

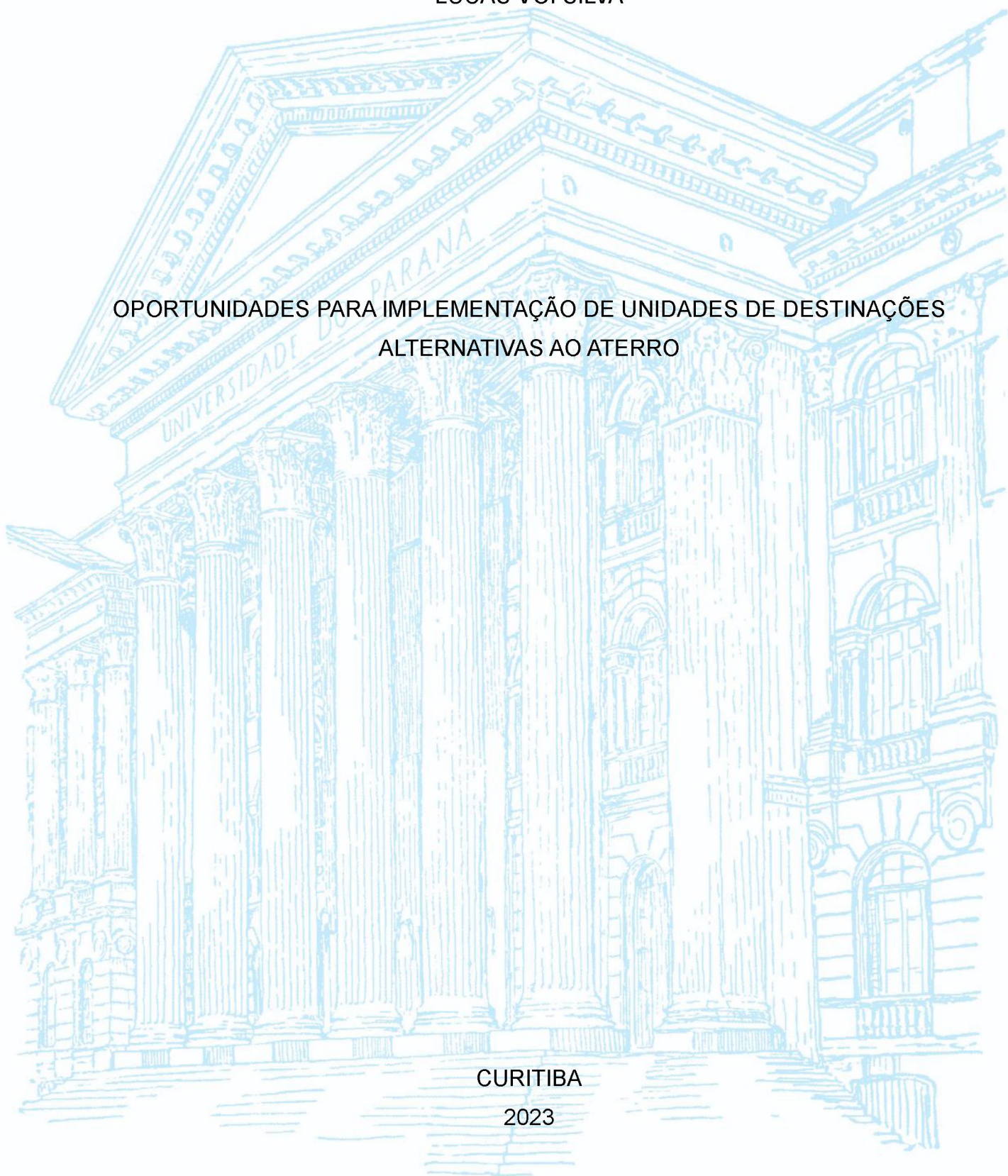
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS VOI SILVA

OPORTUNIDADES PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UNIDADES DE DESTINAÇÕES
ALTERNATIVAS AO ATERRO

CURITIBA

2023



LUCAS VOI SILVA

OPORTUNIDADES PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UNIDADES DE DESTINAÇÕES
ALTERNATIVAS AO ATERRO

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em parceria com a Universidade de Stuttgart e do Sistema Nacional de Aprendizagem Industrial do Paraná (SENAI), como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientadora: Profa. Dra. Margarete Casagrande Lass Erbe

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Silva, Lucas Voi

Oportunidades para implementação de unidades de destinações alternativas ao aterro / Lucas Voi Silva. – Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Margarete Casagrande Lass Erbe

1. Gestão – resíduos sólidos industriais. 2. Reciclagem. 3. Compostagem. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial. III. Erbe, Margarete Casagrande Lass. IV . Título.

Bibliotecário: Leticia Priscila Azevedo de Sousa CRB-9/2029

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **LUCAS VOI SILVA** intitulada: **Oportunidades para implementação de unidades de destinações alternativas ao aterro**, sob orientação da Profa. Dra. MARGARETE CASAGRANDE LASS ERBE, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.


CURITIBA, 14 de Abril de 2023.

Assinatura Eletrônica

22/04/2023 21:03:51.0

MARGARETE CASAGRANDE LASS ERBE


Presidente da Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **EDUARDO FELGA GOBBI**
Data: 12/03/2024 11:26:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

25/04/2023 21:09:06.0

EDUARDO FELGA GOBBI

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Documento assinado digitalmente
 **ELOY FASSI CASAGRANDE JUNIOR**
Data: 12/03/2024 10:05:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

24/04/2023 20:43:18.0

ELOY FASSI CASAGRANDE JUNIOR

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Nada se faz do nada, nada se faz sozinho. Agradeço à minha família pelo apoio e pela viagem que me trouxeram até aqui, em especial à Josiane, Amauri, Renata e Rafael. Às minhas professoras e professores pelos ensinamentos – principalmente à minha orientadora, Professora Margarete Casagrande Lass Erbe. Aos meus tantos mestres, amigos e colegas que percorrem este caminho comigo, dentre eles não posso deixar de mencionar, Rossana Baldanzi, Ivonete Chaves, Alessandra Nakamura e Altamir Hacke. Ao apoio técnico, emocional e mental infinitamente importantes de Roberta Agnoletto Horvath, Rodrigo Bradasch Osternack, Renan Elias, Julia Maressa e Mariana Albuquerque. A todos que oram e cuidam por mim - visíveis ou não. Agradeço à todas e todos.

Aos amigos Caetano Pires Tossulino, Aerin Maguian Sezoski Solak, Gian Carlo Teixeira Leite, Barbara Tamin, Adriano Iwaya Taques, Felipe Alves, Marcus Paulo dos Santos Freitas, Matheus Kich, Glauco Teixeira Leite, Marcus Paulo dos Santos Freitas, Matheus Kich, Philipe, Tiago da Silva Pereira, Bruno Ribeiro da Silva, Murilo, Renan, Ricardo Storniolo, Marcos Begh, Belo e Britinha.

Resta aqui minha aspiração para que este trabalho promova impactos sociais e ambientais positivos e, de alguma forma, direta ou indiretamente, traga benefício aos seres. Possa este trabalho ampliar nossa visão e promover o respeito aos diversos mundos que se revelam ou não a nós.

RESUMO

A gestão de resíduos sólidos urbanos é amplamente estudada. Entretanto, apesar de sua geração elevada e grande complexidade em seu gerenciamento, há poucas informações disponíveis sobre os fluxos de destinação de Resíduos Sólidos Industriais (RSI). De acordo com o que está disposto na Política Nacional de Resíduos Sólidos, há uma ordem de prioridade na gestão dos resíduos para garantir destinações ambientalmente mais favoráveis. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi identificar oportunidades para implementação de unidades de destinação alternativas ao aterro para RSI. Para isto, realizou-se um levantamento das tecnologias de destinações, caracterizou-se fluxos de destinação dos RSI no Paraná e, por fim, foram identificadas regiões onde há demanda por destinações alternativas para cinco grupos de resíduos de interesse distintos - compostagem, biodigestão, reciclagem, coprocessamento e recuperação energética. Foram utilizados os dados do Inventário de Resíduos Sólidos Industriais do Estado para o ano de 2020. Como resultado foi possível identificar as principais atividades geradoras destes grupos de resíduos (indústrias alimentícias e de papel e celulose) e as principais regiões para implementação de unidades de destinação final (Norte do Paraná e regiões ao redor dos Municípios de Maringá e Curitiba). Concluiu-se, ainda, que a melhoria nas nomenclaturas nas plataformas adotadas pelo órgão ambiental estadual deve ser realizada para melhorar a gestão de resíduos no Estado.

Palavras-chave: Resíduos sólidos industriais. Reciclagem. Coprocessamento. Compostagem. Biodigestão. Inventário de resíduos industriais.

ABSTRACT

Urban solid waste management is widely studied. However, despite its high generation and great complexity in its management, there is little information available on industrial solid waste (ISR) disposal flows. According to the provisions of the Brazilian National Solid Waste Policy, there is an order of priority in waste management to ensure environmentally more favorable destinations. Thus, the objective of this work was to identify opportunities for the implementation of alternative destination units to the landfill for ISR. For this, a survey of destination technologies was carried out, ISR destination flows in Paraná were characterized and, finally, regions were identified where there is demand for alternative destinations for five different groups of waste of interest - composting, biodigestion, recycling, co-processing and energy recovery. Data from the State Industrial Solid Waste Inventory for the year 2020 were used. As a result, it was possible to identify the main activities that generate these groups of waste (food and pulp and paper industries) and the main regions for the implementation of disposal units end (North of Paraná and regions around the cities of Maringá and Curitiba). It was also concluded that the definition of terms and improvements in the platforms adopted by the state environmental agency must be carried out to improve waste management in the State.

Keywords: Industrial waste. Recycling. Co-processing. Composting. Anaerobic digestion. Industrial waste inventory.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DE RSI NO PARANÁ.....	27
FIGURA 2 - SIMBOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO DE PRODUTOS E MATÉRIAS-PRIMAS PLÁSTICAS.....	32
FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE CIMENTO POR MEIO DE CLINQUERIZAÇÃO EM FORNOS ROTATIVOS.....	42
FIGURA 4 - TAXA DE EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO OU DE TEMPERATURA NO DECORRER DO TEMPO.....	53
FIGURA 5 - ATIVIDADE DE COMPOSTAGEM.....	55
FIGURA 6 - DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	58
FIGURA 7 - BIODEGRADAÇÃO EM ATERROS.....	63
FIGURA 8 - PERFIL DE COMPOSIÇÃO DO LIXIVIADO DURANTE OS ESTÁGIOS DE BIODEGRADAÇÃO.....	65
FIGURA 9 – SISTEMA DE DRENAGEM DE LIXIVIADOS.....	66
FIGURA 10 - PERFIL DE COMPOSIÇÃO DO GAS DE ATERRO DURANTE OS ESTÁGIOS DE BIODEGRADAÇÃO.....	67
FIGURA 11 – DRENO DE GASES DE ATERRO.....	69
FIGURA 12 - CORTE VERTICAL DE PROJETO DE ATERRO PARA RESÍDUOS SÓLIDOS PERIGOSOS.....	73
FIGURA 13 - MAPA DE DENSIDADE DE GERAÇÃO DE RSI DISPOSTOS EM ATERRO NO ESTADO DO PARANÁ.....	95
FIGURA 14 - MAPA DE DENSIDADE DE GERAÇÃO DE RSI GRUPO I DISPOSTOS EM ATERRO NO ESTADO DO PARANÁ.....	98
FIGURA 15 - MAPA DE DENSIDADE DE GERAÇÃO DE RSI GRUPO II DISPOSTOS EM ATERRO NO ESTADO DO PARANÁ.....	101
FIGURA 16 - MAPA DE DENSIDADE DE GERAÇÃO DE RSI GRUPO III DISPOSTOS EM ATERRO NO ESTADO DO PARANÁ.....	104
FIGURA 17 - MAPA DE DENSIDADE DE GERAÇÃO DE RSI GRUPO IV DISPOSTOS EM ATERRO NO ESTADO DO PARANÁ.....	106
FIGURA 18 - MAPA DE DENSIDADE DE GERAÇÃO DE RSI GRUPO V DISPOSTOS EM ATERRO NO ESTADO DO PARANÁ.....	109

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – CLASSIFICAÇÃO NORMATIVA DE RESÍDUOS UTILIZADAS NO PARANÁ.....	22
QUADRO 2 – CUSTOS COM DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS NO PARANÁ.....	29
QUADRO 3 - CATEGORIZAÇÃO DE PORTES DE EMPREENDIMENTOS NO PARANÁ.....	79
QUADRO 4 - RELAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O GRUPO I - RESÍDUOS COMPOSTÁVEIS.....	135
QUADRO 5 - RELAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O GRUPO II - RESÍDUOS COM POTENCIAL PARA DESTINAÇÃO PARA BIODIGESTÃO.....	136
QUADRO 6 – RELAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O GRUPO III – RESÍDUOS RECICLÁVEIS.....	136
QUADRO 7 – RELAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O GRUPO IV - RESÍDUOS PARA COPROCESSAMENTO	137
QUADRO 8 -RELAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O GRUPO V – RESÍDUOS PARA RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA	139

