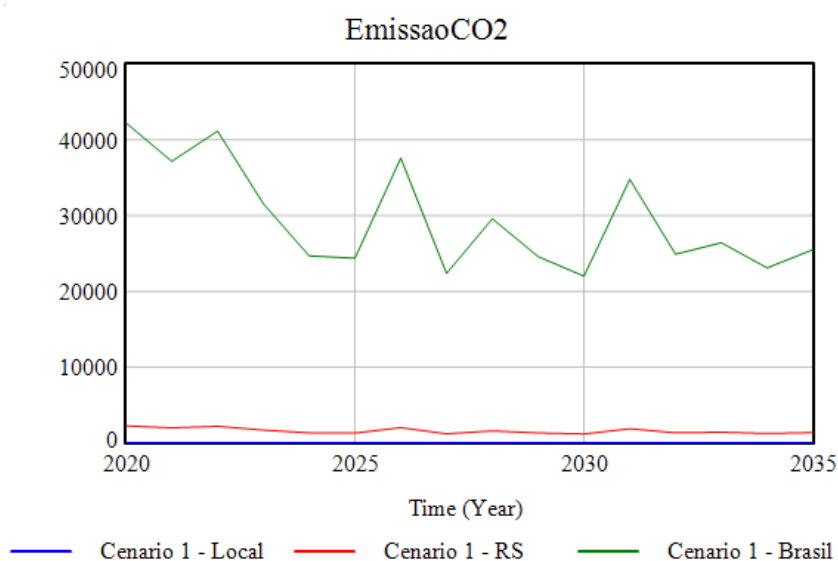
Tabela 15 - Estimativa da quantidade média anual de CO₂ emitido pela queima de RSD.

Cenário 1			
Variável: EmissaoCO2	Estimativa média anual de emissão de CO2 - (ton.)		
Período	Cenário 1 - Local	Cenário 1 - RS	Cenário 1 - Brasil
2020 - 2035	6,49	1.563,39	29.497,92

Fonte: Autor (2020).

Considerando-se que um automóvel movido a gasolina emite 1,86 tonelada de CO₂ por ano (SELURB, 2019), podemos estimar que anualmente no Brasil, a tentativa de eliminação por meio da incineração ou queima a céu aberto dos resíduos equivale a 15.859 veículos. A Figura 18 apresenta a emissão estimada de CO₂ durante o período analisado.

Figura 18 - Emissão anual de CO₂.



Fonte: Autor (2020).

5.1.2 Descarte irregular RSR

O descarte irregular de resíduos sólidos domiciliares (lixo doméstico) é um grave crime contra a sociedade e o meio ambiente. Para coibir a prática existem legislações específicas que tratam do assunto e disciplinam sanções penais que vão de multas a reclusão em casos graves. Os problemas causados pelo descarte irregular de resíduos são graves, tamanho é o problema causado que a legislação traz um esforço em tipificá-los, visando cobrir o maior espectro de crimes. O Decreto nº 6514/08 elenca itens diretamente ligados ao descarte irregular de resíduos sólidos:

Art. 62. Incorre nas mesmas multas do art. 61 quem:

I - Tornar uma área, urbana ou rural, imprópria para ocupação humana;

- II - Causar poluição atmosférica que provoque a retirada, ainda que momentânea, dos habitantes das áreas afetadas ou que provoque, de forma recorrente, significativo desconforto respiratório ou olfativo devidamente atestado pelo agente autuante;
- III - Causar poluição hídrica que torne necessária a interrupção do abastecimento público de água de uma comunidade; ...
- V - Lançar resíduos sólidos, líquidos ou gasosos ou detritos, óleos ou substâncias oleosas em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou atos normativos; ...
- IX - Lançar resíduos sólidos ou rejeitos em praias, no mar ou quaisquer recursos hídricos;
- X - Lançar resíduos sólidos ou rejeitos in natura a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração;
- XI - queimar resíduos sólidos ou rejeitos a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para a atividade (BRASIL, 2008; 2010);

Os crimes citados no artigo são punidos com multas que podem variar de R\$5.000,00 e R\$50.000.000,00 conforme a gravidade (BRASIL, 2008, art. 61). Mesmo com as punições a prática de descarte irregular é comum nas comunidades rurais, a responsabilidade não é apenas dos cidadãos o não atendimento da PNSB e PNRS por parte do Ente Público agrava a situação, as comunidades ficam sem solução para o acúmulo dos resíduos, que mesmo em concentrações menores podem causar sérios impactos negativos ao meio ambiente (ROCHA et. al., 2013).

O risco pela disposição inadequada do RSD resulta em impactos socioambientais, gerando degradação do solo, dos recursos hídricos, poluição atmosférica e vetores de proliferação de doenças (BRASIL, 2011). Segundo Pasquali (2012) a prioridade dos municípios é o RSU e a falta de atendimento às comunidades rurais provoca problemas ambientais, a degradação do meio ambiente e a proliferação de doenças, tornando-se um problema de sustentabilidade ambiental. A Tabela 16 apresenta a estimativa média anual de resíduos sólidos domiciliares produzidos nos aglomerados rurais e descartados de forma irregular, as projeções são alarmantes pelo potencial danoso socioambiental que podem causar pela dispersão no solo e afluentes.

Tabela 16 - Estimativa média de RSR descartados de forma irregular.

Cenário 1			
Variável: Descartar(qtd)	Estimativa média de RSR descartado de forma irregular - (ton.)		
Período	Cenário 1 - Local	Cenário 1 - RS	Cenário 1 - Brasil
2020 - 2035	126,89	30.567,58	576.770,40

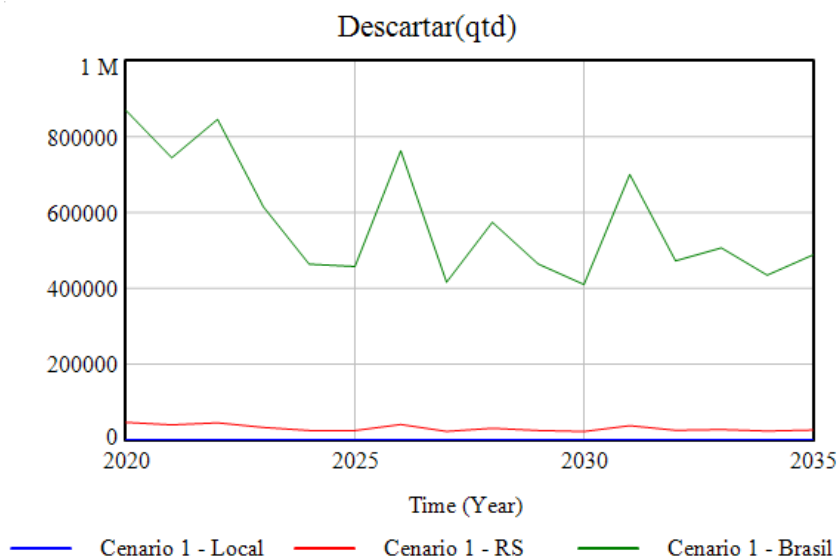
Fonte: Autor (2020).

Considerando que 1% dos RSD são descartados na água (IBGE, 2010a), estima-se uma média anual de resíduos lançados de respectivamente: 1,27 ton. para o cenário local; 305,68 ton. para o cenário do Rio Grande do Sul; e 5.767,70 ton. para o cenário do Brasil. Todo esse resíduo além de provocar a população e degradação ambiental, pode interferir no ecossistema

aquático devido a alteração na quantidade de nutrientes como o nitrogênio e fósforo, que aumentam pela presença de matéria orgânica e rejeitos que possuem fósforo (materiais de higiene e limpeza), resultando no processo de eutrofização, que induz ao crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas, causando grande desequilíbrio.

A Figura 19 apresenta a variação do descarte irregular anual de resíduos, existe leve queda pela perspectiva de redução da população rural.

Figura 19 - Descarte irregular anual de RSR.



Fonte: Autor (2020).

5.2 RECICLAGEM

A reciclagem é uma etapa fundamental no processo de redução da quantidade de RSD encaminhados para descarte. Geralmente as políticas de coleta seletiva envolvem parcerias entre o Ente Público e entidades privadas, tratando-se dos resíduos produzidos no meio rural a reciclagem pode proporcionar uma redução significativa dos resíduos descartados de forma irregular. O estímulo à prática de separação dos materiais passíveis de reciclagem na fonte (meio familiar) pode estimular a formação de entidades civis ou privadas, auxiliando a combater o descarte irregular, produzindo ganhos sociais, econômicos e ambientais. Para quantificar os impactos da reciclagem na produção dos resíduos sólidos domiciliares nos aglomerados rurais, a Tabela 17 apresenta as configurações adotadas no modelo para avaliação.

Tabela 17 – Configurações da simulação do cenário 2.

Cenário 2		Destinação e processamento do RSR				
População		a) Incineração / Queima RSR	b) Reciclagem RSR	c) Matéria Orgânica RSR	d) Sobra Queima RSR	e) Descarte RSR
Local	1.320	59,6% - (b)	13% - 35%	0%	5% / 10%	= (Total RSR) - (Incineração/queima) - (Reciclagem RSR) + (Sobra Queima RSR)

Fonte: Autor (2020).

De acordo com a PNRS a reciclagem é o processo que consiste na transformação, por meio de mudanças no estado físico, químico ou biológico, dos resíduos sólidos não reaproveitados após a utilização, resultando em nova matéria prima ou produto (BRASIL, 2010a). Para Neto (2011) a PNRS apresenta os mecanismos necessários para fomentar o processo de reciclagem, por meio da coleta seletiva e logística reversa dos resíduos, com ênfase na priorização da participação da iniciativa privada. A coleta seletiva de resíduos sólidos é definida pela PNRS como um dos seus principais instrumentos, devido aos benefícios gerados pela redução do rejeito descartado (BRASIL, 2010a).