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – LICENÇAS INDUSTRIAIS DO PARANÁ POR MODALIDADE	84
TABELA 2 - QUANTIDADE DE LICENÇAS DE INDÚSTRIAS VIGENTES POR REGIONAL.....	85
TABELA 3 – LICENÇAS VIGENTES POR TIPOLOGIA INDUSTRIAL E PORTE.....	86
TABELA 4 - QUANTIDADE DE REGISTROS DE INVENTÁRIO DE RESÍDUOS POR ANO.	88
TABELA 5 – QUANTIDADE DE REGISTROS DO IRSI E TAXAS DE RESPOSTA POR PORTE	89
TABELA 6 – REGISTROS DE INVENTÁRIOS POR ATIVIDADE.....	89
TABELA 7 – RELAÇÃO DE UNIDADES DE COMPOSTAGEM POR REGIONAL E PORTE NO ESTADO DO PARANÁ	98
TABELA 8 - RELAÇÃO DE UNIDADES DE BIODIGESTÃO POR REGIONAL E PORTE NO ESTADO DO PARANÁ	101
TABELA 9 - RELAÇÃO DE UNIDADES DE BLENDAGEM POR REGIONAL E PORTE NO ESTADO DO PARANÁ.	107
TABELA 10 - QUANTIDADE DE RESÍDUOS DISPOSTOS EM ATERRO - RESÍDUOS COMPOSTÁVEIS (GRUPO I).....	145
TABELA 11 - QUANTIDADE DE RESÍDUOS DISPOSTOS EM ATERRO - RESÍDUOS BIODIGERÍVEIS (GRUPO II).....	148
TABELA 12 - QUANTIDADE DE RESÍDUOS DISPOSTOS EM ATERRO - RESÍDUOS RECICLÁVEIS (GRUPO III)	150
TABELA 13 - QUANTIDADE DE RESÍDUOS DISPOSTOS EM ATERRO - RESÍDUOS COPROCESSÁVEIS (GRUPO IV)	151
TABELA 14 - QUANTIDADE DE RESÍDUOS DISPOSTOS EM ATERRO - RESÍDUOS PARA RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA (GRUPO V).....	154

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – FLUXOS DE DESTINAÇÃO DOS RSI INVENTARIADOS	94
GRÁFICO 2 - QUANTIDADES DISPOSTAS EM ATERRO POR GRUPO E TOTAL ..	96
GRÁFICO 3 – FLUXOS DE DESTINAÇÃO DOS RSI DE INTERESSE GRUPO I (COMPOSTÁVEIS)	97
GRÁFICO 4 - FLUXOS DE DESTINAÇÃO DOS RSI DE INTERESSE GRUPO II (BIODIGERÍVEIS)	100
GRÁFICO 5 - FLUXOS DE DESTINAÇÃO DOS RSI DE INTERESSE GRUPO III (RECICLÁVEIS)	103
GRÁFICO 6 - FLUXOS DE DESTINAÇÃO DOS RSI DE INTERESSE GRUPO IV (COPROCESSÁVEIS).	105
GRÁFICO 7 - FLUXOS DE DESTINAÇÃO DOS RSI DE INTERESSE GRUPO V (RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA)	108

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abrelpe	- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABTLP	- Associação Brasileira de Transporte e Logística de Produtos Perigosos
ANTT	- Agência Nacional de Transportes Terrestres
CEMA/PR	- Conselho estadual do meio ambiente do Paraná
Conama	- Conselho nacional do meio ambiente
CTF/APP	- Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais
DAA	- Destinação alternativa ao aterro
EEA	- European Environmental Agency
FIEP	- Federação das Indústrias do Estado do Paraná
FIESP	- Federação das Indústrias de São Paulo
IAP	- Instituto Ambiental do Paraná
IAT	- Instituto Água e Terra
Ibama	- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IRSI	- Inventário de Resíduos Sólidos Industriais
LBRS	- Lista Brasileira de Resíduos Sólidos
ONU	- Organização das Nações Unidas
PERS	- Plano Estadual de Resíduos Sólidos
Planares	- Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PNRS	- Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSI	- Resíduos Sólidos Industriais
RSU	- Resíduos Sólidos Urbanos
SGA	- Sistema de Gestão Ambiental
Siema	- Sistema Nacional de Emergências Ambientais
Sinir	- Sistema nacional de informações sobre a gestão de resíduos sólidos
TCU	- Tribunal de Contas da União
US EPA	- United States Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVO GERAL	19
1.1.1 Objetivos específicos.....	19
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS (RSI).....	21
2.2 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS.....	23
2.3 DESTINAÇÕES DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS.....	27
2.3.1 Reciclagem.....	29
2.3.2 Coprocessamento	40
2.3.3 Compostagem	49
2.3.4 Biodigestão.....	57
2.3.5 Disposição final em aterros	61
2.4 INSTRUMENTOS DE CONTROLE E MONITORAMENTO.....	74
2.4.1 Licenciamento ambiental.....	74
2.4.2 Inventário de resíduos industriais.....	76
2.4.3 Classificação industrial.....	78
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	80
3.1 DETERMINAÇÃO DOS TIPOS DE RSI COM DESTINAÇÃO ALTERNATIVA AO ATERRO (RSIs DE INTERESSE).....	81
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FLUXOS DE DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS	83
3.2.1 DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE GERAÇÃO DE RSI DE INTERESSE DISPOSTOS EM ATERRO.....	83
3.2.2 DETERMINAÇÃO DE REGIÕES COM DEMANDA PARA INSTALAÇÃO DE UNIDADES DE DESTINAÇÃO ALTERNATIVA AO ATERRO	84
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84

4.1 INVENTÁRIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS	87
4.2 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS (RSI) DE INTERESSE.....	91
4.3 CARACTERIZAÇÃO DE FLUXOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS	93
4.3.1 GRUPO I (RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS COMPOSTÁVEIS)	97
4.3.2 GRUPO II (RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS BIODIGERÍVEIS)	99
4.3.3 GRUPO III (RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS RECICLÁVEIS)	102
4.3.4 GRUPO IV (RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS COPROCESSÁVEIS).....	104
4.3.5 GRUPO V (RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS PARA RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA).....	107
4.4 DISCUSSÃO	109
5 CONCLUSÃO	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
APENDICE 1 – GRUPOS DE RESÍDUOS	135
APÊNDICE 2 – ATIVIDADES INDUSTRIAIS	141
APÊNDICE 3 – MUNICÍPIOS E QUANTIDADES DE RESÍDUOS DISPOSTOS EM ATERRO PARA CADA GRUPO EM RAIO DE 100 KM.....	145
ANEXO 1 – RESÍDUOS ESPECÍFICOS CONSTANTES NO SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL – IAT	156
ANEXO 2 – RELAÇÃO DE MUNICÍPIOS POR ÁREA DE ABRANGÊNCIA	160

1 INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), criada pela Lei nº 12.305/2010, representa um marco legal na política ambiental brasileira. Ao instituir ferramentas de gestão e controle - como os planos, inventários e sistemas de logística reversa - estabeleceu o enfrentamento à arbitrariedade quanto ao gerenciamento de resíduos no país, em especial em relação à disposição em lixões. Diversas transformações ocorreram no setor desde sua implementação. O reconhecimento e a valorização dos catadores de materiais recicláveis como agentes essenciais para a cadeia de resíduos, a implementação dos sistemas nacionais de informação para o monitoramento de resíduos sólidos urbanos, a implementação de sistemas de logística reversa e o conceito de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos foram alguns dos aspectos fortalecidos desde então.

Apenas no ano do decênio da sua instituição foi aprovado o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), por meio do Decreto Federal nº 11.043/2022. O Planares é essencial para a gestão e gerenciamento do tema no país, uma vez que providencia o diagnóstico da situação e propõe metas, diretrizes e instrumentos legais para sua execução.

Nestes dez anos, a extinção dos lixões e de destinações ambientalmente inadequadas teve avanços tímidos. Apesar da quantidade relativa de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) com disposição inadequada ter reduzido de 42,4% a 39,8% nesta década, a sua quantidade em absoluto teve um aumento de 31,8%, atualmente 30.277.390 t./ano (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE, 2010; ABRELPE, 2021). Ainda, o prazo para a extinção dos lixões foi recentemente alterado por meio do novo marco do saneamento pela Lei Federal nº 14.026/2020, alterando o que dispunha a PNRS sobre a implementação da disposição final ambientalmente adequada, cedendo prazos entre 2021 e 2024 para seu cumprimento (BRASIL, 2020).

É estimado que apenas 1.570.000 t. de RSU foram reciclados em 2019, representando cerca de 5,2%. Apesar de relativamente reduzida, a reciclagem destas frações é muito significativa, uma vez que viabiliza o sustento de camadas sociais com menor poder aquisitivo e que executam trabalhos essenciais para a sustentabilidade da cadeia. Estima-se que existam hoje, no Brasil, cerca de 600 mil catadores ou

trabalhadores de triagem autônomos ou organizados em 10.413 associações ou cooperativas (ANCAT, 2020).

Além da gestão e gerenciamento de RSU, a política nacional abrangeu aspectos importantes para os gerados em outras fontes. Os Resíduos Sólidos Industriais (RSI), além de apresentarem características de maior complexidade em seu gerenciamento e possuírem diferentes tipos de periculosidade, possuem evidências de que sua geração representa pelo menos a metade comparada ao urbano.

No ano de 2015 foram dispostos em aterros sanitários, industriais ou lixões 1.379.562 t. de RSI de, no que pese a baixa representatividade, apenas 252 empreendimentos inventariados, de acordo com o Relatório da Situação do Inventário de Resíduos Sólidos Industriais no Estado do Paraná. Enquanto que foram dispostos, segundo o informado na plataforma do SNIS, 2.460.036 t. de RSU proveniente de 164 municípios no Estado (PARANÁ, 2016; SNIS, 2023).

Na União Europeia, a geração de RSI representou 130% da geração de RSU em 2018 (EUROSTAT, 2021). Já no Brasil houve uma geração de 52.493.673 t. de RSU nos 3.556 municípios respondentes ao Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR) em 2019, por outro lado, a geração de RSI foi de 208.052.211 t. por 22.944 indústrias inventariadas constantes no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP), representando cerca de quatro vezes mais peso gerado (CTF/APP, 2020; SNIS, 2022). O contraste destes dados é ampliado ao levar em consideração que 64% dos municípios concederam informações sobre sua geração de RSU ao SNIS neste levantamento, enquanto que, segundo os dados do Ministério do Trabalho, o Brasil possuía 330.801 indústrias de transformação em 2017, sendo 10.149 de porte médio ou grande (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DE SÃO PAULO – FIESP, 2019).

O Estado do Paraná tem como meta a redução em 10% da disposição final de RSI em aterros sanitários ou industriais para 2023 e em 30% até 2038, com base nos dados de 2016 (PARANÁ, 2018). Já o Plano Nacional de Resíduos Sólidos de 2012 tinha como meta a redução da disposição final de RSI de 10% até 2015 e de 70% até 2031 com base no Inventário Nacional de Resíduo Sólidos de 2014 (PLANARES, 2012). Entretanto, a atualização do Planares em 2022 não lista metas a serem cumpridas com relação aos RSI gerados. Uma das justificativas para tal foi o insucesso do uso do Inventário de Resíduos como ferramenta para obtenção de

informações relativas ao RSI, dificultando a avaliação sobre o atendimento ou não de metas constantes nos planos (PLANARES, 2022).

A disposição em aterro é a mais utilizada devido ao seu relativo baixo custo. Entretanto, resulta uma série de riscos - possibilidade de incêndios, geração de metano e gás carbônico, eventuais contaminações do solo, águas subterrâneas e superficiais quando operados de forma irregular. A instalação de aterros exige áreas relativamente grandes que, a longo prazo, geram prováveis passivos ambientais de complexo gerenciamento, uma vez que há possibilidade de percolação do lixiviado mesmo após seu encerramento (VAVERKOVA, 2019; IRAVANIAN; RAVARI, 2020).

Ao considerar a ordem de prioridade do gerenciamento estabelecida pela PNRS - não geração, a redução, seguido da reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e, só então, disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos - a forma de destinação parte a levar em conta outras características como o aproveitamento de sua composição material, valor energético e seu potencial socioeconômico (PNRS, 2010).

A compostagem resulta na redução da geração de lixiviados e metano nos aterros, uma vez que consome fração orgânica. Esta alternativa também reduz a dependência de fertilizantes minerais e provenientes do mercado externo, uma vez que gera produtos com potencial agrícola, reconhecida pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) como fertilizantes viáveis e considerada como estratégica pelo Plano Nacional de Fertilizantes (PNF) (BRASIL, 2010; SEA, 2021).

A fração orgânica pode ser ainda consumida em processos de biodigestão, gerando potencial agrícola proveniente do digestato¹ e lodos resultantes e, ainda, diversificando a matriz energética por meio do aproveitamento de biogás. A biodigestão é uma tecnologia estabelecida em setores como o saneamento, agroindústrias e indústrias alimentícias. Programas como o PROBIOGÁS, que tem como objetivo ampliar o uso da biodigestão; a instalação de novas unidades e o estabelecimento de legislações específicas vêm recentemente expandindo a alternativa em oposição à disposição em aterro (PROBIOGÁS, 2016; SEDEST, 2012).

A reciclagem contempla grande diversidade de processos de transformação de resíduos em matérias primas, como nas indústrias de papel, papelão, vidros e

¹ Digestato é definido como o efluente de biodigestores resultante da decomposição da biomassa pelo processo de biodigestão anaeróbia de acordo com o disposto no Inciso VII do Art. 2º da Resolução SEDEST nº 08 de 23/02/2021.

metais. Constantemente novas tecnologias de reciclagem são desenvolvidas, garantindo alternativa de destinação para resíduos cada vez mais diversos. A redução de extração de matérias primas, a economia energética e a possibilidade de integração econômica de camadas mais fragilizadas da população são seus principais impactos positivos (BRASIL, 2010; PARKER *et al.*, 2015).

As destinações citadas são inviabilizadas quando há presença de hidrocarbonetos, solventes e outros contaminantes nos resíduos. Uma vez que a disposição em aterro nestes casos ocorre apenas em unidades licenciadas para recebimento de resíduos perigosos, o coprocessamento em fornos de clínquerização de cimento é uma alternativa para a destinação destes resíduos perigosos. Neste processo ocorre o aproveitamento da fração mineral ao incorpora-la ao cimento, evitando a extração primária, e a recuperação energética proveniente do poder calorífico dos resíduos destinados (GHOSH *et al.*, 2022; BRASIL, 2020; ABCP, 2020).

Frente ao exposto, a disposição em aterro de resíduos com possibilidade de destinação alternativa é o problema de pesquisa abordado neste trabalho. Deste modo, o trabalho propõe identificar oportunidades de implementação de unidades de destinações alternativas à disposição em aterros de resíduos sólidos industriais no Estado do Paraná a partir da ordem de prioridade no gerenciamento de resíduos disposta na PNRS.

1.1 OBJETIVO GERAL

Identificar oportunidades para implementação de unidades de destinação em substituição a aterro para resíduos sólidos industriais no Estado do Paraná.

1.1.1 Objetivos específicos

Tendo em vista o objetivo geral, os objetivos específicos do presente trabalho são os seguintes:

- a) Identificar que tipos de resíduos sólidos industriais possuem destinação alternativa ao aterro (RSI de Interesse);
- b) Caracterizar os fluxos de destinação de resíduos sólidos industriais (RSI) e RSI de interesse no Estado do Paraná;
- c) Identificar as áreas de geração dos RSI de Interesse dispostos em aterro no Estado do Paraná;

- d) Determinar quais regiões possuem demanda para instalação de unidades de destinação alternativa ao aterro no Estado do Paraná.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Em sequência, serão abordados os seguintes tópicos: Resíduos Sólidos Industriais (RSI), gerenciamento de resíduos sólidos industriais, destinações de resíduos sólidos industriais e instrumentos de controle e monitoramento.

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS (RSI)

A definição de RSI foi estabelecida por meio da Resolução Conama nº 313/2002, sendo todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semissólido, gasoso - quando contido - e líquido cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Estão nesta definição todos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição (BRASIL, 2002).

A PNRS classifica os resíduos em função de sua origem e de sua periculosidade. Sendo os perigosos definidos como os que apresentam inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade, mutagenicidade, significativo risco à saúde pública ou a qualidade ambiental (BRASIL, 2010).

A norma brasileira ABNT nº 10.004/04 determinou a metodologia para a classificação de resíduos em função dos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública como Classe I (perigosos), Classe IIA (não perigosos, não inertes) e Classe IIB (não perigosos, inertes). A classificação ocorre em função da presença de elementos e características que conferem periculosidade ou limitações ao manejo dos resíduos.

A classificação adotada pela Lista Brasileira de Resíduos Sólidos (LBRS), estabelecida pela IN IBAMA nº 13/12, é baseada na identificação do processo ou atividade de origem, assim como natureza material e também classifica o resíduo pela sua periculosidade. A LBRS é utilizada nos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente e Cadastros Técnicos geridos pelo IBAMA e possui uma metodologia própria para seu uso.

A classificação constante na Resolução ANTT nº 5.232/16 é utilizada no transporte de resíduos e usa como referência o número ONU do *Orange Book* das Nações Unidas. Nela é definida a classe de risco associada ao material perigoso, possuindo critérios específicos para cada. As nove classes de risco são: explosivos; gases; líquidos inflamáveis; sólidos inflamáveis; Substâncias sujeitas à combustão espontânea; substâncias que, em contato com água, emitem gases inflamáveis; substâncias oxidantes e peróxidos orgânicos; substâncias tóxicas e substâncias infectantes; material radioativo; substâncias corrosivas e substâncias e artigos perigosos diversos.

Não há descrições específicas para os resíduos segundo a classificação ONU. Estes devem ser classificados em função das matérias utilizadas ou com semelhanças a outros produtos. A falta de uma descrição específica sobre os resíduos pode reduzir a precisão de sua identificação e aumentar a possibilidade de classificações incorretas ocorrerem por parte dos responsáveis. Desta forma aumentando o risco associado ao atendimento a emergências ambientais potencializando a degradação ambiental e colocando em risco a segurança dos envolvidos (ABTLP, 2018).

O Instituto Água e Terra (IAT), órgão ambiental estadual do Paraná, utiliza nomenclatura própria para a classificação em sua plataforma de gestão ambiental (SGA). A composição da lista de resíduos específicos do IAT foi construída a partir dos dados inseridos nas licenças ambientais dos empreendimentos. Apesar de haver lista própria, estes dados são informados junto ao código da LBRS do IBAMA. Dessa forma, o responsável por inserir as informações de um empreendimento no sistema tenha que realizar a classificação a partir das diferentes bases de dados. O

QUADRO 1 apresenta exemplos de nomenclaturas utilizadas nas formas de classificação descritas anteriormente.

QUADRO 1 – CLASSIFICAÇÃO NORMATIVA DE RESÍDUOS UTILIZADAS NO PARANÁ.

Exemplos	ABNT nº 10.004/04	Lista Brasileira de Resíduos Sólidos (IBAMA)	Resíduo Específico (SGA-IAT)
Resíduos perigosos	F008 - Lodos provenientes do fundo de tanques de banhos galvanoplásticos nos quais foram usados cianetos, F130 – Óleo lubrificante usado ou contaminado, K023 – Frações leves de destilação originadas na produção de anidrido ftálico a partir do naftaleno.	01 03 05* - Outros rejeitados contendo substâncias perigosas, 05 01 11* - Resíduos da limpeza de combustíveis com bases, 06 04 04* - Resíduos contendo mercúrio.	Plástico Contaminado, Resíduos diversos contaminados, exceto plástico, Embalagens vazias de agrotóxicos não lavadas.

Exemplos	ABNT nº 10.004/04	Lista Brasileira de Resíduos Sólidos (IBAMA)	Resíduo Específico (SGA-IAT)
Resíduos não perigosos	A001 - Resíduo de restaurante (restos de alimentos), A005 - Sucata de metais não ferrosos (latão etc.), A009 – Resíduos de madeira, A099 – Outros resíduos perigosos.	06 11 01 - Resíduos cálcicos de reação da produção de dióxido de titânio, 06 13 03 Negro de fumo, 07 02 13 – Resíduos e refugos de plástico.	Cerveja destinada a tratamento externo, Materiais diversos não contaminados para disposição final em aterro industrial classe II, CaCO_3 .
Outros resíduos	F018 - Lodos originados no sistema de tratamento de efluentes líquidos da pintura industrial, F044 – Lâmpada com vapor de mercúrio após o uso.	10 08 15 (*) - Poeiras de gases de combustão contendo substâncias perigosas, 10 09 99 - Outros resíduos não anteriormente especificados.	Borra de Limpeza de Ralo, Efluente Líquido Industrial, Fibras, Mistura de Resíduos Sólidos de Indústrias Moveleiras, finos de pó, casca picador, materiais absorventes.

FONTE: Adaptado de ABNT (2004), IBAMA (2013) e PARANÁ (2022).

É possível observar que tanto a classificação ABNT quanto da LBRS do IBAMA classifica o resíduo quanto a sua periculosidade, ao contrário da lista do IAT. Outro aspecto negativo relativo aos resíduos do IAT é que há resíduos com descrições muito específicas enquanto que, para outros, ela é bastante genérica.

2.2 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

A destinação de resíduos sólidos partiu da simples disposição em lixões para um conjunto amplo de alternativas como reuso, reciclagem, incineração, disposição em aterros com aproveitamento energético, coprocessamento, compostagem ou digestão anaeróbia (WILLIAMS, 2005). Todas estas destinações possíveis, somadas suas atividades auxiliares, constituem o gerenciamento de resíduos sólidos (GRS), disposto pela PNRS como sendo a coleta, transporte, transbordo, tratamento, destinação e disposição final de rejeitos (PNRS, 2010). Para a EPA, agência ambiental estados unidense, o GRS tem como objetivo a proteção do meio ambiente e a promoção de melhores condições nas sociedades ao redor do mundo (EPA, 2020).

Um dos princípios mais importantes do GRS é a ordem de prioridade na destinação, disposto pelo Art. 9º da PNRS, constituída por não geração, redução, seguido da reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e, por último, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

A redução e a não geração estão no topo da hierarquia. Quais podem ser exercidas por meio do uso de tecnologias e processos produtivos que necessitem de

menor quantidade de materiais ou que os aproveitem de forma mais eficiente. Assim, a redução da quantidade de resíduos gerados na fonte reduz a necessidade de extração de matérias-primas, energia, água e consequentemente, recursos financeiros. Esta estratégia frequentemente está vinculada com o desenvolvimento de adaptações, novas tecnologias ou, ainda, com a confecção de produtos que sejam mais duráveis. A redução de volume e da periculosidade também é contemplada neste conceito e constitui um dos objetivos específicos da PNRS (BRASIL, 2010; EPA, 2020; WILLIAMS, 2005).

A reutilização pode ocorrer dentro do mesmo processo produtivo ou para um fim distinto do qual aquele material foi gerado, como a reutilização de pneus inservíveis ou tiras de pneus como amortecedores de embarcações marítimas, trapiches ou outras estruturas de engenharia naval. Processos como higienização, descondicionamento e armazenamento temporário são etapas de gerenciamento associados a esta estratégia (WALLINGFORD, 2005).

A reciclagem é definida como a alteração de propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas de resíduos, o convertendo em um novo produto ou insumo (PNRS, 2010). Sucatas metálicas, assim como papel, papelão e seus subprodutos são materiais comumente reciclados, apesar de estes dois últimos não o poderem indefinidamente devido a desconfiguração de suas fibras. A produção de materiais de alumínio por meio da reciclagem economiza cerca de 90% da energia utilizada em comparação ao seu processo convencional. A reciclagem de plástico, vidros, óleo lubrificante usado, pilhas, baterias e resíduos eletrônicos também ocorre por meio de diferentes tecnologias (EPA, 2020).

A reciclagem é condicionada à sua viabilidade financeira, uma vez que o consumo destes materiais só ocorre quando há demanda de mercado pelo produto final. A viabilidade econômica da reciclagem depende de fatores como a distribuição geográfica dos pontos de geração de resíduos; facilidade de transporte, coleta, tratamento e identificação dos resíduos; compatibilidade tecnológica com as alterações nos processos produtivos; qualidade dos materiais; viabilidade técnica e legislação pertinente. Os preços e a qualidade dos produtos gerados a partir da reciclagem devem ser suficientemente competitivos, ainda, com os gerados pelos métodos convencionais para garantir sua viabilidade (PARKER *et al.*, 2015).

O tratamento de resíduos consiste na estratégia de reduzir o volume ou periculosidade dos resíduos por meio de processamento físico - como a trituração ou

triagem de resíduos para posterior reciclagem; ou químico - como a estabilização de resíduos biodegradáveis por meio de tratamento mecânico biológico. A Resolução CONAMA nº 313/2002 considera tratamento também os processos de incineração, compostagem e biodigestão anaeróbia (BRASIL, 2002; FIRMO *et al.*, 2019; EPA, 2020).