Os pequenos municípios possuem grande dificuldade para implantação da coleta seletiva e incentivo a reciclagem, a falta de recursos e de estrutura técnica são limitadores no processo (IPEA, 2012). A PNRS trata a implantação da coleta seletiva como obrigatória para os municípios, deve estar presente nas metas do plano de gestão dos resíduos sólidos municipais (BRASIL, 2011). Para Rocha (2013) a reciclagem é uma das etapas fundamentais no processo de gestão dos resíduos dos resíduos sólidos domiciliares. Outros autores como Besen (2011) especificam as atividades de reparação e reciclagem no sistema de coleta seletiva:

O sistema de coleta seletiva envolve um conjunto de atividades: 1) a coleta domiciliar porta a porta ou em pontos específicos de vários tipos de materiais recicláveis, gerados após o consumo, e previamente separados nas fontes geradoras, 2) a triagem e beneficiamento dos materiais recicláveis, e 3) a comercialização desses insumos para a indústria de reciclagem (BESEN, 2011, p22).

A reciclagem é uma das etapas fundamentais no processo de gestão dos resíduos sólidos domiciliares. Os municípios antes de definirem os processos de eliminação e destinação final dos resíduos precisam implementar políticas voltadas para redução, reciclagem e compostagem dos materiais (IPEA, 2012). Reduzir a quantidade dos resíduos sólidos (rejeitos) encaminhados para a destinação final (lixões, aterros controlados e aterros sanitários) é uma grande vantagem socioeconômica e ambiental, devido aos custos elevados envolvidos no processo e o passivo

ambiental gerado, a reciclagem é uma grande aliada no processo devido aos índices elevados de redução da quantidade do rejeito produzido. A Tabela 18 apresenta a quantidade estimada de materiais passíveis de reciclagem no RSD produzido nos aglomerados rurais e seu reflexo nos demais processos de eliminação utilizados.

Tabela 18 – Resultados da simulação do cenário 2.

Cenário 2		Estimativa para 15 anos (2020 - 2035)				
População		Total de Resíduos Reciclados (ton.)	Total Descarte Irregular (ton.)	Total Matéria Orgânica (ton.)	Total de Resíduos Queimados (ton.)	Total de Emissão de CO ₂ (ton.)
Local	1.320	1.128,55	1.961,82	0	1.475,44	60,99

Fonte: Autor (2020).

A aplicação da gestão por meio da incorporação da reciclagem possibilitou nesse cenário uma redução percentual superior a 40% nos índices de resíduos queimados e na emissão de dióxido de carbono.

Na Tabela 19 temos o impacto do processo de reciclagem nas demais formas de descartes utilizadas nas comunidades rurais. À medida que os percentuais de reciclagem aumentam no decorrer dos anos, o impacto na redução das demais formas de descarte é evidente, o que valida os benefícios da utilização da prática. O maior impacto de redução é na quantidade de RSD queimados e por consequência na emissão de CO₂, isso em função da separação de materiais como papéis e plásticos que geralmente são abundantes nos resíduos e comumente queimados para eliminação.

Tabela 19 - Estimativa anual do processamento e descarte final dos RSR.

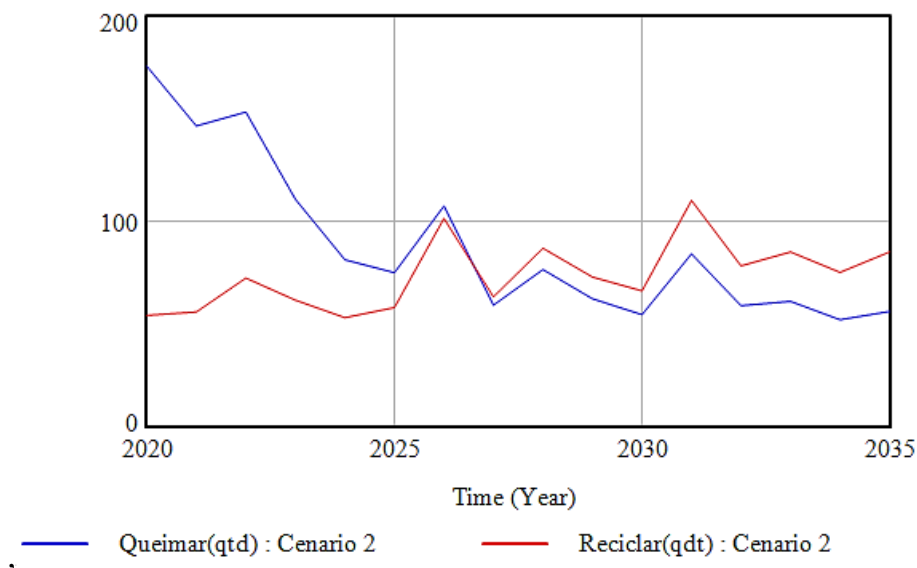
Cenário 2	População: 1.320 (hab.)			
	Variável do Modelo			
Ano	Reciclar (ton.)	Queima (ton.)	Descarte (ton.)	Emissão CO ₂ (ton.)
2020	54,10	175,77	186,30	7,27
2021	55,79	146,58	159,23	6,06
2022	72,35	153,38	179,41	6,34
2023	61,53	110,80	131,00	4,58
2024	53,01	81,28	99,07	3,36
2025	57,92	74,98	97,48	3,09
2026	101,45	107,49	159,02	4,44
2027	63,18	59,12	88,29	2,44
2028	86,89	76,49	120,33	3,16
2029	72,80	62,23	97,94	2,57
2030	66,08	54,48	86,75	2,25
2031	110,25	84,15	144,81	3,48

2032	78,32	58,83	99,26	2,43
2033	85,06	60,95	106,02	2,52
2034	75,11	51,99	91,39	2,15
2035	85,09	56,02	101,99	2,32

Fonte: Autor (2020).

A Figura 20 demonstra o impacto da reciclagem na redução dos RSD descartados pela incineração/queima dos materiais, evidencia-se o potencial de redução dos materiais descartados.

Figura 20 - Impacto da reciclagem na queima de RSD.



Fonte: Autor (2020).

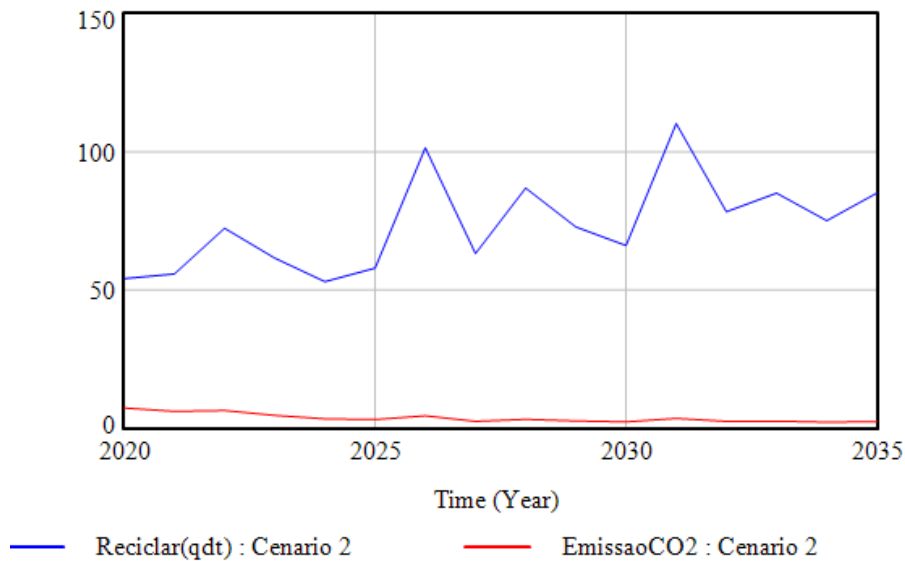
Devido a concentração de compostos de papéis e plásticos, comuns entre os materiais descartados, a reciclagem por processar esses elementos auxilia na redução dos impactos ambientais e ainda atende os requisitos básicos da PNSR e PNSB que refere-se a gestão adequada dos materiais. Reduzir o RSD incinerado/queimado não evita apenas o descarte inadequado e a poluição do solo e água, mas reduz a emissão de gases poluentes e de efeito estufa como CO₂.

5.2.1 Emissão de CO₂

O aumento da concentração de CO₂ na atmosfera é um grande problema socioambiental, as alterações climáticas resultantes dos desequilíbrios podem ser gravemente prejudiciais ao homem, podendo ter consequências devastadoras para o meio ambiente e economia. O tema é amplamente discutido, inúmeros são os estudos que alertam para a necessidade de controlar os índices de emissão do dióxido de carbono, o tema é frequente no IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), da Organização das Nações Unidas, tamanha a importância. SELURB (2019) apresenta que são lançadas na atmosfera cerca de 265.000 toneladas de CO₂ por ano pela queima ilegal de resíduos o que equivale a 137 mil carros movidos a gasolina por ano.

A Figura 21 apresenta a relação entre a reciclagem e emissão de CO₂ proveniente da queima dos RSD, à medida que o processamento dos materiais vai se desenvolvendo, as emissões caem.

Figura 21 - Impacto da reciclagem na emissão de CO₂.



Fonte: Autor (2020).

Mesmo em um cenário em que a reciclagem coexista com a incineração/queima dos rejeitos a redução da emissão do CO₂ proporcionada pelo processamento dos materiais é significativa.

5.2.2 Geração de receita

A reciclagem traz diversos benefícios ao meio ambiente e a sociedade, proporciona a diminuição da contaminação do solo e da água, redução da necessidade de utilização de recursos naturais, diminuição dos impactos causados pelo descarte irregular no meio ambiente e ainda pode contribuir para a geração de emprego e renda pela comercialização dos materiais.

Segundo ABRELPE (2017; 2018; 2019) os índices de reciclagem vêm aumentando no país, mas ainda são baixos se comparados com o total de resíduos sólidos produzidos. Uma das vantagens do processamento dos materiais por meio da reciclagem é a geração de emprego e renda através da comercialização dos resíduos separados. CEMPRE (2018b) apresenta que em 2018 as 67 mil toneladas de materiais coletados pelas associações e cooperativas de catadores geraram uma receita de R\$ 32 milhões, proporcionando uma renda média de um salário mínimo por catador.

Na Tabela 20 apresenta o potencial de geração de receita pela média de ganho por kg de materiais separados e processados, mesmo para uma população pequena os ganhos anuais estimados são razoáveis ainda mais se tratando de resíduos que seriam descartados de forma irregular, gerando apenas um passivo ambiental. Esta fonte de receita pode ser absorvida pela população mais vulnerável, tendo em vista a escassez de fontes de renda nestas localidades.

Tabela 20 - Estimativa de ganho pela reciclagem dos RSD.

Cenário 2	População: 1.320 (hab.)
Ano	Ganho/Kg
2020	R\$ 12.978,60
2021	R\$ 13.268,00
2022	R\$ 17.205,20
2023	R\$ 14.619,70
2024	R\$ 12.560,50
2025	R\$ 13.688,90
2026	R\$ 23.911,30
2027	R\$ 14.850,30
2028	R\$ 20.367,80
2029	R\$ 17.021,10
2030	R\$ 15.406,80
2031	R\$ 25.635,30
2032	R\$ 18.160,40
2033	R\$ 19.671,40
2034	R\$ 17.322,30
2035	R\$ 19.569,60
Total	R\$ 276.237,20

Fonte: Autor (2020).

Nota-se o aumento com o ganho anual que é proporcional a elevação dos índices de reciclagem, chegando na estimativa de 35% do RSD produzido, estimando-se um ganho médio anual de R\$ 17.264,83.

5.3 PROCESSAMENTO MATÉRIA ORGÂNICA

Os compostos orgânicos representam o maior percentual de resíduos na composição gravimétrica dos RSD, seu percentual varia entre 51,4 e 57,41% (BESEN, 2011; CEMPRE 2014). Essa matéria orgânica presente no RSD é um material de origem biológica, pode ser proveniente da vida animal ou vegetal, com restos de comidas e as sobras do processo de preparação de alimentos. Esses resíduos são descartados com outros materiais, contaminado materiais que poderiam ser reutilizados ou reciclados, o descarte irregular pode causar a contaminação da água ou criar vetores de proliferação de animais e doenças (BRASIL, 2011). A decomposição da matéria orgânica produz uma mistura complexa de gases, que se dispersos sem tratamento ou aproveitamento podem contribuir para contaminação atmosférica e para o efeito estufa (IWASAKI, 2009).

Silva (2016) apresenta que essa matéria orgânica presente no RSD, pode ser processada e transformada em biogás e biofertilizantes, reduzindo em aproximadamente 80% o volume de materiais orgânicos descartados de forma irregular. O uso dos biodigestores no processamento da matéria orgânica do RSD dos aglomerados rurais pode, alguém de reduzir o descarte irregular de resíduos, produzir o biogás e biofertilizantes (BRASIL, 2010d; KRETZER et. al., 2016). Para quantificar os impactos do processamento da matéria orgânica nos aglomerados rurais, a Tabela 21 apresenta as configurações adotadas no modelo para avaliação.

Tabela 21 - Configuração da simulação do cenário 3.

Cenário 3		Destinação e processamento do RSR				
População		a) Incineração/ Queima RSR	b) Reciclagem RSR	c) Matéria Orgânica RSR	e) Sobre Queima RSR	d) Descarte RSR
Local	1.320	0%	35%	51,04 / 57,41%	0	= (Total de RSR) - (Reciclagem RSR) - (Matéria Orgânica RSR)

Fonte: Autor (2020).

Para Kretzer (2016) os biodigestores podem viabilizar o tratamento e descarte correto da matéria orgânica, o processo de biodigestão anaeróbia estabiliza o resíduo orgânico alterando sua estrutura bioquímica produzindo gases (biogás) como metano e biofertilizantes por meio da produção de poluentes. Os biodigestores são câmaras fechadas, onde são depositados os resíduos orgânicos para serem degradados por meio do processo de biodigestão anaeróbia para alteração da sua estrutura química, resultando na produção do biogás e um efluente (biofertilizante) rico em nutrientes. (FILHO, 2014).

Dentre as vantagens de utilização dos biodigestores destaca-se: o baixo custo de implantação; a simplicidade de operação, manutenção e controle; a eficiência no processamento de diversas categorias de matérias orgânicas; baixos requisitos de área podendo ser construído em pequena escala; elevada vida útil; redução dos impactos ambientais do descarte irregular da matéria orgânica; e geração de subprodutos utilizáveis, com potencial de transformação, o biofertilizante e o biogás. (SAMULAK et al, 2011). O processamento dos materiais orgânicos presentes no RSD tem forte impacto na redução dos rejeitos descartados de forma irregular, devido à grande redução de volume, esse processo aliado a separação dos resíduos passíveis de reciclagem garante que a maior parte dos RSD tenha a destinação correta. A Tabela 22 apresenta o resultado da gestão e processamento dos RSD.

Tabela 22 - Resultado da simulação do cenário 3.

Cenário 3		Estimativa para 15 anos (2020 - 2035)			
População	Total de Resíduos Reciclados (ton.)	Total Descarte (ton.)	Total Matéria Orgânica (ton.)	Total de Resíduos Queimados (ton.)	Total de Emissão de CO₂ (ton.)
Local 1.320	1.598,04	500,28	2.467,51	0	0

Fonte: Autor (2020).

O estímulo ao processamento da matéria orgânica e a reciclagem reduzem consideravelmente a quantidade de rejeitos para descarte, o percentual de redução em comparação ao cenário atual é superior a 75%. Essas atividades além de serem benéficas pelo ganho ambiental, produzido pela destinação correta dos RSD, possuem potencial de geração de receitas, os materiais reciclados pela venda e a utilização dos subprodutos (biogás e biofertilizantes) pela transformação em outros recursos como por exemplo a energia elétrica. Na Tabela 23 apresenta-se a quantidade média anual de processamento e descarte dos materiais,

a produção média anual de biogás em m³ e o potencial de ganho estimado com a venda dos materiais reciclados.

Tabela 23 - Estimativa da quantidade média anual dos materiais processados.

Cenário 3	População: 1.320 (hab.)				
	Variável do Modelo				
Período	Reciclar(qdt) – (ton.)	Processar(qdt) “matéria orgânica” – (ton.)	Descarte RSR– (ton.)	Biodigestor - (m ³)	Ganho/kg - (R\$)
2020-2035	99,35	153,47	29,24	9.054,67	R\$ 23.358,56

Fonte: Autor (2020).

A quantidade de biogás produzido é a base para cálculo do potencial de conversão em energia (kWh) e gás de cozinha (metano), o ganho médio com a reciclagem refere-se a um percentual de processamento estável de 35% de materiais separados e reciclados.

5.3.1 Produção de biogás/gás e biogás/kWh

O biogás é um subproduto do processo de biodigestão anaeróbia do biodigestor, gás incolor e geralmente inodoro, insolúvel, leve e de fraca densidade, sua composição específica depende do tipo de substrato utilizado (HUBER E MAIR, 1998). O biogás é resultante da fermentação anaeróbica da matéria orgânica e constitui-se de uma mistura de metano, dióxido de carbono, hidrogênio e traços de outros gases (ALVES, et. al. 1980). O biogás é basicamente composto por um valor percentual de 55 a 70% de metano (CH₄), de 30 a 45% de dióxido de carbono (CO₂) e por outros gases em quantidade menor, como, oxigênio (O₂), e nitrogênio (N₂) e hidrogênio (H₂) (OLIVEIRA, 2004).

A utilização de biodigestores nas propriedades rurais apresenta um ganho socioambiental e socioeconômico como apresenta Alves (1980):

A ideia da produção de biogás nas propriedades rurais, indiferentemente de suas dimensões, em última análise, se associa ao atingimento de um quádruplo importante objetivo, ou seja: a) Proporcionar maior conforto ao rurícola permitindo-lhe dispor de um combustível prático e barato que tanto poderá ser usado para fins de calefação e iluminação como ainda para acionar pequenos motores estacionários de combustão interna. b) Contribuir para a economia do consumo de petróleo, pois o biogás é um combustível proveniente de fontes alternativas. c) Produzir biofertilizante que é um resíduo rico em húmus e nutrientes, utilizado na fertilização do solo, para aumentar a produtividade e a rentabilidade dos cultivos face o seu baixo custo de obtenção. d) Contribuir para a preservação do meio ambiente pela produção do biogás, o que

consiste na reciclagem de dejetos e resíduos orgânicos poluentes (ALVES, et. al. 1980, p.7).

O biogás possui um conteúdo energético elevado equivalente ao gás natural, podendo ser utilizado na geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em uma propriedade rural, sendo uma opção para diversificação da matriz energética (OLIVEIRA, 2004). A Tabela 24 apresenta o potencial de conversão do biogás em energia (kWh) e gás de cozinha (metano), os valores referem-se à produção média anual.

Tabela 24 - Estimativa da produção média anual de conversão de biogás.

Cenário 3	População: 1.320 (hab.)		
	Variável do Modelo		
Período	Biodigestor (Biogas/m³) – (m³)	Biodigestor1 - Biogás/Gás – (m³)	Biodigestor2 - Biogás/kWh – (kWh)
2020-2035	9.054,67	3.827,54	14.321,52

Fonte: Autor (2020).