Em último lugar na hierarquia do GRS está a disposição final de rejeitos. Esta alternativa deve ocorrer em unidades adequadas, que possuam impermeabilização de solo, tratamento de lixiviado e coleta seguida de queima ou aproveitamento energético dos gases gerados na decomposição dos resíduos (PARANÁ, 2014; EPA, 2020 e ABNT, 1992). Apenas o resíduo que não pode ter sua geração evitada, sido reciclado ou reaproveitado de outra forma deve ser destinado à esta alternativa. O uso da terminologia “rejeito” ao invés de “resíduo” para se referir à disposição ocorre uma vez que é considerado rejeito apenas o material que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Conforme se opta pelas alternativas de menor prioridade de gestão, aumenta-se o impacto climático por meio da emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera. Uma vez que a matéria ou energia dos resíduos são recuperados ou reinseridos na cadeia produtiva, o GRS é um instrumento que vai de encontro com o conceito de economia circular. O crescimento econômico também é favorecido ao se utilizar da economia circular através de destinações alternativas ao aterro, uma vez que toda uma cadeia de gerenciamento é necessária. O que estimula a implementação de novos empreendimentos e serviços; a promoção da inovação nos processos produtivos e nos serviços; o aumento da disponibilidade e redução de custos das matérias primas, devido ao incremento de eficiência nos processos geradores e produção a partir da reciclagem e demais ganhos ambientais relacionados com o uso do solo, redução de riscos relativos a contaminações (FIRMO *et al.*, 2019; FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO PARANÁ (FIEP), 2019; MISTURINI, 2016).

Diversas iniciativas industriais têm implementado a economia circular e o GRS com êxito. Como a implementação de centrais de resíduos, que são unidades que reúnem destinações alternativas à disposição em uma mesma unidade, eventualmente associadas também à aterros, como o caso da SOLVI ESSENCIS em Curitiba/PR, CTR ITAMBÉ em Itambé/PR, KURICA AMBIENTAL em Londrina/PR ou

VEOLIA em Blumenau/SC. Outro exemplo é a implementação de parques industriais que operam através da lógica da ecologia industrial, como o Aquapolo em São Paulo/SP, que garante água tratada para reuso no Polo Petroquímico de Capuava e indústrias da Região do ABC Paulista, ou o Ecoparque de Relvão, em Portugal, que realiza em um mesmo parque industrial a geração e a reciclagem ou reaproveitamento de resíduos como sucatas, plásticos, lodos, cinzas e baterias. (AQUAPOLO, 2023; KORTX, 2018)

O critério de proximidade entre a fonte geradora e o local de destinação é um importante princípio do GRS, uma vez que é reduzido o impacto climático e financeiro quanto mais próximos. Medidas como restrição de transporte entre Estados, importação e exportação de resíduos são instrumentos deste princípio. A sua aplicação garante que certas regiões desenvolvam soluções para a destinação, evitando a exportação do ônus de sua disposição e reduzindo riscos relacionados ao transporte. Por ser também uma característica que influencia diretamente a viabilidade financeira, o critério da proximidade é um dos mais relevantes para a instalação de empreendimentos de GRS (BAHERS; DURAND, 2020).

Outro aspecto importante para a efetividade de um sistema de gerenciamento de resíduos é a caracterização dos fluxos por meio da identificação de suas fontes, quantidades, classificação e respectivas destinações. A caracterização auxilia os responsáveis a implementar estratégias de gerenciamento para atingir os objetivos traçados nas políticas de gestão. A identificação das fontes geradoras contribui para a instalação de serviços do setor ajudando a garantir sua viabilidade financeira. A caracterização dos fluxos pode ser utilizada também para encontrar regiões específicas com alta disposição em aterros, que podem ser objeto de campanhas ou políticas específicas voltadas para a redução da geração (EPA, 2020).

Há diversos impactos negativos relacionados à saúde humana na ausência de um GRS eficiente. A contaminação da água, ar, solo ou alimentos representa um risco principalmente para populações que residem e trabalham em áreas onde resíduos são manejados ou dispostos. Há evidências suficientes que relacionam impactos na saúde à contato com contaminantes específicos, como poluentes orgânicos persistentes (benzeno, organoclorados, PCB e dioxinas) relacionados à asma, linfomas e câncer de fígado, bexiga e mama ou mesmo metais pesados relacionados à linfomas e câncer de fígado e bexiga (FAZZO, 2017). O manejo inadequado de resíduos pode ainda contribuir para a presença de vetores de doenças como mosquitos,

carrapatos e roedores causadores de doenças como dengue, Zikavírus e Chikungunya (CRUVINEL *et al.*, 2020), coriomeningite linfocítica ou encefalite (DUH *et al.*, 2017).

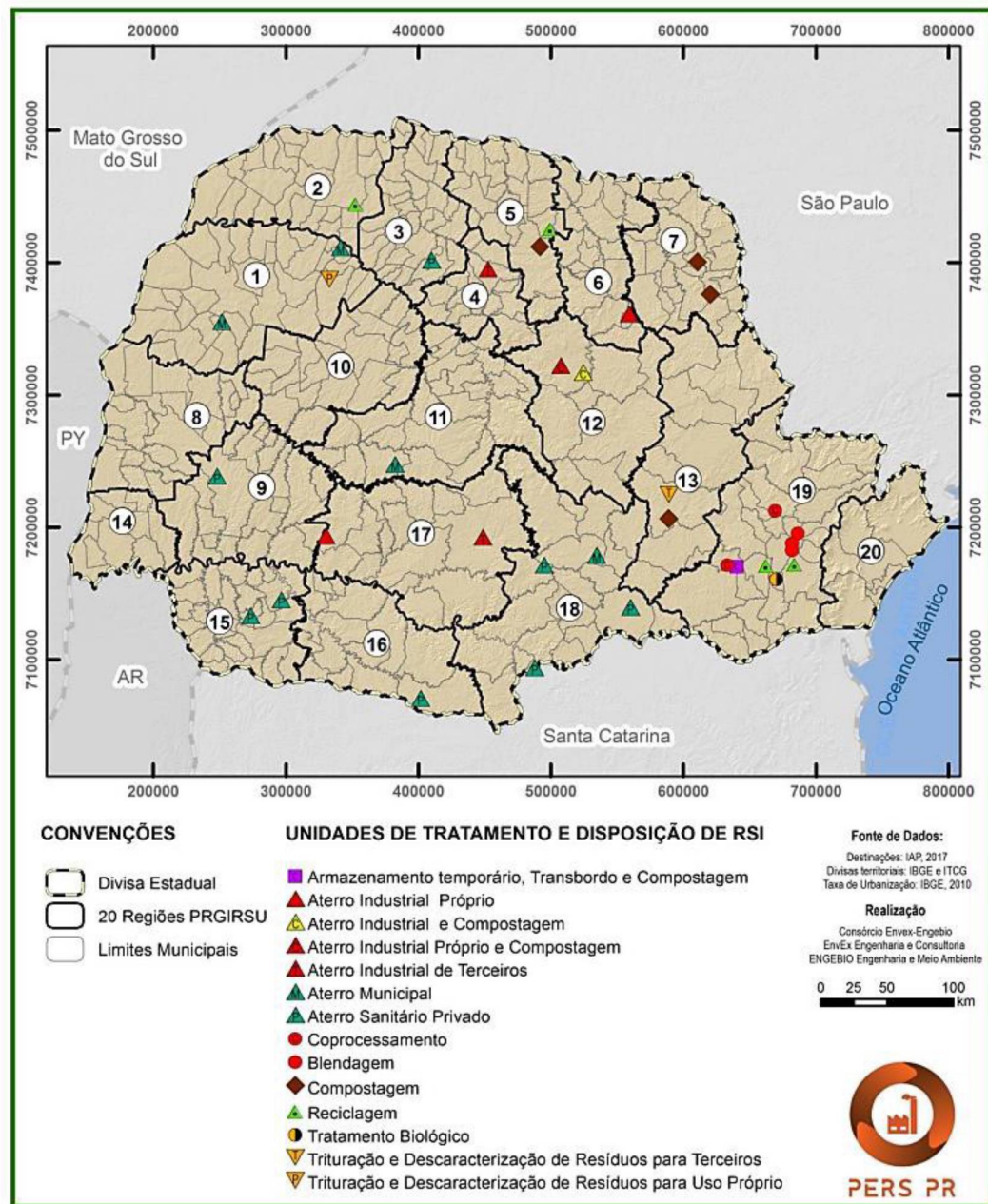
Segundo a Fundação Nacional de Saúde (2017), a coleta, acondicionamento e destinação adequada de resíduos reduzem, ainda, a ocorrência de doenças como peste, febre amarela, dengue, toxoplasmose, leishmaniose, cisticercose, Salmonelose, teníase, leptospirose cólera e febre tifóide.

2.3 DESTINAÇÕES DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

Após a implementação de medidas para evitar, reduzir e reutilizar resíduos sólidos, é necessário adotar uma abordagem adequada para sua destinação. Este capítulo tem como objetivo descrever as principais características das diferentes opções de destinação, bem como discutir as abordagens mais comumente adotadas e seus impactos positivos e negativos. A organização do capítulo segue a ordem de prioridade estabelecida pela PNRS.

No âmbito do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná (PERS), foi realizado em 2018 um levantamento da localização geográfica dos empreendimentos responsáveis pelo recebimento, tratamento e destinação de resíduos sólidos. A distribuição geográfica dessas unidades está ilustrada na FIGURA 1.

FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DE RSI NO PARANÁ



FONTE: PARANÁ (2018).

A distribuição geográfica das instalações de tratamento e disposição de resíduos no estado demonstra uma concentração significativa nas áreas metropolitanas (PARANÁ, 2018). Essa situação implica na necessidade de transporte dos resíduos entre diferentes regiões. É importante ressaltar que o transporte de resíduos acarreta custos associados aos serviços e ao consumo de combustíveis, além de aumentar os riscos de acidentes ambientais (BAHERS; DURAND, 2020).

Um dos fatores determinantes para os geradores na escolha da destinação final dos resíduos é a análise dos custos envolvidos na prestação do serviço. Os

custos médios de destinação de resíduos, conforme levantamento realizado no PERS em 2018, encontram-se no QUADRO 2.

QUADRO 2 – CUSTOS COM DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS NO PARANÁ

Atividade	Custo (R\$/t.)
Disposição final em aterro industrial Classe I	200,00 a 750,00
Disposição final em aterro industrial Classe II	150,00 a 200,00
Compostagem	60,00 a 120,00
Blendagem e coprocessamento	400,00 a 850,00
Tratamento biológico	250,00 a 400,00
Reciclagem	60,00 a 550,00

FONTE: Adaptado de Paraná (2018).

Os custos mais elevados estão relacionados à destinação para blendagem e coprocessamento de resíduos, sendo que esses custos variam de acordo com o poder calorífico dos materiais utilizados. Vale ressaltar que as cimenteiras estão localizadas exclusivamente na área de abrangência de Curitiba, o que pode dificultar a adoção dessas práticas nos empreendimentos localizados no interior do estado (PARANÁ, 2018).

No que se refere à reciclagem, é importante destacar que essa forma de destinação apresenta uma ampla variação nos custos, devido aos diferentes processos necessários para materiais como vidro, papel, plásticos, óleos lubrificantes, entre outros.

De acordo com o levantamento realizado no PERS, a destinação para compostagem tem custos inferiores à disposição em aterros sanitários. Estes dados revelam uma contradição, já que fração dos resíduos destinados para aterros sanitários podem ser biodegradados por meio da decomposição aeróbia (PARANÁ, 2018).

2.3.1 Reciclagem

A reciclagem é o processamento de materiais para a transformação em insumos ou novos produtos por meio da alteração das propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas (EPA, 2020). Segundo Weinrach (2002), a reciclagem interna ao processo (*in-process recycling*) ocorre quando há incorporação do material gerado fora de especificação em seu próprio ciclo. Este processo só é viável quando as características do processo produtivo e deste material são conhecidas e controladas

pelo próprio gerador. Vidros fora de especificação refundidos, aparas plásticas reincorporadas à matéria prima em indústrias de polímeros ou refundição de metais em metalúrgicas para incorporação em solo agrícola são exemplos. Ainda, segundo o autor, a reciclagem externa (*end-of-pipe recycling*). A reciclagem externa não exige obrigatoriamente o conhecimento profundo sobre o processo gerador, bastando atender os critérios do processo de destinação, como caracterização, ausência de contaminação ou condições relacionadas ao seu estado físico (WEINRACH, 2002; WILLIAMS, 2005).

PARKER *et al.* (2015) afirmam que as principais barreiras do setor de reciclagem são a pouca informação sobre os processos geradores dos resíduos, a falta de objetividade da legislação ambiental de estímulo à reciclagem, competição de mercado com produtos mais baratos e a baixa disponibilidade de mão de obra qualificada. Os principais ganhos ambientais da destinação para reciclagem são a redução do uso de matérias-primas pelo setor produtivo e da disposição de resíduos em aterros, resultando em ganhos por economizar energia e redução de emissões atmosféricas (PARKER *et al.* 2015).