Para cada quilograma de matéria orgânica processada o biodigestor gera 0,059m³ de biogás, cada metro cúbico (1 m³) de biogás tem potencial de gerar de 1,55 a 1,66 kWh de energia e de 0,4 a 0,45 kg de gás de cozinha (metano) (FERRARI, 2005; SAMULAK, 2011). Segundo Ferrari (2005) uma pessoa precisa de 1,79m³ de biogás para atender suas necessidades básicas, a média de produção anual de biogás 9.054,67m³, corresponde a 13,86m³ diários o suficiente para atender as necessidades de 13,85 pessoas diariamente.

Os 3394,77 kg de gás de cozinha, que correspondem a 294,43 botijões de gás p13 com valor de mercado equivalente a R\$ 20.827,71, estimando o valor da recarga em R\$ 70,74, conforme as especificações da Agência Nacional de (ANP, 2017; 2020). Considerando um consumo médio mensal de energia de 125 kWh, faixa de consumo entre 30 kWh e 220 kWh perfil de baixa renda definido pela Lei nº 12.212/2010 (BRASIL, 2010c), geraria um fornecimento de energia elétrica por 114,57 meses, que sustentaria o consumo de 8,54 residências por um ano. A quantidade produzida de kWh 14.321,52 teria, com base no valor médio da tarifa brasileira 0,578 R\$/kWh definida pela ANEEL (2021), um valor total de R\$ 8.277,83 que poderiam ser economizados. A Tabela 25 apresenta a conversão do biogás para fontes de energia comumente utilizadas nas comunidades rurais.

Tabela 25 - Conversão do biogás em outras fontes de energia.

Cenário 3		População: 1.320 (hab.)	
Variável: Biodigestor (Biogas/m³)		9.054,67 (m³)	Conversão
Produtos	Gasolina	0,61(l)	5.523,35(l)
	Querosene	0,57(l)	5.161,16(l)
	Óleo diesel	0,55(l)	4.980,07(l)
	Álcool combustível	0,45(l)	4.074,60(l)
	Lenha	1,538(kg)	13.926,08(kg)

Fonte: Autor (2020).

O biogás além de proporcionar a diversificação da matriz energética é uma fonte de energia renovável, que pode ser utilizado para produzir energia elétrica e térmica adequando-se à necessidade (SAMULAK, 2011).

5.4 COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIOS

A percepção e análise das condições expostas nos cenários são de suma importância para a devida compreensão do todo. Comparar as principais situações de produção e descarte dos RSD nos aglomerados rurais, bem como, o potencial de gestão e processamento desses materiais, facilita o diagnóstico e tomada de decisão quanto a importância de implementação de políticas públicas municipais voltadas a solucionar os problemas enfrentados pelas comunidades.

Na Tabela 26 apresenta a quantidade média anual de RSD incinerado/queimado de acordo com as condições de produção, destinação e processamento dos materiais.

Tabela 26 - Quantidade média anual de RSD incinerados/queimas.

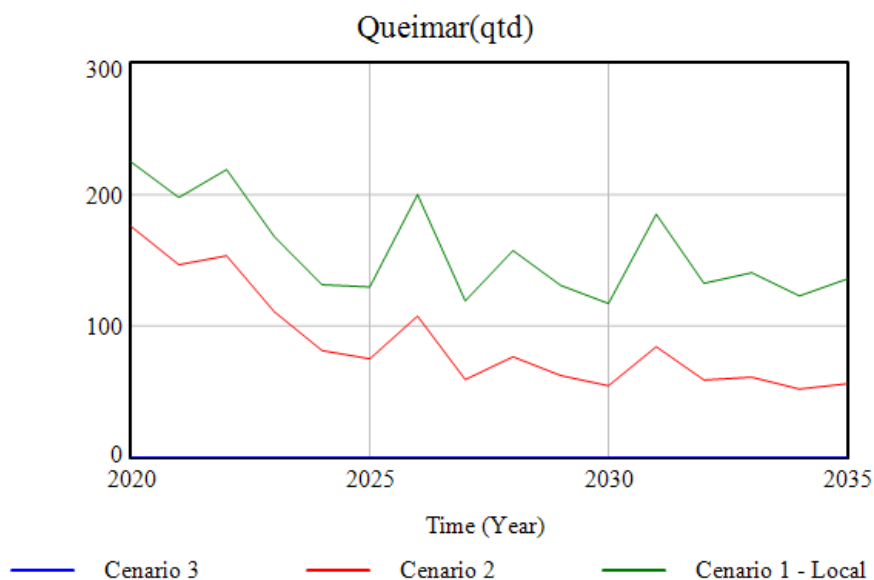
População: 1.320 (hab.)		Variável: Queimar(qtd) – (ton.)	
Período	Cenário 1 - Local	Cenário 2	Cenário 3
2020 - 2035	156,80	88,41	0

Fonte: Autor (2020).

A redução média percebida no Cenário 2 de 68 toneladas é o resultado do estímulo à reciclagem, que corresponde a um percentual de redução superior a 43%, a separação desses materiais tem forte impacto na tentativa de eliminação por incineração/queima, prática comum

nas comunidades rurais. A Figura 22 evidencia a redução pelo aprimoramento da prática de reciclagem.

Figura 22 - Estimativa da quantidade média anual de RSD queimados nos aglomerados rurais.



Fonte: Autor (2020).

A queda constante nos índices de RSD incinerado/queimado no Cenário 2, corresponde a variação de aumento no percentual de materiais reciclados, que inicia com 13%, índice nacional, e atinge 35% de materiais selecionados, valor médio apontado com o potencial máximo de reciclagem, de 30 a 40%. Na Tabela 27 encontram-se os valores referentes ao descarte de RSD, média anual, resíduos que são depositados no solo/águas com alto potencial poluente e de formação de vetores de doenças.

Tabela 27 - Quantidade média anual de RSD descartados solo/água.

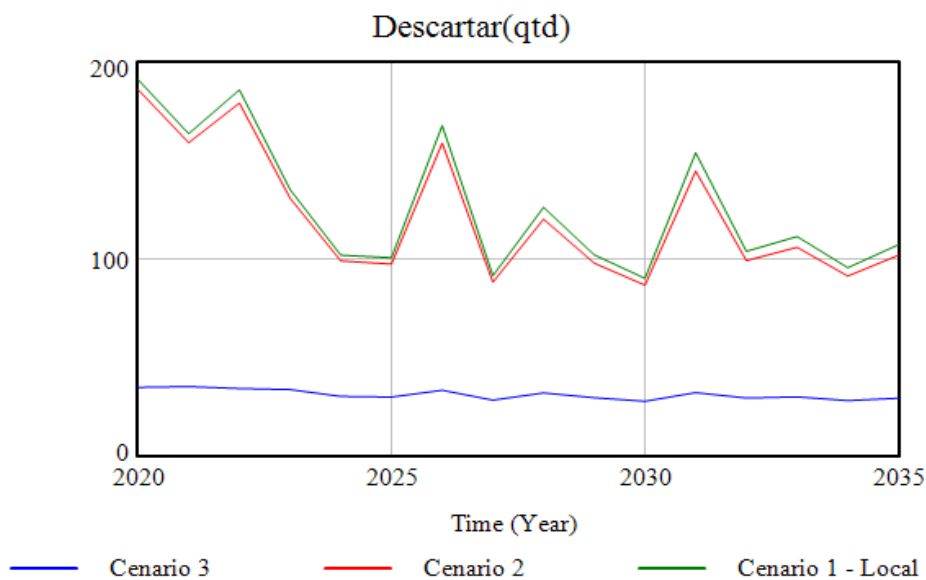
População: 1.320 (hab.)		Variável: Descartar (qtd) – (ton.)	
Período	Cenário 1 - Local	Cenário 2	Cenário 3
2020 - 2025	126,77	121,77	29,24

Fonte: Autor (2020).

Comparando os cenários nota-se que a associação da reciclagem com o processamento dos materiais orgânicos, existentes no Cenários 2 (reciclagem gradativa) e Cenário 3

(reciclagem efetiva e processamento matéria orgânica) tiveram impacto positivo na redução da quantidade de resíduos descartados de forma irregular. A maior redução aparece na Cenário 3 em comparação ao Cenário 1, de 97,53 toneladas por ano, percentual de redução superior a 76% nos resíduos descartados, no Cenário 2 em comparação ao Cenário 1, a redução foi de 5 toneladas por ano, a diferença ocorre devido a matéria orgânica presente no resíduo, mesmo implementando o processo de reciclagem a maior quantidade de materiais no RSD e orgânico. Na Figura 23 temos os níveis de descarte de RSD nos três cenários.

Figura 23 - Estimativa da quantidade média anual de RSD descartados nos aglomerados rurais.



Fonte: Autor (2020).

Os índices apresentados no Cenário 3 possibilitariam, devido à baixa produção de rejeitos, a implementação de uma coleta periódica, tendo em vista que, a geração de resíduos mensal seria de aproximadamente 2,4 toneladas, quantidade coletada em uma única viagem por um caminhão coletor compactador de lixo que possui capacidade de carga média de 4,2 toneladas. O Cenário 3 possibilitaria a implementação da gestão adequada dos resíduos, processamento e destinação final adequada, situação proporcionada pelo processamento dos materiais orgânicos. Na Tabela 28 apresenta a quantidade média anual de materiais orgânicos processados.

Tabela 28 - Quantidade média anual de matéria orgânica processada.

População: 1.320 (hab.)		Variável: Processar(qtd) – (ton.)	
Período	Cenário 1 - Local	Cenário 2	Cenário 3
2020 - 2035	0	0	153,47

Fonte: Autor (2020).

A matéria orgânica presente no RSD pode ser processada por meio de compostagem gerando substrato ou por meio de biodigestores produzindo biogás e biofertilizantes como subprodutos. As fontes de energia oriundas do processamento da matéria orgânica podem auxiliar e melhorar as condições de vida nos aglomerados rurais, conforme exposto acima (item 5.3.1). Esses resíduos, sem processamento, seriam descartados de forma irregular gerando um passivo ambiental. A reciclagem é outra forma de processamento de RSD que demonstra bons resultados, tanto ambientes pela redução da destinação irregular, quanto pelo potencial de geração de receita, a quantidade de material com potencial de reciclagem está presente na Tabela 29.

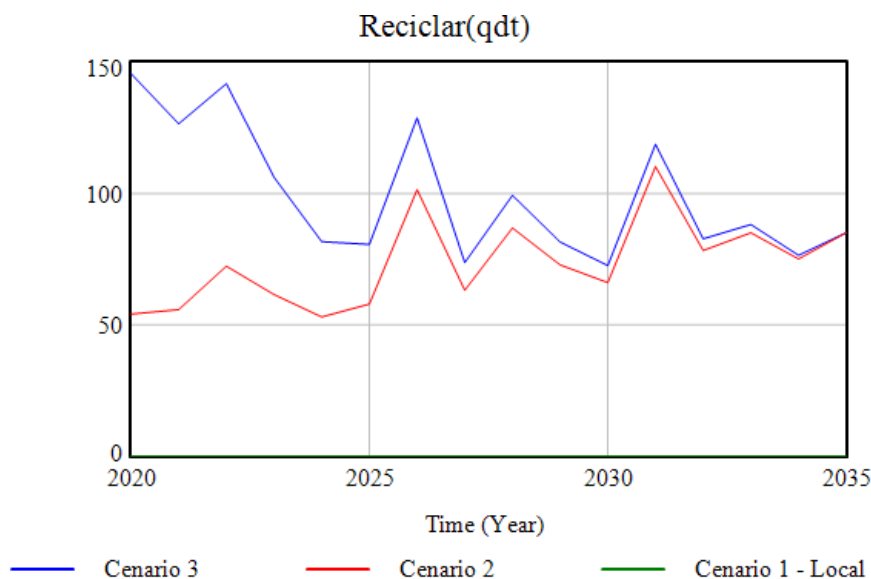
Tabela 29 - Quantidade média anual de matéria com potencial de reciclagem.

População: 1.320 (hab.)		Variável: Reciclar(qtd) – (ton.)	
Período	Cenário 1 - Local	Cenário 2	Cenário 3
2020 - 2035	0	73,68	99,35

Fonte: Autor (2020).

O aumento médio da quantidade de resíduos separados para reciclagem de 25,66 toneladas entre os cenários 2 e 3, aumento percentual de 34,83%, que reflete a diferença entre a implantação progressivo da prática e a sua efetiva aplicação. No Cenário 2 inicia-se o processo em 13% até o limite de 35% de materiais reciclados, no Cenário 3 a aplicação é efetiva nos 35%. Na Figura 24 é possível observar o comportamento das duas implementações.

Figura 24 - Estimativa da quantidade média anual de RSD reciclados nos aglomerados rurais.



Fonte: Autor (2020).

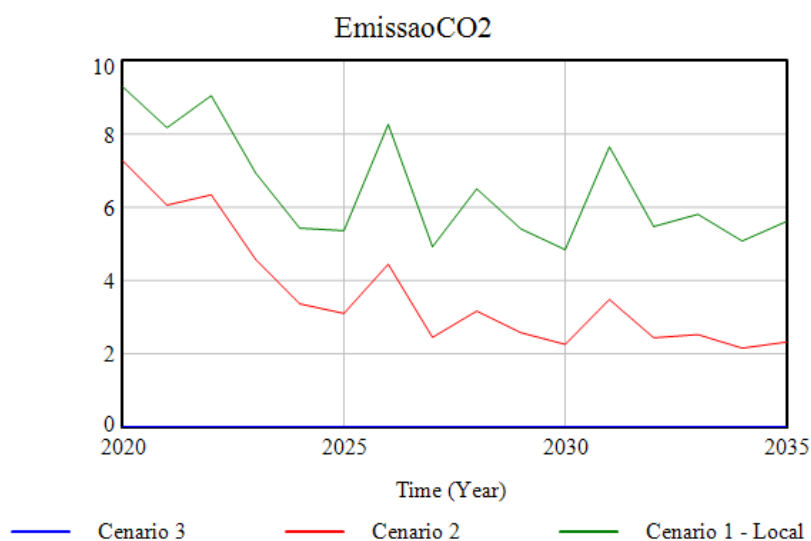
O maior impacto da implementação da reciclagem é na quantidade de resíduos incinerados/queimados e conseqüentemente na emissão de CO₂. A Tabela 30 apresenta a projeção da emissão de CO₂.

Tabela 30 - Quantidade média anual de emissão de CO₂.

População: 1.320 (hab.)		Variável: EmissaoCO2 – (ton.)	
Período	Cenário 1 - Local	Cenário 2	Cenário 3
2020 – 2035	6,49	3,65	0

Fonte: Autor (2020).

Com a separação de materiais de materiais plásticos e de papéis, comuns no RSD, o percentual de emissão de CO₂ reduz em 43,76% em comparação ao Cenário 1, sem reciclagem e o Cenário 2, com reciclagem. No Cenário 3 pela efetividade da reciclagem e a implantação da gestão adequada elimina-se o fator de incineração e queima de resíduos descartados. A Figura 25 demonstra o comportamento e o impacto da redução de RSD destinados ao descarte por incineração/queima.

Figura 25 - Estimativa da quantidade média anual de emissão de CO₂.

Fonte: Autor (2020).

A redução ou eliminação da emissão de CO₂ é fator de grande importância, devido aos impactos ambientais produzidos pelos desequilíbrios ocasionados pelo efeito estufa, decorrentes do aumento da quantidade do gás na atmosfera. A reciclagem não apresenta apenas vantagens ambientais, os materiais separados podem ser comercializados fomentando a geração de emprego e renda. A Tabela 31 apresenta os valores estimados de ganho pela comercialização dos resíduos reciclados, valor médio anual.

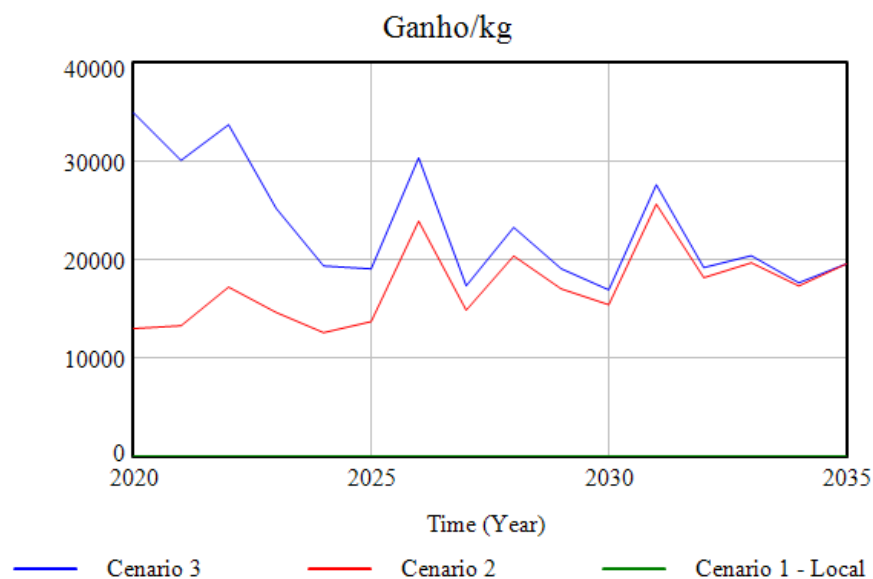
Tabela 31 - Estimativa da quantidade média anual de receita produzida pela reciclagem.

População: 1.320 (hab.)		Variável: Ganho/kg – (R\$)	
Período	Cenário 1 - Local	Cenário 2	Cenário 3
2020 - 2035	0	R\$ 17.264,83	R\$ 23.358,56

Fonte: Autor (2020).

A diferença entre os cenários 2 e 3 de R\$ 6.093,73 reflete a vantagem de implementação de um processo de reciclagem efetivo que corresponde a um acréscimo de 35% no potencial de ganho anual. Na Figura 26 temos o comportamento anual da receita possível pela venda dos recicláveis, os valores variam conforme os percentuais aplicados e a estimativa de RSD produzidos.

Figura 26 - Estimativa da quantidade média anual de receita com a reciclagem.



Fonte: Autor (2020).

A utilização da reciclagem como ferramenta de gestão dos RSD apresenta inúmeras vantagens, pois parte da sensibilização e conscientização da população, não demanda serviços ou técnicas especializadas e pessoal de conversão em receita, podendo ser um estímulo ao cooperativismo ou associativismo nas comunidades.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

“A busca por soluções na área de resíduos reflete a demanda da sociedade que pressiona por mudanças motivadas pelos elevados custos socioeconômicos e ambientais” (BRASIL, 2011, p.4). Reis (2016) apresenta que a gestão adequada dos resíduos sólidos é um dos maiores desafios para os gestores públicos no século XXI, devido à crescente produção de resíduos. O descarte irregular de RSD provoca poluição visual, degradação ambiental, poluição de corpos d’água, além da proliferação de insetos e roedores que causam doenças (PASQUALI, 2012). As transformações socioeconômicas das populações rurais, decorrentes da mudança da composição da renda familiar, alteraram os hábitos alimentares, que passaram a consumir mais produtos transformados e industrializados (PASQUALI, 2012).