Por ter composição material diversa, a reciclagem de RSU deve ocorrer apenas mediante triagem prévia. Os custos devidos a sua implantação, operação e manutenção são geralmente superiores às receitas auferidas com a venda dos resíduos a serem reciclados (FADE UFPE, 2014). Já a reciclagem de RSI pode ocorrer a partir da segregação na fonte amparadas por campanhas nos empreendimentos, além de treinamento e aplicações de planos de gerenciamento. Viabilizando, desta forma, a reciclagem na ausência e triagem prévia e reduzindo os custos da cadeia de destinação.

A seguir são abordados os métodos e características dos processos de reciclagem dos resíduos mais significativos no Estado do Paraná.

2.3.1.1 Reciclagem de resíduos plásticos

Os impactos positivos da reciclagem de resíduos plásticos são a redução do volume de resíduos destinado a aterros sanitários; economia de energia e petróleo devido à redução de demanda de produção de plásticos a partir de fontes naturais; geração de emprego e renda em unidades de reciclagem e de serviços auxiliares no GRS; disponibilidade de produtos plásticos de valor reduzido; melhoria no processo

de decomposição da matéria orgânica em aterros, uma vez que o plástico opera como impermeabilizante de camadas em decomposição, prejudicando a mobilidade de gases e líquidos no interior do aterro. Os plásticos são classificados em duas grandes categorias, os termofixos e termoplásticos. Os termofixos compõem cerca de 20% do mercado de plástico brasileiro e são caracterizados por não poderem ser submetidos a novos processos de modelagem ou de refundição sob temperatura. O plástico de baquelite, alguns poliuretanos (PU) e poli acetatos de etileno vinil (EVA), resinas fenólicas são exemplos de plásticos termofixos. A reciclagem destes materiais ocorre por meio de incorporação em cargas inertes após sua moagem, como condicionadores de asfalto ou outros plásticos (CEMPRE, 2018).

Os termoplásticos são os plásticos mais utilizados em embalagens, produtos domésticos, componentes eletrônicos e eletroeletrônicos, e são reciclados indefinidamente e de forma mais simples. Os termoplásticos adquirem moldabilidade quando submetidos ao aquecimento, quando fundem tem sua remodelagem viabilizada. O polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD), poli (cloreto de vinila) (PVC), poliestireno (PS), polipropileno (PP), poli tereftalato de etileno (PET) e as poliamidas (náilon) são exemplos de termoplásticos (WILLIAMS, 2005; CEMPRE, 2018).

Por frequentemente serem provenientes de produtos com outros tipos de materiais, como restos de alimentos, terra, vidro, papel, papelão ou plásticos diferentes, a reciclagem de plásticos necessita de etapas prévias de tratamento como segregação ou triagem quando provenientes de terceiros, mesmo quando provenientes de coleta seletiva. A reciclagem de plásticos provenientes de RSI possui a vantagem de a indústria poder implementar segregação de resíduos, garantindo um material homogêneo e de composição conhecida para ser reaproveitado. Entretanto, resta a necessidade de inspeção visual no recebimento das cargas de cada lote para evitar materiais indesejáveis nos lotes (CEMPRE, 2018).

A implementação da simbologia que identifica as resinas plásticas utilizadas na produção, implementada pela ABNT NBR nº 13.230/2008, é um dos instrumentos que facilita a triagem e segregação dos resíduos plásticos. Os símbolos são impressos nos materiais plásticos mantendo suas proporções, a numeração no interior do símbolo faz referência a composição majoritária no produto. A FIGURA 2 representa a simbologia de identificação de produtos e matérias plásticas utilizadas no Brasil.

FIGURA 2 - SIMBOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO DE PRODUTOS E MATÉRIAS-PRIMAS PLÁSTICAS



FONTE: ABNT NBR N° 13.230 (2008).

Foram produzidos cerca de 8,2 milhões de toneladas de termoplásticos no Brasil em 2019. Desta quantidade, 838.500 toneladas foram provenientes de resinas plásticas pós consumo recicladas, sendo 27% da produção apenas na região Sul. A composição destes plásticos é variada, entretanto, o PP, PEAD e PVC compõe praticamente metade da produção. O PEAD e o PVC são amplamente utilizados pelo setor de construção civil e o PP é utilizado em uma diversidade elevada de produtos, incluindo embalagens (ABIPLAST, 2021).

Este tipo de composição pode ser evitado a partir da concepção dos produtos, como o uso de mesmos tipos de plásticos para a maior parte das embalagens (ABIPLAST, 2019).

O processamento de resíduos plásticos ocorre de acordo com sua composição. Entretanto, a maior parte dos processos é composta pelas etapas de trituração, lavagem, secagem, aglutinação, extrusão e granulação (WASSERMAN, 2006; CEMPRE, 2018; WILLIAMS, 2005). A regeneração ocorre por meio dos processos de trituração, lavagem, secagem, aglutinação, seguido de extrusão ou injeção.

É possível realizar a separação entre diferentes plásticos com densidades distintas durante o processo de lavagem em função da composição da carga. Como quando ocorre a separação natural entre fração leve, composta por PP, PEAD, PEBD e poliestireno e a fração pesada, composta por poli (tereftalato de etileno) (PET), polí cloreto de vinila (PVC) e poliestireno rígido (OS) (WASSERMAN, 2006).

A aglutinação é realizada por meio de compactação e aglomeração das partículas de plástico moídas por aquecimento e pseudo-plastificação. O aglutinador pode ser composto por tanque com hélices para mistura com água e cisalhamento do material, favorecendo o processo de aglomeração. Material virgem pode ser adicionado durante o processo para atender critérios de qualidade (WASSERMAN, 2006).

O processamento por meio da extrusão ocorre em equipamento específico que é alimentado pelo funil e liquefaz os grânulos termoplásticos por meio de resistências elétricas. O material é transportado para zonas distintas que visam garantir o alcance da temperatura de fusão, comprimir o material para promover a plastificação e providenciar a mistura com demais componentes dosados no equipamento. Na saída da extrusora, o material é submetido à matriz que confere a forma do produto final e enviado para processo de resfriamento. O processo de extrusão produz objetos contínuos como cabos, mangueiras, tubulações e mesmo filmes e outros objetos laminares. Já o processo de injeção possui algumas diferenças com relação à extrusão. A formação do produto é realizada por meio da alimentação do termoplástico por meio de uma rosca até os moldes resfriados e produz peças com detalhes específicos, como roscas furos e encaixes (MAISPOLIMEROS, 2019; ABIPLAST, 2021).

Quanto menor a presença de contaminantes coloridos nos materiais plásticos provenientes de tinta de impressão, menor seu valor de mercado. Entretanto, tintas à base de água podem ser eliminadas por meio de lavagem com água à alta temperatura. A remoção da tinta também pode ser realizada por processos abrasivos por meio de seu desgaste, entretanto, este processo deteriora os materiais, resultando em perdas (ABIPLAST, 2019).

A presença de aditivos que favorecem a degradação na formulação de plásticos pós consumo, compostos por sais metálicos de cobalto (Co), ferro (Fe), manganês (Mn) ou níquel (Ni), como os agentes oxibiodegradáveis em sacolas plásticas (DECONINCK, 2013), comprometem o produto final da reciclagem, reduzindo sua vida útil. Estes componentes aceleram a fragmentação total do plástico, inviabilizando as etapas mecânicas da reciclagem (ABIPLAST, 2019).

Cabe destacar, ainda, que plásticos com aditivos que favorecem a degradação necessitam de uma destinação ambientalmente adequada. Estudos realizados comprovam que a degradação destes materiais na natureza não ocorre tão rapidamente, mas reduz suas dimensões na fragmentação, podendo trazer impactos negativos para ecossistemas (DECONINCK, 2013; FOLLMAN *et al.*, 2016).

O preço médio dos resíduos de plástico em 2019 no Brasil e no Sul do país foi de R\$ 0,92/kg e R\$ 0,99/kg, respectivamente (ABRELPE, 2021).

Dentre as dificuldades relacionadas a reciclagem de resíduos plásticos, a escassez de empreendimentos de gerenciamento de resíduos plásticos; as grandes

distâncias entre os geradores e o destino final e a instabilidade no fornecimento de matéria prima de boa qualidade (CEMPRE, 2018).

2.3.1.2 Reciclagem de resíduos de vidro

Apesar da produção de vidro ser realizada a partir de materiais de baixo custo, ela possui uma alta demanda energética. O principal benefício da reciclagem para este processo é a redução da energia devido a temperatura de fusão do vidro ser menor do que as matérias primas que o compõe. Para cada 10% de vidro reciclado introduzido na produção, gera-se uma economia de 2,5% de energia necessária para a fusão. Entretanto, também há benefícios com relação ao uso de água, que pode chegar até uma redução de 50% comparado a produção convencional e redução de emissões atmosféricas em forma de gás carbono (WILLIAMS, 2005; CEMPRE, 2018).

O processo de reciclagem do vidro pode ser composto pela coleta, seguido de segregação por cores, separação magnética em esteiras e triagem manual. É possível que haja materiais indesejáveis junto às matérias-primas, como pedras, cerâmicas e vidros não recicláveis, como vitrocerâmicos e borossilicato que, devido à sua resistência ao calor, não fundem completamente e bloqueiam o fluxo do vidro nos equipamentos de fundição (DYER, 2014).

Na sequência o vidro é triturado, peneirado e as contaminações de peso reduzido são removidas por meio de sucção. O vidro triturado é então misturado a matéria prima da composição do vidro, como o carbonato de cálcio (CaCO_3), areia de sílica (SiO_2) e carbonato de sódio (Na_2CO_3). São adicionados, ainda, materiais fundentes para a redução da temperatura de fusão da sílica, como o óxido de sódio (Na_2O). O aquecimento ocorre até 1540 °C em um forno de fusão, seguido de resfriamento rápido. O vidro liquefeito é conformado e revestido a quente por tóxico de estanho para suavização de superfícies. O produto pode ainda receber um resfriamento lento para reduzir os estresses dentro do material e receber uma camada de polietileno para reduzir a abrasividade da superfície (WILLIAMS, 2005; CEMPRE, 2018).

Os vidros podem ser reciclados indefinidamente e o resíduo moído de vidro pode ser utilizado alcançando até 80% da composição da mistura em um processo (ABRAVIDRO, 2021). O preço médio dos resíduos de vidro em 2019 no Brasil e no Sul do país foi de R\$ 0,08/kg (ABRELPE, 2021).

Além do setor de embalagens, a reciclagem de vidro também pode ser utilizada na vitrificação de cerâmicas, azulejos, pisos e telhas. O vidro moído pode ser empregado como abrasivo de uso industrial em substituição a jatos de areia e há estudos que demonstram o benefício da incorporação de vidro na pavimentação asfáltica em substituição ao cascalho (ASSIS, 2006; CEMPRE, 2018).

2.3.1.3 Reciclagem de papel e papelão

A reciclagem de papel e papelão, além de reduzir a quantidade de disposição em aterro, confere redução de consumo de energia, água e uso do solo em comparado ao seu processo convencional (CEMPRE, 2018).

A primeira etapa no ciclo da reciclagem de resíduos de papel e papelão é, em maior parte dos casos, realizada em aparistas, onde ocorre a trituração dos materiais. Frequentemente as atividades destes empreendimentos também estão relacionadas com a coleta do papel e papelão nos geradores, além de serem os responsáveis pela recepção, segregação, classificação, trituração, enfardamento, armazenamento e expedição destes resíduos para exportação ou indústrias de papel e celulose (ANAP, 2019). Em 2015, segundo estudo promovido pelo BNDES, 57% em massa das fibras utilizadas no setor mundial de indústrias de papel e celulose foram provenientes de aparas de papel (HORA, 2018).

É importante destacar que alguns resíduos deste grupo não podem ser reciclados, como os papeis vegetais; impregnados com substâncias hidrofóbicas, como resinas sintéticas ou betume; papéis de uso sanitário; papéis carbono; embalagens utilizadas na construção civil; papeis contaminados com gorduras ou outras substâncias nocivas. Uma fração significativa dos resíduos de papel e papelão nos RSU são embalagens e não são facilmente reciclados devido à presença de contaminação orgânica, presença de filmes de plástico ou mesmo de alumínio (CEMPRE, 2018; WILLIAMS, 2005).

A primeira etapa de tratamento dos resíduos recebidos ou coletados pelos aparistas é a classificação, que ocorre utilizando 4 grupos distintos com base nas classificações dispostas na NBR ABNT N° 15.483/2007. São os grupos as aparas marrons, aparas brancas, aparas de cartão e aparas mistas.

As aparas brancas (papel *offset*, *couchet* e utilizado para impressões e escritas) são destinadas em sua maior parte para a produção de papeis sanitários. Como

estes produtos não apresentam possibilidade de serem reciclados novamente, as aparas brancas são comumente classificadas como recicláveis de ciclo único (ANAP, 2019).

As aparas de papel para embalagem (*kraft liner*, miolo, *testliner*), ou aparas marrons, são recicladas nos empreendimentos que realizam a sua própria produção, os reprocessando como matéria prima para caixas de papelão ondulado. Os papéis cartão também são consumidos nos processos produtivos que os fabricam, configurando reciclagens de mais de um ciclo. A apara mista é composta pela mistura dos diferentes tipos de papel e podem ser utilizadas para a produção de papéis de baixa demanda técnica (ANAP, 2019).