A gestão de resíduos sólidos domésticos no meio rural está prevista na Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), que estabelece as diretrizes para o saneamento básico em todo o país, contemplando o manejo de resíduos. A PNRS traz a obrigatoriedade de criação dos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos, planejando e organizando ações a serem executadas. A PNRS deixa bem evidente em seus dispositivos as ações a serem executadas visando garantir um meio ambiente mais saudável e sustentável, e a racionalidade no uso dos recursos naturais (BRASIL, 2010a). Ferreira (2018) traz que os municípios são responsáveis pelo gerenciamento dos resíduos sólidos e devem desenvolver políticas públicas voltadas a organizar a gestão e o manejo adequado dos resíduos produzidos. O déficit na gestão de resíduos sólidos domiciliares na zona rural é de 57,1% sem nenhum tipo de cobertura de tratamento ou coleta, isso significa que 18 milhões de pessoas estão desassistidas desse serviço básico e essencial para qualidade de vida (BRASIL, 2017). Mesmo em menor quantidade, os RSD descartados de forma irregular pelas populações rurais podem produzir impactos ambientais graves, se largados à margem de lagos e rios, enterrados e/ou queimados (ROCHA et. al., 2013).

A produção de resíduos encontra-se intrinsecamente ligada ao dia a dia da população, tanto nas áreas urbanas quanto na zona rural, deste modo, o principal objetivo deste estudo foi o desenvolvimento, verificação, validação e experimento de modelos de simulação computacional com o propósito de avaliação de cenários para dimensionar o descarte irregular dos resíduos sólidos domiciliares nos aglomerados rurais e os impactos da gestão por meio da reciclagem e processamento da matéria orgânica presentes nesse material. Com relação à hipótese dinâmica, visou-se trabalhar a teoria do problema, analisando o seu comportamento e observando quais as variáveis fazem parte do sistema. A hipótese apresentada no método de

pesquisa foi confirmada, pois, o descarte e destinação irregular dos RSD nos aglomerados rurais resultam em impactos socioambientais nocivos, que pode ser reduzido e eliminado pelo processamento e gestão dos resíduos. Para o desenvolvimento do modelo de simulação levou-se em consideração o conceito que modelos de Dinâmica de Sistemas são compostos por variáveis de estoque, fluxo, ambas variáveis endógenas. Um dos objetivos centrais da metodologia de Dinâmica de Sistemas é ter um modelo que consiga simular o comportamento real. A metodologia de Dinâmica de Sistemas auxiliou a mapear as estruturas do sistema desenvolvido, procurando examinar sua inter-relação em contexto amplo. Através da simulação desenvolvida, a dinâmica aplicada pretende compreender como o sistema em foco evolui no tempo e como as mudanças em suas partes afetam o seu comportamento. A partir dessa compreensão, foi possível diagnosticar e prognosticar o sistema, além de possibilitar simular mais cenários no tempo. O modelo computacional possui variáveis, como por exemplo, EmissaoCO₂, na qual o sistema poderá verificar a quantidade de gás carbônico gerado por cada cenário, provendo ao gestor uma visão do impacto ambiental provocado. A partir dos resultados gerados pela simulação, os gestores terão melhor compreensão do todo para definir as políticas públicas mais adequadas, levando em consideração a sustentabilidade financeira e ambiental no processo decisório.

Foram gerados três cenários, para validação e avaliação do modelo, utilizando dados oficiais e informações coletas com *stakeholders* e revisão bibliográfica. Os resultados obtidos são condizentes com a realidade enfrentada pela grande maioria das comunidades rurais. A entrega dos dados apurados e a análise técnica dos resultados pelos servidores públicos municipais responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos municipais, constata as informações geradas e subsidiam a criação de políticas públicas voltadas ao enfrentamento do problema. Cabe ressaltar a quantidade reduzida de estudos sobre as condições de descarte de RSD nas populações rurais, tendo em vista, a concentração de trabalhos para área urbana, se tornando esse estudo uma fonte de conhecimento sobre as condições de vida dessas comunidades que possuem inúmeras vulnerabilidades sociais.

As taxas utilizadas foram desenvolvidas pelo projetista do modelo para realização deste estudo. Os cenários foram gerados para esse experimento, porém o modelo pode ser configurado conforme as necessidades de quem for utilizá-lo, ou seja, é um modelo reconfigurável e aberto. O Cenário 1 apresenta a estimativa de descarte e destinação irregular dos RSD nos aglomerados rurais, os resultados gerados pelo modelo servem de alerta, devido a quantidade de emissão de CO₂ e a quantidade de resíduos descartados irregularmente, lembrando que a amostra, número de habitantes, refere-se a um percentual pequeno do

contingente total de residentes em áreas rurais, o que agrava a situação. O Cenários 2 demonstrou os benefícios da implantação da gestão dos RSD por meio da reciclagem, que proporcionou uma redução significativa no descarte pela incineração ou queima e por consequência redução nas emissões de CO₂, as vantagens com a reciclagem excedem o ganho pela redução do passivo ambiental, também pode ser vista como um meio de geração de emprego e renda e fomento ao associativismo. No Cenário 3 apresentam-se as melhores condições de gestão dos RSD nos aglomerados rurais, a associação da reciclagem ao processamento de resíduos orgânicos resulta no maior impacto de aproveitamento e redução do rejeito. O potencial de conversão da matéria orgânica em biogás abre um leque de possibilidades quanto ao potencial de utilização e substituição de outras fontes de energia como o gás de cozinha e a energia elétrica convencional, sendo este o cenário ideal para tratamento e gestão dos RSD no meio rural.

O Cenário 3 apresenta o melhor resultado na análise, porém, o Cenário 2 também possui algumas vantagens, tanto o processo de reciclagem quanto o de processamento da matéria orgânica necessitam de políticas públicas voltadas ao apoio a sensibilização e conscientização coletiva da população, deste modo o estímulo a reciclagem torna-se uma via mais rápida de implementação, pois parte de um processo simples de separação dos elementos recicláveis, podendo ser esse o passo inicial para utilização dos biodigestores. Como trabalhos futuros, pretende-se expandir o modelo para quantificar outros processos de gestão de RSD nas comunidades rurais que não foram considerados no estudo, tais como, compostagem, biofertilizantes e pontos de coleta voluntária, também, considerar na avaliação os benefícios sociais, ambientais e econômicos que podem ser gerados. Aspectos da logística reversa dos resíduos gerados na produção agropecuária podem ser incluídos, analisando a produção, destinação e eficiência no processo. O aprofundamento no processo de eutrofização pode ser incluído, definindo e calculando o possível impacto dos resíduos domiciliares descartados em corpos d'água, bem como, a análise de poluição, contaminação e autodepuração dos corpos hídricos visando o tratamento das águas residuárias e a utilização de zona de raízes no tratamento. Os custos decorrentes da implementação das políticas públicas podem ser incluídos calculados, possibilitando a previsão orçamentária municipal e divisão em etapas do empreendimento, a análise de viabilidade de projeto, ou seja, as vantagens do ente municipal em desenvolver as políticas públicas decorrem dos benefícios socioambientais produzidos, pois o seu custeio já é previsto como obrigatório pela legislação vigente, cabendo apenas a adequação.

Diante do exposto é evidente a necessidade de implantação de políticas públicas voltadas a gestão dos resíduos sólidos domiciliares no meio rural, o descaso com essa situação agrava o passivo ambiental que vem sendo gerado, colocando em risco o meio ambiente e as comunidades. É inconcebível que essas pessoas não tenham acesso a esse serviço básico, obrigatório e previsto em lei. As práticas de gestão demonstradas no estudo evidenciam a efetiva possibilidade de redução e eliminação do descarte irregular e por conseguinte a melhoria na qualidade de vida dessas famílias.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR10004** – Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015**. São Paulo. ABRELPE. 2015. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil. 2016**. São Paulo. ABRELPE. 2016. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>> Acesso em: 28 jun. 2019.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil. 2017**. São Paulo. ABRELPE. 2017. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>> Acesso em: 28 jun. 2019.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil. 2018**. São Paulo. ABRELPE. 2018. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>> Acesso em: 28 jun. 2019.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil. 2019**. São Paulo. ABRELPE. 2019. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>> Acesso em: 05 out. 2020.

ALVES, S, de M.; MEIO, C, F, M; WISNIEWSKI, A. **BIOGÁS; UMA ALTERNATIVA DE ENERGIA NO MEIO RURAL**. 1980. EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido. Belém. Pará. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/59482/1/Miscelanea-4.pdf>>. Acesso em: 05 de Out.. 2020.

ANDRADE, A. L.; SELEME, A.; RODRIGUES, L. H.; SOUTO, R. **Pensamento Sistêmico: caderno de campo: o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade**. Porto Alegre, Bookman, 2006.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Ranking das Tarifas. 2021**. Disponível em: <<http://https://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>> Acesso em: 24 de Mar.. 2021.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **GÁS DE BOTIJÃO 2017**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/cartilhas/GLP-10-orientacoes-Nov2017.pdf>> Acesso em: 05 de Out.. 2020.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Evolução dos preços de GLP (R\$ / botijão de 13 kg)**. 2020. <<http://www.anp.gov.br/arquivos/atuacao/pdc/pr/pcc/2020-margens-P13-tabela.pdf>> Acesso em: 15 de Dez.. 2020.

ARAGÃO, A P. **MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE PROCESSOS PRODUTIVOS: O CASO DA CERÂMICA VERMELHA DE CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ** 01/03/2011 143 f. Mestrado em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE

FLUMINENSE DARCY RIBEIRO, CAMPOS DOS GOYTACAZE Biblioteca Depositária: Biblioteca do CCT.

BACEN. Banco Central do Brasil. **Relatório de Inflação. 2020**. Brasília v. 22 n° 4 dez. 2020 p. 1-83. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/content/ri/relatorioinflacao/202012/ri202012p.pdf>> Acesso em: 05 jan. 2021.

BASTOS, A. A. P. **A dinâmica de sistemas e a compreensão de estruturas de negócio**. 11/09/2003. 135 p. Dissertação de Mestrado em Administração, Faculdade de Administração, Economia e Contabilidade da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12139/tde-10112003-181900/publico/Dinamica_Sistemas_Estruturas_Negocios.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2019.

BERNARDO, G. O.; SANTOS, J. R. T; MIRANDA, C. G. M. **Aplicação da dinâmica de sistemas na gestão de processos de construção civil – utilização do software vensim**. *Brazilian Journal of Development*. Curitiba, 5(7). 2019.

BESEN, G. (2011). **Coleta seletiva com inclusão de catadores: construção participativa de indicadores e índices de sustentabilidade**. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-28032011-135250/pt-br.php>>. Acesso em: 20 Jul. 2019.

BORENSTEIN, D.; BECKER, J.L. **Validating Decision Support Systems**. *Encyclopedia of Microcomputers*. New York: Marcel Dekker, 2000.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. 1988**. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm> Acesso em: 18 Jun. 2019.

BRASIL. **Lei nº 9605 de 12 de fevereiro de 1998. 1998**. Lei de Crimes Ambientais. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9605.htm>. Acesso em: 18 Jun. 2019.

BRASIL **Lei nº 9.966, de 28 de Abril de 2000. 2000a**. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9966.htm>. Acesso em: 18 Jun. 2019.

BRASIL. **Lei nº 9.974, de 6 de Junho de 2000. 2000b**. Altera a Lei no 7.802, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9974.htm>. Acesso em: 18 Jun. 2019.

BRASIL. **Lei nº 11.445 de 05 de Janeiro de 2007. 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para saneamento básico. Disponível em: <<http://legislacao.planalto.gov.br>>. Acesso em: 18 Jun. 2019.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010. 2010a.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 18 Jun. 2019.

BRASIL. **Decreto Federal nº 7.404, de 23 de Dezembro de 2010. 2010b.** Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm>. Acesso em: 18 Jun. 2019.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.212, de 20 de Janeiro de 2010. 2010c.** Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica; altera as Leis nos 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.925, de 23 de julho de 2004, e 10.438, de 26 de abril de 2002; e dá outras providências. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12212.HTM>. Acesso em: 18 Jun. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável. 2010d.** Disponível em: <https://mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033201.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Guia para elaboração dos Planos de Gestão de Resíduos Sólidos.** 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/guia_elaborao_plano_de_gesto_de_resduos_rev_29_nov11_125.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** 2012. Disponível em: <https://sinir.gov.br/images/sinir/Arquivos_diversos_do_portal/PNRS_Revision_Decreto_280812.pdf>. Acesso em: 18 Jun. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Orientações para elaboração de Plano Simplificado de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PSGIRS para municípios com população inferior a 20 mil habitantes.** 2013. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80115/Orientacoes-MMA_PSGIRS_rev_18-12-13_sem_Logo.pdf>. Acesso em: 18 Jun. 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos.** 2017. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos/diagnostico-rs-2017>>. Acesso em: 18 Jun. 2019

BONJARDIM, E. C.. **PLANOS MUNICIPAIS DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: Um estudo comparativo na região do Grande ABC'** 25/06/2018 194 f. Doutorado em ADMINISTRAÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE MUNICIPAL DE SÃO CAETANO DO SUL, São Caetano do Sul Biblioteca Depositária: USCS E REPOSITÓRIO DIGITAL.

BLOIS, H. D.; SOUZA, J. C.. Cenários Prospectivos e a Dinâmica de Sistemas: proposta de um modelo para o setor calçadista. **Rev. adm. empres.**, São Paulo , v. 48, n. 3, p. 35-45, Sept. 2008.

CAMPOS, H. K. T.. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro , v. 17, n. 2, p. 171-180, June 2012 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522012000200006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 26 Out. 2019.

CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **Guia da Coleta Seletiva. 2014.** Disponível em: <<https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/4-GuiadaColetaSeletiva2014.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2019.

CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **Lixo Municipal Manoel de Gerenciamento Integrado. 2018a.** Disponível em: <http://cempre.org.br/upload/Lixo_Municipal_2018.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.

CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **ANUÁRIO DA RECICLAGEM 2017-2018. 2018b.** Disponível em: <<https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/2-Anu%C3%A1rio-da-Reciclagem.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

CNM – Confederação Nacional dos Municípios. **SANEAMENTO BÁSICO - Avanços necessários. 2019.** Disponível em: <[http://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/documentos/Saneamento%20B%C3%A1sico.%20Avan%C3%A7os%20Necess%C3%A1rios%20\(2019\).pdf](http://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/documentos/Saneamento%20B%C3%A1sico.%20Avan%C3%A7os%20Necess%C3%A1rios%20(2019).pdf)>. Acesso em: 20 out. 2019.

DAELLENBACH, H. G. ;MCNICKLE, D. C. *Management science decision making through systems thinking*, Palgrave Macmillan, New York, 2005.

DEATON, M. L.; WINEBRAKE, J. J. *Dynamic Modelling of Environmental Systems*. Springer-Verlag, 2000.

DEUS, R. M.; BATTISTELLE, R. A. G.; SILVA, G. H. R.. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro , v. 20, n. 4, p. 685-698, Dec. 2015 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522015000400685&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 18 Jun. 2019.

DIAS, M.F.P.D.; JUNIOR, S.S.; ROSA, N.P.; MENDONÇA, E. ; SILVA, T.N. **Análise da sustentabilidade da produção de biodiesel de soja no Brasil**, Revista Administração, V.9, n. 14, p. 13-45, 2009.

ENERGY & CLIMATE CHANGE. *World business council for sustainable and development*. Disponível em: <<http://www.wbcsd.org>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

FERNANDES, A.C. **Dinâmica de sistemas e business dynamics: Tratando a complexidade no ambiente de negócios**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), XXIII, 2001. Anais... Salvador: ABEPRO, 2001.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S. Biodiesel de Soja – Taxa de Conversão em Ésteres Etílicos, Caracterização Físico-química e Consumo em Gerador de Energia. **Revista Química**

Nova, Vol. 28, Nº 1, p. 19-23, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/qn/v28n1/23031.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2019.

FERRAZ, J. L.. **Modelo para avaliação da gestão municipal integrada de resíduos sólidos urbanos**. 2008. 221p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/264834>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

FERREIRA, ARILDO. **ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE DO PARANÁ'** 13/06/2018 222 f. Doutorado em ADMINISTRAÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ, Itajaí Biblioteca Depositária: Biblioteca da UNIVALI

FERREIRA, B. G. C. **UM MODELO DE ORÇAMENTO DE PROJETOS NA ÁREA DE MONTAGEM INDUSTRIAL POR MEIO DE DINÂMICA DE SISTEMAS'** 14/10/2016 141 f. Mestrado em Engenharia e Gestão de Processos e Sistemas Instituição de Ensino: INSTITUTO DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, Belo Horizonte Biblioteca Depositária: http://virtual.ietec.com.br/file.php/1/Biblioteca/Dissertacoes_para_publicacao/Linha_2_-_Gestao_de_Processos_Sistemas_e_Projetos/Billy_Grahan_Carlos_Ferreira_-_Um_modelo_de_orcamento_de_projetos.pdf

FERREIRA, C. M. et al. . **Biodigestor para o gás do lixo orgânico**. *Revista e-xacta*, Edição Especial Interdisciplinaridade, Belo Horizonte, 4(2), 5-17.2011.

FILHO, I., O., S. **Avaliação da Toxicidade e Remoção de Matéria Orgânica de Efluente de Biodigestor de Resíduos Sólidos Orgânicos Tratado em Wetlands**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Pós- Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Caruaru, 2014.

FILHO, J. A. P.; SILVEIRA, F. F.; LUZ, E. G.; OLIVEIRA, R. B. Comparação entre as massas de resíduos sólidos urbanos coletadas na Cidade de São Paulo por meio de coleta seletiva e domiciliar. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade-GeAS**, v. 13, n. 3, p. 19-33, 2014. Disponível em: <http://www.revistageas.org.br/ojs/index.php/geas/article/view/208/pdf_1>. Acesso em: 18 Jun. 2019.

FORD, A. *Modeling the environment*, Second Edition. Island Press, 2009.

FRANCO, R. A. C. **Processo de terceirização logística: uma abordagem de dinâmica de sistemas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. (2a ed.). Florianópolis: Visual Books. 2008.

GAVIRA, M. de O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. 01/03/2003 150 f. Mestrado em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Paulo Biblioteca Depositária: EESC-USP.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GODOY, M. B. R. B. (2013). **Dificuldades para aplicar a Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil**. Caderno de Geografia, 23(39), 1–12.

HUBER, S; MAIR, K. **Untersuchung der Biogaszusammensetzung bei Anlagen aus der Landwirtschaft**. Energetische Nutzung von Biogás aus der Landwirtschaft, 1998.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010a. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=246401>>. Acesso em: 21 Jun. 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010b. **Sinopse do censo demográfico :2010**. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=249230>>. Acesso em: 21 Jun. 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável** . 2012. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=259908>>. Acesso em: 26 Jun. 2019.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Carbon dioxide Capture and Storage**. 2005.

IPCC. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York: Cambridge University Press, 2012.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Os que sobrevivem do lixo**. 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso em: 24 Jun. 2019.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **O Gigante Invisível: território e população rural para além das convenções oficiais**. 2014. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2866/1/TD_1942.pdf>. Acesso em: 24 Jun. 2019.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **A Organização Coletiva de Catadores de Material Reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da economia solidária**. 2017. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2268.pdf>. Acesso em: 24 Jun. 2019.