De acordo com ANAP (2019), por exigir pouca especialização e baixo investimento, há grande quantidade de empreendimentos aparistas no país. Estes empreendimentos são de difícil quantificação devido ao seu ciclo de vida curto por ter sua sustentabilidade financeira vinculada com oscilações de mercado. As aparas, em especial a branca, é amplamente negociada no mercado internacional e tem o seu valor negociado em dólar. O que produz instabilidade comercial para o setor, em especial para os empreendimentos de pequeno porte.

As aparas brancas são também os tipos de aparas comercializadas pelo maior valor. Em 2018 os empreendimentos aparistas negociaram de R\$ 860,22 a R\$ 1.944,61 a média da tonelada deste resíduo, variando de acordo com as diferentes classificações, dispostas pela NBR ABNT N° 15.483/2007. As aparas mistas configuram o resíduo de papel e papelão com menor valor do mercado, apresentando uma média de preço de comercialização de R\$ 434,72 por tonelada no referido ano (ANAP, 2019). Segundo a ABRELPE, o preço médio de venda de papel reciclado coletado por catadores em 2019 foi de R\$ 0,39/kg no país (ABRELPE, 2021).

Para Hora (2018), a indústria brasileira de reciclagem de papel é pouco competitiva e isto ocorre devido aos custos elevados das aparas e da energia, além da falta de logística, baixa escala de produção e qualidade reduzida do maquinário no país.

Existem diversos métodos de reciclagem de papel e papelão. Entretanto, um processo da reciclagem pode ser constituído pelo recebimento das aparas, seguido da desagregação por meio de *pulper*, que constitui uma suspensão em água, possibilitando seu bombeamento. A pasta resultante passa por um processo de despastilhamento, que realiza uma desagregação fina. A desagregação pode ser auxiliada por

meio de desfibramento químico pela adição de hidróxido de sódio, silicato de sódio, peróxido de hidrogênio, entre outros (DANTAS, 2012).

O processo de depuração remove areias finas e outros contaminantes. A separação de contaminantes grosseiros ocorre por meio de peneiras, onde arames, plásticos e outros materiais que possuam dimensão maiores que o espaçamento da malha da peneira são retidos, enquanto a pasta desagregada é bombeada até um hidro ciclone. Este ciclone constitui um separador de fases por diferença de densidade por meio do uso de força centrífuga. O peneiramento também pode ser utilizado para a separação de duas correntes com tamanhos de fibras diferentes. Esta etapa é utilizada na fabricação de papel cartão a partir de aparas mistas. A pasta é destinada, então, a processo de destintamento para remoção de tintas de impressão. Esta etapa pode ocorrer por meio de flotação, lavagem e, para produção de papeis com índices elevados de alvura (DANTAS, 2012).

O processamento das fibras é ainda destinado para um processo de desaguentamento, que visa a redução do teor de umidade; lavagem para remoção de partículas em suspensão reduzido por meio de filtração; dispersão e trituração para redução do tamanho dos contaminantes restantes gerando menor impacto visual; branqueamento químico pela adição de oxidantes como hipoclorito de sódio ou dióxido de cloro ou redutores. Por fim, a massa de celulose é bombeada até a máquina de produção de papel, constituída pelas etapas de formação, prensagem, secagem e enroladeira. Estes processos concedem a uniformidade do papel, redução da umidade e acabamento nos diâmetros desejados (ALVARENGA, 2018).

A atividade de reciclagem de papel e papelão gera uma quantidade significativa de resíduos e efluentes em seu processo. São gerados rejeitos e efluentes em todas as etapas de remoção de materiais e contaminantes, como na desagregação e depuração. A variedade destes rejeitos é grande e pode ser composta por metais, plásticos, madeiras, têxteis, borrachas, vidros, entre outros (DANTAS, 2012).

Após destinado a uma estação de tratamento de efluente, são gerados lodos com diferentes características físico-químicas. A etapa de destintamento é responsável por parte desta geração, sendo que uma unidade de reciclagem gera de 3 a 6 vezes mais rejeitos que uma unidade sem destintamento. A composição do lodo do destintamento é composta por pigmentos de tinta de impressão, cargas minerais, adesivos de revestimento, fibras, entre outros. Demais efluentes gerados são destinados à ETE e geram lodo biológico, possível de ser destinado a compostagem (DANTAS, 2012).

Dentre outros, os fatores desfavoráveis que mais se destacam com relação a reciclagem de papel, em especial proveniente de grandes geradores, são as flutuações de preços dependentes do mercado externo, heterogeneidade das aparas, dificuldade na eliminação de impurezas, finitude dos ciclos da reciclagem e as limitações quanto a produção de novos produtos (CEMPRE, 2018; ANAP, 2019).

2.3.1.4 Reciclagem de resíduos metálicos

As sucatas metálicas são uma fonte secundária de matérias primas para a indústria metalúrgica brasileira, que consumiu 7.957.000 toneladas de sucatas em 2020, o que representa 26,33% do total de material metálico utilizado no país (MME, 2021).

O uso de metálicos, como sucatas, carepas ou limalhas como matéria prima para os processos metalúrgicos traz uma série de vantagens. Além dos metais poderem ser reciclados indefinidamente sem degradar suas propriedades, é reduzida a necessidade de extração minerais, diminuindo os impactos quanto ao uso de solo, disponibilidade de recursos naturais e riscos associado a acidentes com barragens de rejeitos; de transporte de grandes volumes de material não beneficiado, poupando o uso de energia e reduzindo emissões atmosféricas, uma vez que os resíduos metálicos tem maiores concentrações de metal que a sua forma primária, por já terem sido processados (MME, 2011; CEMPRE, 2020 e WILLIAMS, 2005). Como ocorre com o processamento de produtos de alumínio, qual consome apenas 5% da energia necessária para a produção em sua forma convencional (CEMPRE, 2018).

Estes materiais podem ser divididos em dois grandes grupos, os ferrosos e os não ferrosos. Dentre os metais não ferrosos, alumínio, cobre e suas ligas, chumbo e zinco são os mais comuns. Os metais de chumbo, zinco, cromo e estanho são geralmente empregados combinados na forma de ligas ou como revestimento (CEMPRE, 2018).

O processo de oxidação, ou ferrugem, a qual são submetidas os resíduos metálicos e sucatas quando expostos por intempéries não é um impeditivo para o processo de reciclagem. Entretanto, níveis de concentração de outros metais, como o estanho presente em folhas de *flanders*, podem prejudicar o processo de fundição, causando fratura a quente nas ligas de aço produzidas. A presença de estanho, pode causar fratura a quente nos aços, a depender do processo utilizado. Para contornar

esta dificuldade, etapas auxiliares de separação devem ser realizadas (CEMPRE, 2018).

Cavacos metálicos de ferro fundido, aço, cobre, bronze e latão são gerados na indústria metalúrgica em grandes quantidades devido aos cortes e manipulações, entretanto são de baixa qualidade e podem estar contaminados por óxidos e fluidos refrigerantes em quantidades. Estes resíduos podem ser lavados com reagentes ou água quente e briquetados para a remoção dos contaminantes. O tratamento de resíduos metálicos com contaminação como tintas, pós oxidados, madeiras, vidros, borrachas, plásticos, entre outros, pode ocorrer também por meio de processos de separação de fases por aeração a velocidades reguladas (FRANCISCO, 2020; MATTIODA, 2018; MME, 2009).

A viabilidade da reciclagem é determinada por fatores econômicos, como a existência de matérias primas no mercado, a pureza dos produtos reciclados, o mercado para comercialização destes produtos e os valores dos metais. O preço médio dos resíduos de alumínio em 2019 no Brasil e no Sul do país foi de R\$ 3,05/kg e R\$ 2,68/kg, respectivamente. Outros metais tiveram médias de R\$ 0,41/kg no Brasil e R\$ 0,37/kg na região Sul (ABRELPE, 2021). Ainda assim, há importação destes resíduos, de acordo com o Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico de 2021, foram importadas sucatas de alumínio à 1.296,00 USD/t.; sucata de cobre à 5.671,00 USD/t. e de magnésio à 1.829,00 USD/t. Um total de 140.310,00 toneladas de sucatas não ferrosas foram importadas em 2020, sendo o México (28,4%) e os EUA (8,8%) os principais parceiros econômicos para a venda destes materiais (MME, 2021).

2.3.1.5 Reciclagem de outros materiais

Há a possibilidade de reciclagem de outros resíduos, como a reciclagem de óleos vegetais e animais, assim como sebos e outros tipos de gorduras pode ocorrer principalmente através dos processos de produção biodiesel ou em graxarias, mas também viabiliza a produção de sabões e resinas. Empreendimentos caracterizados como graxarias realizam a produção de farinhas para alimentação animal a partir do cozimento de resíduos oleosos, separação de fases, purificação por centrifugação ou filtração, prensagem e moagem. A reciclagem de óleos na produção de biodiesel ocorre por meio da transesterificação e tem como subproduto a glicerina, que possui

valor de mercado para fabricação de produtos cosméticos (VELOSO, 2012; PACHECO, 2006).

A Resolução CONAMA nº 362/05 dispõe sobre a destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado dispõe que este resíduo deve exclusivamente ser destinado a processo de rerrefino ou equivalente. A combustão e incineração são destinações não permitidas para o óleo lubrificante usado ou contaminado devido as emissões nocivas resultantes do processo.

O rerrefino de óleo lubrificante usado ou contaminado no Brasil dispõe de três tecnologias distintas, o sistema ácido argila com termo craqueamento, sistema de destilação a flash ou evaporação pelicular e sistema por extração a solvente seletivo de propano (SINDIRREFINO, 2022).

Quanto a pilhas e baterias que contenham em suas composições chumbo, cádmio, mercúrio e seus compostos, a Resolução CONAMA nº 257 e 263 de 1999 estabelece regras para reciclagem e destinação final. A norma dispõe que as pilhas e baterias devem ser destinadas aos estabelecimentos que comercializam, fabricam, distribuem ou importam estes produtos. A destruição térmica é permitida por meio da incineração desde que atendidos os requisitos técnicos e as pilhas e baterias dentro dos limites estabelecidos por lei podem ser dispostas em aterros sanitários (BRASIL, 1999).

Os processos de reciclagem de pilhas e baterias variam de acordo com a composição dos seus eletrodos. Entretanto, de forma geral, as sucatas de pilhas e baterias são recicladas por meio da sua trituração com separação do plástico e dos componentes metálicos. O plástico é recuperado e reutilizado na produção de caixas e tampas de novas baterias. Os componentes metálicos são recuperados por meio de processamentos químicos ou térmicos. Os óxidos metálicos ou sais metálicos produtos deste processo podem ser utilizado como pigmento, corantes ou reaproveitados como eletrodos. As baterias com composição de chumbo e zinco têm esse metal refundido, refinado e levado a processo de lingotamento para uso em novas baterias. (CNI, 2017. GREENELETRON, 2019). As baterias de íon de lítio devem ser armazenadas e recicladas de forma segregada, devido aos riscos de explosão em pressões elevadas (EPA, 2020).

2.3.2 Coprocessamento

De acordo com a Resolução CONAMA nº 499/20, o coprocessamento de resíduos em fornos de produção de clínquer consiste no uso de resíduos sólidos como substituto parcial de matéria-prima e combustíveis na fabricação de cimento. As elevadas temperaturas e o tempo de residência nos fornos de cimento fazem com que a atividade de coprocessamento esteja cada vez mais sendo utilizada como alternativa para destinação de RSI (GHOSH *et al.*, 2022; BRASIL, 2020; ABCP, 2020).

Desde a década de 60, a indústria cimentícia utilizou predominantemente petróleo cru e derivados como combustível, se consolidando a partir da década de 90 (ROCHA *et al.*, 2011). O coprocessamento apresentou-se como alternativa técnica viável para substituição da fonte calorífica e matéria prima do processo, o que reduziu custos com obtenção dos insumos convencionais e elevou a receita das unidades de produção de cimento por meio da cobrança por destinação de resíduos (MILANEZ, 2007).

Ainda que de forma desregulamentada, o coprocessamento começou a ser utilizado em cimenteiras a partir de 1995. As incertezas dos efeitos da prática e a possível correlação com riscos de saúde dos trabalhadores e a exposição a dioxinas e metais pesados se tornaram preocupações de setores da sociedade (ROCHA *et al.*, 2011). A Resolução CONAMA nº 264 foi então publicada em 2000, afim de estabelecer condições para a operação do coprocessamento e reduzir impactos negativos da destinação dos resíduos nas cimenteiras. Desde então, uma série de legislações ambientais surgiram para regulamentar a prática que se consolidou no país, como nos Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e Paraná.