IWASAKI, L. F. L., ANDRADE, J. C. DE., PONTES, O. B., DOMINQUINI, R. B. **Aproveitamento do metano do lixo para produção de energia elétrica e cota de carbono**. Revista Ciências do Ambiente On-Line, 5(2). 2009.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R.. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estud. av.**, São Paulo , v. 25, n. 71, p. 135-158, Apr. 2011 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142011000100010&lng=en&nrm=iso>. access on 26 Oct. 2019.

JORGE, M. Biodigestores: uma inovação na gestão do lixo sólido e na produção de gás. **Pensamento & Realidade**, v. 19, n. 1, p. 75-99, 2006.

KELTON; SADOWSKI; SADOWSKI, A. *Simulation with Arena*. New York: McGraw-Hill, 1998.

KRETZER, S. G., NAGAOKA, A. K., MOREIRA, E. T., MORAES, I. R. G. DE., BAUER, F. C.. **Produção de biogás com diferentes resíduos orgânicos de restaurante universitário**. Revista Brasileira de Energias Renováveis On-Line, v. 5, n. 4. 2016.

LOURENÇO, JOAQUIM CARLOS. **Gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de Campina Grande-PB**. 202 f. Doutorado em RECURSOS NATURAIS Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, Campina Grande Biblioteca Depositária: Biblioteca Central da UFCG. 2018

MEDEIROS, L. F. de; MOSER, A.; SANTOS, N. **A simulação computacional como técnica de pesquisa na Administração**. Revista Intersaberes, Uninter, v. 09, n. especial, p. 441-459, jul. Disponível em: <<https://uninter.com/intersaberes/index.php/revista/article/view/800>>. Acesso em: 25 Jun. 2019. 2014

MENEZES, D. C.; MÜLLER NETO, H. F.; BORGES, M. C.; SANDRI, A. D. Comportamento dos porto-alegrenses na separação do lixo residencial. **Revista de Administração da UFSM**, v. 7, n. esp, p. 129-140, 2014.

MONTEIRO, C. e al.. **A gestão municipal de resíduos sólidos e as ações de sustentabilidade: um estudo realizado em um município do centro oeste do Paraná**. urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana, Curitiba , v. 9, n. 1, p. 139-154, Apr. 2017 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-33692017000100139&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 18 Jun. 2019.

MORAES, J. L. D. **Os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos e sua implantação em município da Região Centro Sul do Ceará'** 126 f. Doutorado em GEOGRAFIA Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO (RIO CLARO), Rio Claro Biblioteca Depositária: IGCE/UNESP/Rio Claro. 2017.

NETO, T. J. P. A. **Política Nacional de Resíduos Sólidos: Os Reflexos nas Cooperativas de Catadores e a Logística Reversa**. Revista Diálogo, 18, 77-96. 2011

OLIVEIRA, P. A. V. de. Produção e aproveitamento do biogás. In: OLIVEIRA, P. A. V. de et al. Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: **Manual revista científica eletrônica de medicina veterinária: Gestão Integrada de Ativos Ambientais**. 2004. Cap. 4, p. 42-55.

OLIVEIRA, T. B., & GALVÃO JUNIOR, A.C. . **Planejamento municipal na gestão dos resíduos sólidos urbanos e na organização da coleta seletiva.** Eng Sanit Ambient. 21(1), 55-64. 2016.

OLIVEIRA, E. J. A. de; MOLICA, R. J. R.. **A poluição das águas e as cianobactérias.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Recife – IFPE. Recife: 2017. Disponível em: <<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/195/1/Cartilha%20a%20Polui%C3%A7%C3%A3o%20das%20C3%81guas%20IFPE.pdf>>. Acesso em: 27 Jan. 2021.

PASQUALI, L. . **Composição gravimétrica de resíduos sólidos recicláveis domiciliares no meio rural de Chopinzinho - PR /** Luiz Pasquali – 2012. 68 f. : il.; 30 cm. 2012

PEGDEN, C. D.; SHANON, R. E.; SADOWSKI, R. P. **Introduction to simulation using.SIMAN.**2nd ed. McGraw-Hill, 1995.

REIS, P. T. B. et al. . **Gestão de resíduos sólidos urbanos em municípios do Brasil: Uma revisão dos métodos de avaliação.** Revista Internacional de Ciências, Rio de Janeiro, 6(2), 137 - 146. 2016.

ROCHA A. C. et al. **Gestão de Resíduos Sólidos Domésticos na Zona Rural: A realidade do Município de Pranchita – PR.** Rev. Adm. UFSM, Santa Maria, Edição Especial, 5(4), 699-714, SET./DEZ. 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reaufsm%20/article/view/7657/pdf>>. Acesso em: 23 Jun. 2019.

SAGULA, A.L. Biodigestão anaeróbia de cama de frango em co-biodigestão com caldo de cana-de-açúcar. **Dissertação de Mestrado em Energia na Agricultura.** Universidade Estadual Paulista, Botucatu, p. 69, 2012.

SAMULAK, R.; BITTENCOURT, J., V., M.; PILATTI, L., A.; KOVALESKI, J., L. **Biodigestor Como Opção Para Tratamento de Resíduos Agroindustriais.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2011

SELURB, Sindicato das Empresas de Limpeza Urbana no Estado de São Paulo.. **Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana.** 2019. Disponível em: <https://selur.org.br/wp-content/uploads/2019/09/ISLU-2019-7.pdf>. Acesso em: 05 de Out.. 2020.

SILVA, A. R.; CIRANI, C. B. S.; SERRA, F. A. R. Desempenho Econômico e Ambiental: Práticas de EcoInovação em Biodigestores em Empresas Processadoras de Mandioca. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 5, n. 3, p. 72-86, 2016.

SILVA, E. **O impacto da gestão do tamanho da força policial na taxa de violência em Curitiba: Uma abordagem qualitativa sob o referencial da dinâmica de sistemas,** Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2006.

SILVA, Pedro Paulo de Lima et al. , **Dicionário brasileiro de ciências ambientais.** 2 ed., revista e ampliada. Rio de Janeiro, Thex. 2002.

SILVA R. A. et al. **A Gestão dos Resíduos Sólidos no Meio Rural: O Estudo de um assentamento da Região Nordeste do Brasil.** Gestão e Sociedade, Belo Horizonte, 8(20),

593-613. Disponível em: <<https://www.gestaoesociedade.org/gestaoesociade/article/view/1992/1089>>. 2014. Acesso em: 25 Jun. 2019.

SIMONETTO, E. O. et al. **Um modelo de dinâmica de sistemas para avaliação do reaproveitamento de resíduos eletrônicos na remanufatura de computadores em uma instituição de ensino superior.** *Exacta – EP*, São Paulo, 14(3), 385-402. 2016

SIMONETTO, E. O.; LOBLER, M. L. **Simulação baseada em System Dynamics para avaliação de cenários sobre geração e disposição de resíduos sólidos urbanos**, 24(1), 212-224. 2014

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos.** 2017. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2017>>. Acesso em: 27 Jun. 2019.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software.** 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

SOUSA, E. R. **Análise da gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de Salvador e os desafios ao cumprimento da Lei Federal nº 12.305 / 2010.** 2018. 145 f. Doutorado em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Social Instituição de Ensino: Universidade Católica do Salvador, Salvador Biblioteca Depositária: Universidade Católica do Salvador. 2018

STERMAN, J. **Business dynamics: systems thinking and modelling for a complex world.** Boston, MA: Irwin McGraw-Hill, 2000.

SVATOŠOVÁ, V. **Proposal and Simulation of Dynamic Financial Strategy Model.** *Future Studies Research Journal: Trends and Strategies*, 11(1), 84-101. 2019.

TAKAHASHI, Y., & TANAKA, N. **Strategic Decision Support for Startup Company Using System Dynamics: an online startup company's case.** School of Commerce, Senshu University Faculty of Economics, Gakushuin University. 2016.

TCE/RS - **Tribunal de Contas do Estado do Rio Grande do Sul. 2017. Orientação Técnica Serviços de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares.** Disponível em: <http://www1.tce.rs.gov.br/portal/page/portal/tcers/publicacoes/orientacoes_gestores>. Acesso em: 26 mai. 2019.

VENTANA SYSTEMS. *Vensim Simulation Software.* Available at: <http://www.vensim.com>. Acessado em fev, 2016.

WINZ, I., BRIERLEY, G.,; TROWSDALE, S. **The Use of System Dynamics Simulation in Water Resources Management.** *Water Resources Management*, 23, 1301-1323. 2008.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

APÊNDICE

O presente roteiro de entrevista semiestruturada integra a dissertação de Mestrado denominado: “AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS NA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES NA ZONA RURAL - UMA ABORDAGEM UTILIZANDO DINÂMICA DE SISTEMAS” tendo como objetivo realizar coleta de informações e validação das fontes e referências de pesquisa.

Mestrando: Ruan Brum Caramês.

Orientador: Prof. Dr. Eugênio de Oliveira Simonetto

Questionamentos:

1 – Quais as condições do resíduo sólido domiciliar nas localidades de Umbu e Capela do Saicã?

2 – Quais as principais formas de descarte do resíduo sólido domiciliar localidades de Umbu e Capela do Saicã?

3 – Existe algum projeto por parte da administração municipal para gestão do resíduo sólido domiciliar nas localidades de Umbu e Capela do Saicã?

4 – As comunidades das localidades de Umbu e Capela do Saicã entendem a gravidade do problema?

5 - Existe cobrança aos gestores municipais sobre a necessidade de coleta e tratamento do resíduo sólido domiciliar?

6 – A administração municipal tem consciência do problema e do descumprimento legal por não promover políticas públicas voltadas a coleta e destinação do resíduo sólido domiciliar no meio rural?