2.3.2.1 Processo produtivo

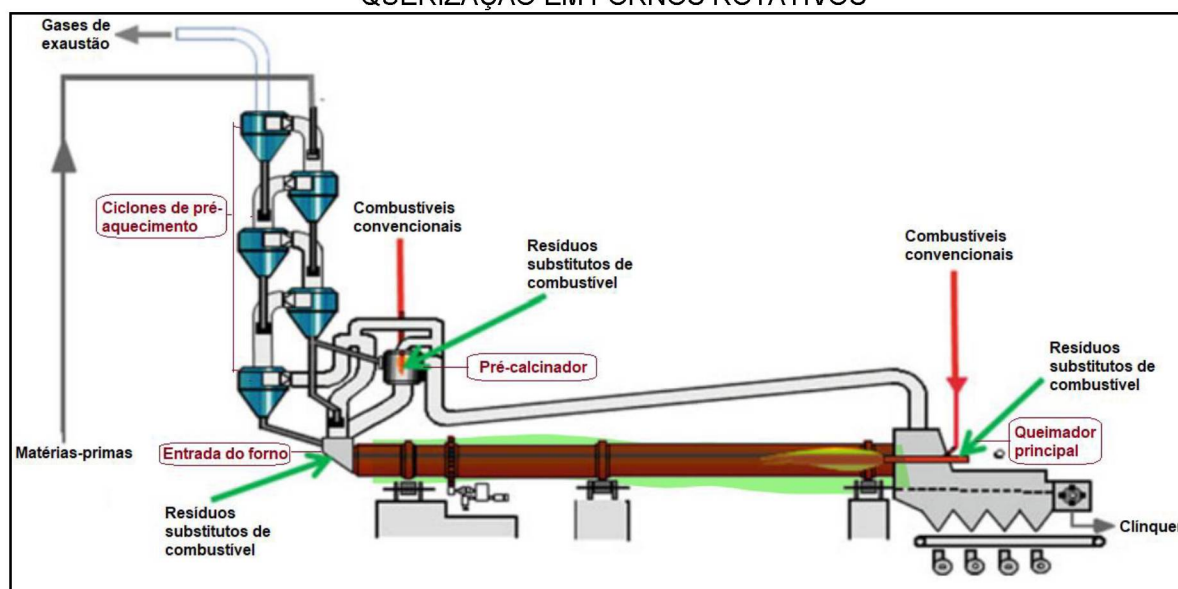
A produção de clínquer para a fabricação de cimento tem como matérias primas calcário, argilas, sílica, óxidos de ferro e de alumínio. A fusão parcial destes materiais e posterior formação de grânulos de clínquer ocorre em fornos rotativos inclinados que rotacionam em torno do eixo do próprio equipamento. Combustíveis são alimentados para queima em um dos lados sob chama que é mantida acima de 1800 °C. a chama do forno alternando em torno de 2000 °C. O tempo de residência dos gases no meio reativo é de 6 a 8 segundos sob uma temperatura de 1100 °C e a temperatura do calcinador é mantida acima de 850 °C. (GHOSH *et al.*, 2022). A elevada demanda energética das condições de operação dos fornos de cimento faz com

que estes empreendimentos tenham um consumo elevado de combustíveis (ROCHA *et al.*, 2011).

A matéria prima é alimentada no topo da torre de pré-aquecimento, de onde descem por gravidade até o forno. Os gases provenientes da queima migram até um sistema de pré-aquecimento que consiste em um calcinador e uma série de ciclones.

O sistema de pré-aquecimento permite uma troca de calor entre os gases dos combustíveis e a matéria prima, que permite a mudança de fases. O material liquefeito cai no forno onde ocorre a reação de clínquerização. A fase líquida presente no meio reativo é transportada para fora do forno, onde é resfriada até se tornar clínquer sólido. (GHOSH *et al.*, 2022). O processo de produção do cimento está representado na FIGURA 3.

FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE CIMENTO POR MEIO DE CLINQUERIZAÇÃO EM FORNOS ROTATIVOS



FONTE: Adaptado de Ghosh *et al.* (2022).

Os resíduos devem ser alimentados em diferentes entradas no sistema de produção de cimento uma vez que, a depender da concentração de certas substâncias ou de suas características físicas, os resíduos devem ser processados sob diferentes condições. Os pontos de entrada podem ser o calcinador, o queimador do forno ou o final do forno (GHOSH *et al.*, 2022).

Resíduos com concentrações elevadas de compostos clorados voláteis e poluentes orgânicos persistentes devem apenas ser alimentados no queimador principal. Este ponto de alimentação é o único capaz de destruir estes compostos em um nível

adequado devido à temperatura de combustão e tempo de retenção elevados. Resíduos com concentrações elevadas de orgânicos voláteis devem ser alimentadas diretamente em zonas de alta temperatura do forno. Enquanto que resíduos inorgânicos e minerais podem ser alimentados junto à matéria prima da clínquerização (GHOSH *et al.*, 2022).

Os pontos de entrada dos resíduos substitutos de combustíveis também dependem de seu formato e tamanho. Resíduos irregulares, como pneus, tambores ou acondicionados em sacos ou outros recipientes são alimentados na entrada do forno. Já resíduos triturados em diâmetros maiores (grosseiros) são alimentados no calcinador e resíduos triturados em diâmetros reduzidos (finos), e em formato de pó são alimentados no queimador principal. Enquanto que resíduos líquidos são alimentados no pré-calcinador ou no queimador principal (GHOSH *et al.*, 2022).

2.3.2.2 Resíduos destinados

Os resíduos utilizados como substitutos de matéria-prima apresentam características semelhantes aos componentes originalmente utilizados na produção do clínquer como mineralizadores e fundentes (BRASIL, 2020). Resíduos comumente utilizados como matérias-primas são lodos com alumina e de siderúrgicas, areia de fundição, terras de filtragem, refratários usados, refugos da produção de vidro, gesso, cinzas, escórias, resíduos de perfuração de poços petrolíferos e solos contaminados com hidrocarbonetos (ABCP, 2020).

No Brasil, os resíduos utilizados como substitutos de combustíveis devem apresentar ganho de energia comprovado (BRASIL, 2020). Resíduos comumente utilizados como substitutos de combustíveis são solventes, óleos usados, graxas, resíduos oleosos, lodo de indústrias químicas e de esgoto, resíduos provenientes de embalagens, borracha, serragem, papel, têxteis, pneus inservíveis, grãos inservíveis, combustíveis derivados de RSU, produtos e matérias primas fora de especificação ou validade, rejeitos, resíduos de destilação, borras de tinta, borras químicas ou até mesmo resíduos diversos contaminados com hidrocarbonetos, solventes ou tintas (ABCP, 2020; GHOSH *et al.*, 2022).

Plásticos não recicláveis são resíduos que também apresentam boas condições para o coprocessamento, uma vez que possuem valor energético elevado, equivalente a óleo combustível, cerca de 9.000 kcal/kg. Outro aspecto favorável é que há

infraestrutura instalada com sistemas logísticos preexistentes que realizam a segregação e coleta para reciclagem. Esses locais recebem plásticos não recicláveis, como plásticos de uso único, embalagens com multicamadas, plásticos contaminados, termofixos que podem ser destinados para o coprocessamento. Rejeitos de triagem de empreendimentos de reciclagem de plásticos, barracões de triagem de RSU e grandes geradores dos setores industrial e de comércio e serviço são fontes possíveis para plásticos não recicláveis. (GHOSH *et al.*, 2022; CEMPRE, 2019).

O setor avalia que o aumento do coprocessamento estará vinculado principalmente no consumo de RSU e lodos de estação de tratamento de efluente (ABCP, 2020). O coprocessamento de pneus pode ser favorecido devido a restrição à disposição em aterros sanitários na destinação de pneumáticos inservíveis, disposta pela Resolução CONAMA nº 416/2009 (BRASIL, 2009).

O uso de pneumáticos inservíveis como substituto de combustível nas cimenteiras vem mostrando diversos aspectos positivos devido ao seu alto poder calorífico e eliminação de passivos ambientais. O coprocessamento desses resíduos entre os anos de 2005 e 2009 eliminou 26.568 toneladas de pneus armazenados nos Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. A criação de um mecanismo de coleta nestes Estados garante, ainda, o sustento econômico de catadores e contorna um dos principais problemas com relação a destinação destes materiais, já que estes dificilmente são inseridos na gestão de resíduos sólidos de entidades públicas ou privadas. Há ganhos ambientais na substituição do coque pelos pneus como substituto de combustível nos fornos de clínquer devido à redução das emissões de SO₂, apesar da presença de enxofre na estrutura dos pneus proveniente da vulcanização da borracha (FREITAS E NÓBREGA, 2014).

Além da substituição de matérias primas e de combustíveis, é possível a destinação de resíduos para destruição térmica, desde que promovam ganhos ambientais - como redução de emissões de substâncias poluentes, eliminação ou redução de disposição final, saneamento de áreas ou corpos hídricos - ou quando o coprocessamento revela-se como tecnologia ambientalmente mais favorável a destinação de certo resíduo (BRASIL, 2020).

Os resíduos de asbestos (amianto), resíduos de fontes geradoras desconhecidas, baterias, resíduos eletrônicos, minerais ácidos e corrosivos devem ter a destinação para coprocessamento proibida. Alguns resíduos, ainda, oferecem riscos à produção de cimento e devem possuir restrições, como resíduos contendo mercúrio, tálio,

peróxidos, fosfitos, isocianetos, cianetos metais alcalinos ou outros metais reativos e que resultem em gases ácidos durante a combustão (GHOSH *et al.*, 2022).

No Paraná, são proibidas, ainda, as destinações de lodos galvânicos, resíduos de serviço de saúde, resíduos contaminados com agrotóxicos, radioativos e explosivos. Lodos de ETE, que contenham substâncias orgânicas persistentes, RSU também possuem restrições (PARANÁ, 2009).

A gestão da atividade de coprocessamento deve ter como princípio a redução dos impactos negativos de suas atividades e a manutenção da qualidade do cimento. Dessa forma, os processos geradores dos resíduos devem ser conhecidos e os empreendimentos fonte destes materiais devem, também, estar comprometidos com valores ambientais, tais como transparência e adequação às legislações vigentes (GHOSH *et al.*, 2022).

2.3.2.3 Fatores para o gerenciamento de resíduos no coprocessamento

O conhecimento de características físico-químicas dos resíduos é essencial para a operação da atividade, servindo como base para determinar o local de alimentação dos resíduos nos fornos, se há necessidade de tratamento prévio e se o material deve ser restringido às emissões resultantes de sua queima. Alguns fatores importantes são cinzas totais, porcentagem de cinzas, concentração de cloro e enxofre, umidade, viscosidade em estado líquido, concentração de cloro e de enxofre (GHOSH *et al.*, 2022).

No Paraná, a Resolução CEMA nº 76/09 dispõe sobre critérios para a atividade de coprocessamento de resíduos para fins de substituição de matéria prima, combustível e destruição térmica. Nela, são dispostos critérios para permitir o resíduo ser coprocessado. Dentre as restrições, destaca-se a necessidade de poder calorífico superior acima de 1.500 kcal/kg e restrições de concentrações para metais Cd, Hg, Tl, As, Co, Ni, Se, Te, Cr e Pb para resíduos substitutos de combustível. Para a substituição de matéria prima, resíduos devem atender critérios de concentração para Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂, CaO, MgO, K₂O e Na₂O ou de fluoretos, P₂O₅, CuO, ZnO, LiO₂, TiO₂ (PARANÁ, 2009).

Os metais pesados listados na Resolução CEMA nº 076/09 possuem restrição devido a não destruição no meio reativo. Metais com alta volatilidade, como é o caso do mercúrio, são emitidos pelas chaminés dos fornos de coprocessamento. Enquanto

que metais com volatilidade intermediária, como o caso do chumbo e o cádmio, recirculam nos sistemas dos fornos devido às variações de temperaturas, condensando em regiões onde é possível sua incorporação indesejada na matriz do clínquer (SANTI, 2003).

As exigências legais cabíveis à atividade de coprocessamento vão de encontro ao princípio da precaução, estabelecido como um dos princípios da Política Nacional do Meio Ambiente. Entretanto, a redução do potencial de produção dos poluentes está relacionada ao cumprimento do disposto na legislação e depende da composição dos resíduos e no monitoramento das condições operacionais de queima. Para Milanez (2009), nem sempre essas condições são respeitadas de forma sistemática no país.

2.3.2.4 Emissões atmosféricas

Compostos clorados ou contendo flúor e enxofre, quando submetidos à processos térmicos, são convertidos em gases ácidos como ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF), dióxido de enxofre (SO₂) e trióxido de enxofre (SO₃). Estes gases, quando submetidos às condições presentes no meio reativo dos fornos de clínquerização são convertidos em cloreto de cálcio, fluoreto de cálcio, sulfato de cálcio. Evitando, assim, a emissão de gases ácidos pelo processo (GHOSH *et al.*, 2022).

Reações de combustão que ocorrem em alta eficiência, como os submetidos a elevados tempos de residência e temperaturas, como é o caso do coprocessamento, emitem taxas significativas de óxidos de nitrogênio (NO_x). Por estes óxidos terem grande capacidade de gerar efeito estufa e poderem formar chuvas ácidas, devem ser tratados. As unidades de coprocessamento utilizam reações de redução não catalítica para seu tratamento.

Compostos orgânicos voláteis também podem ser emitidos, entretanto, a sua emissão está relacionada com a eficiência da queima. Quanto maior a eficiência, menor a emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs). O controle de emissão é possível de ser realizado por meio do controle do processo pela velocidade de giro do forno, nível de oxigênio no meio reativo, intensidade da chama, entre outros. Dióxido de carbono e materiais particulados também são gerados nesta atividade. Sistemas de tratamento e gases podem evitar a sua emissão, como ciclones, precipitadores eletrostáticos e filtros (GHOSH *et al.*, 2022).

2.3.2.5 Outros aspectos

A Associação Brasileira de Cimento *Portland*, em seu Panorama publicado em 2021, informa que haviam 61 fábricas tecnicamente aptas para realizar coprocessamento no Brasil em 2020, quando foram coprocessados cerca de 1.500.000 toneladas de resíduos no país. O consumo de resíduos vem se mostrando em uma tendência de alta desde 2006. O setor demonstra expectativa de crescimento a médio e longo prazo, com expectativa de substituição fóssil das unidades de produção de cimento de 55% em 2050 (ABCP, 2021).

O perfil de consumo energético para produção de clínquer é constituído por 77% de combustíveis fósseis, 7% de biomassa, 12% de combustíveis fósseis alternativos e 4% resíduos de biomassa. Totalizando um índice de substituição térmica de 16%. Os resíduos mais utilizados para substituição de combustível são pneus e resíduos sólidos perigosos (ABCP, 2020).

Alguns desafios para a atividade de coprocessamento foram listados por Ghosh *et al.* (2022), como necessidade de realizar muitas análises laboratoriais distintas devido à variedade de resíduos sendo destinados dificuldade de mantimento da eficiência de queima para resíduos com alta granulometria, umidade e baixos poderes caloríficos. O que resultou em necessidade de armazenamento temporário dos resíduos para realizar adequações na alimentação dos fornos.

A escolha do local onde é realizado o coprocessamento ou os processamentos dos resíduos previamente é um aspecto importante para redução dos impactos. Uma vez que há riscos relacionados a emissões atmosféricas, logística, transporte, risco de acidentes no transporte e manejo dos resíduos. As unidades devem desenvolver procedimentos para atendimento a emergências na vizinhança, garantindo sua segurança. Para isso, devem haver treinamentos, envolvimento e comunicação com a comunidade no entorno e transparência na administração da unidade (GHOSH *et al.*, 2022).

2.3.2.6 Unidades de processamento de resíduos (blendeiras)

A atividade de pré-tratamento de resíduos é necessária para garantir uma atividade contínua no forno de cimento, assim como garantir qualidade e fornecimento uniformes. As unidades de processamento de resíduos, ou blendeiras, podem realizar

o pré-tratamento por meio de trituração, secagem, mistura, gradeamento, solidificação, entre outras operações (GHOSH *et al.*, 2022).

Unidades de blendagem têm as vantagens de ter flexibilidade operacional para a homogeneização de resíduos em diferentes estados sólidos, valorizam resíduos com baixo poder calorífico, não demandam grandes áreas de operação. Entretanto, possuem alto investimento para instalação, necessitam de controle complexo do processo, tem elevado risco de contaminação de solo e águas, além de riscos elevados de ocorrência de incêndios (MALARD, 2016).

As propriedades que devem ser atendidas pela blendeira fazem referência a necessidades técnicas e legais, como poder calorífico semelhante a combustíveis convencionais, e outras exigências legais, como a limitação de concentração de metais pesados como arsênio, cobalto, níquel, telúrio, mercúrio, tálio, cromo e chumbo de modo que a qualidade do cimento e das emissões atmosféricas provenientes do forno de cimento não sejam afetadas negativamente. Para isso, a análise prévia das propriedades físico-químicas e plano de amostragem dos resíduos devem ser realizadas (MILANEZ, 2007; PARANÁ, 2009; FIGUEIREDO *et al.*, 2008; GHOSH *et al.*, 2022).

A legislação ocupacional e ambiental brasileira dispõe pouco a respeito das operações de mistura e trituração de resíduos perigosos. Ficando a cargo de normas como as ABNT NBR nº 11.174/1990 e nº 12.235/1992, para o armazenamento de resíduos não perigosos e perigosos, respectivamente. Os principais aspectos versados sobre essas resoluções abrangem o isolamento, sinalização, impermeabilização das áreas de armazenamento, existência de bacias de contenção, registros de recebimento e restrições relacionadas à incompatibilidade de resíduos.

A mistura de resíduos incompatíveis não pode ocorrer, sob risco de causar impactos negativos à saúde, meio ambiente, segurança e infraestrutura da unidade (GHOSH *et al.*, 2022). Os resíduos recebidos em um empreendimento que realiza a blendagem podem ser classificados em até 14 classificações em 7 grupos distintos com relação a sua incompatibilidade, apresentando diferentes efeitos quando misturados entre si, como geração de calor, reação violenta, emissão de substâncias tóxicas, inflamabilidade, explosividade, entre outros. Dessa forma, riscos de incêndios ou acidentes relacionados ao gerenciamento de resíduos nestes tipos de unidade ocorrem da mesma forma como riscos relacionados à exposição dos trabalhadores por contato direto com resíduos perigosos e inalação de gases e vapores de resíduos

nocivos (ABNT, 1992). Devido a pausas para manutenção nos fornos de produção de cimento, é comum que empreendimentos que realizam blendagem alcancem taxas de armazenamento próximas de seu limite, aumentando o risco de acidentes nestas unidades.

O risco de incompatibilidade é reduzido utilizando controle e registro de recebimento e armazenamento dos resíduos, assim como a utilização de bacias de contenção distintas para resíduos incompatíveis. Já os acidentes relacionados aos trabalhadores são minimizados pela automação dos processos de blendagem (MILANEZ, 2009).

Incêndios e explosões são acidentes que já ocorreram em diferentes unidades de blendagem. Dessa forma, sistemas de alarme e de proteção contra fogo devem ser instalados. Também há a necessidade de as instalações conterem sistema de iluminação, energia e comunicação que permitam ações emergenciais. Necessidade de ser provida de bacia de contenção e que permaneça em boas condições, com capacidade para reter no mínimo 10% do volume total armazenado. Entretanto, quando há armazenamento de resíduos incompatíveis, estas bacias de contenção devem se configurar independentes entre si, de forma a evitar a mistura em casos de acidentes (ABNT, 1992; GHOSH *et al.*, 2022).

Riscos são reduzidos quando o período de armazenamento dos resíduos é reduzido, assim como a quantidade de resíduo armazenada na unidade. É recomendado o tempo máximo de armazenamento de 10 dias para resíduos misturados e perigosos, de 21 para resíduos contaminados. Enquanto que para resíduos não perigosos o tempo de armazenamento deve ocorrer de acordo com a capacidade de armazenamento em volume da unidade (GHOSH *et al.*, 2022).

2.3.3 Compostagem

A compostagem consiste no processo de decomposição aeróbia de resíduos que possuam constituintes orgânicos, sob circunstâncias específicas de aeração, umidade e temperatura que viabilizam a biodegradação. A unidade de compostagem consiste em instalação onde ocorre a compostagem por meio de pátios, leiras ou reatores, associados a um conjunto de equipamentos destinados a promover e auxiliar o tratamento de resíduos orgânicos, como esteiras, trituradores e peneiras (BRASIL, 2010).

O uso da compostagem como destinação para resíduos orgânicos possui uma série de vantagens. A possibilidade de decompor uma grande diversidade de resíduos domésticos e industriais, de controle de odores e aerossóis, o reaproveitamento de materiais que estariam dispostos em aterros, a redução de gases do efeito em estufa em comparado com a disposição em aterros e a geração de produto com valor comercial são algumas delas. Ainda, a baixa exigência por mão de obra especializada e a necessidade reduzida de gasto energético devido a poucas etapas de processamento, como o reviramento mecânico ou a aeração forçada, quando necessárias, são outros aspectos positivos (EPSTEIN, 2010; NOYES, 1994; BNDES, 2014).

O produto final da compostagem é rico em nutrientes e pode ser aplicado como fertilizante ou estabilizador de solos. Tem, ainda, a capacidade de manter a umidade do solo, reduzir processos erosivos por meio do incremento da infiltração hídricas e reduzir o escoamento superficial, além de ser uma fonte importante de matéria orgânica. Por ser uma fonte de nitrogênio, potássio, fósforo e microfauna, o produto da compostagem é considerado um aliado importante para produtores rurais, recuperação de áreas degradadas e em sistemas agroecológicos (EPSTEIN, 2010; HETTIARACHCHI; SERENA; SCHWÄRZEL, 2020).

Como cada vez mais a técnica da compostagem é utilizada como destinação de diferentes resíduos, devem ser monitoradas as presenças de metais pesados, patógenos e poluentes orgânicos persistentes no produto final. O uso de resíduos com a presença de antibióticos e outros fármacos provenientes de indústrias farmacêuticas ou em lodos de estações de tratamento de esgoto, deve ser realizado com cautela, porquanto há pouco conhecimento a respeito dos efeitos destes componentes na compostagem. Além de antibióticos, a presença de outros componentes de preocupação emergente, ou *Constituents of Emerging Concern* (CECs), deve ser considerada ao operar uma unidade de compostagem. A presença de micro e nano plásticos tem efeitos eco toxicológicos devido a sua presença e persistência nas cadeias alimentares por meio da bioacumulação (EPSTEIN, 2010; HETTIARACHCHI; SERENA; SCHWÄRZEL, 2020).

A despeito da compostagem ser considerada uma destinação possível para a maioria dos resíduos orgânicos, ela possui impactos negativos relacionados ao seu uso. A geração de odores provenientes da produção de amônia e da putrefação de cargas é provoca transtornos à vizinhança. A geração de odores é a principal motivação do fechamento de plantas nos Estados Unidos (EPSTEN, 2011, VAVERKOVA,

2019). A redução de odor pode ser realizada por meio da instalação de sucção negativa nas leiras ou reatores, seguida por biofiltros. A percepção de odor na vizinhança pode também ser evitada por meio de plantio de árvores nos limites da unidade. O uso de barreiras verdes reduz a velocidade dos ventos e a mobilidade das partículas de pó causadores de odores (EPSTEIN, 2011).

A implementação de unidades de compostagem exige investimentos principalmente na obtenção de suas áreas para instalação devido ao processamento do resíduo poder durar até seis meses e somado à necessidade de grandes áreas para realizar o processo. Há, ainda, a necessidade de realizar uma separação eficiente, que pode ocorrer por meio de triagem na unidade de compostagem ou segregação na fonte geradora (EPSTEIN, 2011; BNDES, 2014).

A geração de bioaerossóis durante a decomposição dos resíduos é um problema relacionado à saúde ocupacional dos operadores, uma vez que os trabalhadores de unidades de compostagem estão susceptíveis à sua exposição, podendo obter problemas de saúde (VAVERKOVA, 2019; EPSTEIN, 2010).

A compostagem ocorre em quatro etapas distintas, que podem ocorrer concomitantemente ou não. São elas as fases mesofílica, termofílica, resfriamento e processo de cura. Microrganismos distintos se tornam dominantes em cada uma dessas fases e essa diversidade faz com que diferentes componentes possam ser degradados em cada uma delas. A fase mesofílica é caracterizada pelo consumo de oxigênio e carbono resultando em dióxido de carbono, geração de calor, assim como crescimento e reprodução de microrganismos mesofílicos. Nessa etapa ocorre a oxidação de material orgânico de complexidade baixa (MANDPE *et al.*, 2020; EPSTEIN, 2010).

Na fase termofílica, ou etapa de estabilização, ocorre a mineralização de compostos de degradação lenta e processos de umificação de compostos de lignina e celulose. A elevação da temperatura nesta etapa opera como um controle dos organismos patogênicos e destrói sementes presentes no substrato. A duração da fase termofílica é de, pelo menos, 21 dias (EPSTEIN, 2011; NOYES, 1994; MANDPE *et al.*, 2020).

É na etapa de resfriamento que os microrganismos mesofílicos voltam a ser dominantes e degradam componentes mais complexos do substrato. Além de bactérias, fungos e microfauna se multiplicam no substrato, aumentando a taxa de decomposição. Conforme os nutrientes disponíveis são consumidos, a temperatura reduz até a temperatura ambiente no final do processo, quando se obtém um produto

estável. A etapa de cura consiste em uma fase de segurança de longa duração que tem como objetivo a eliminação de patógenos restantes (EPSTEIN, 2011; MANDPE *et al.*, 2020).

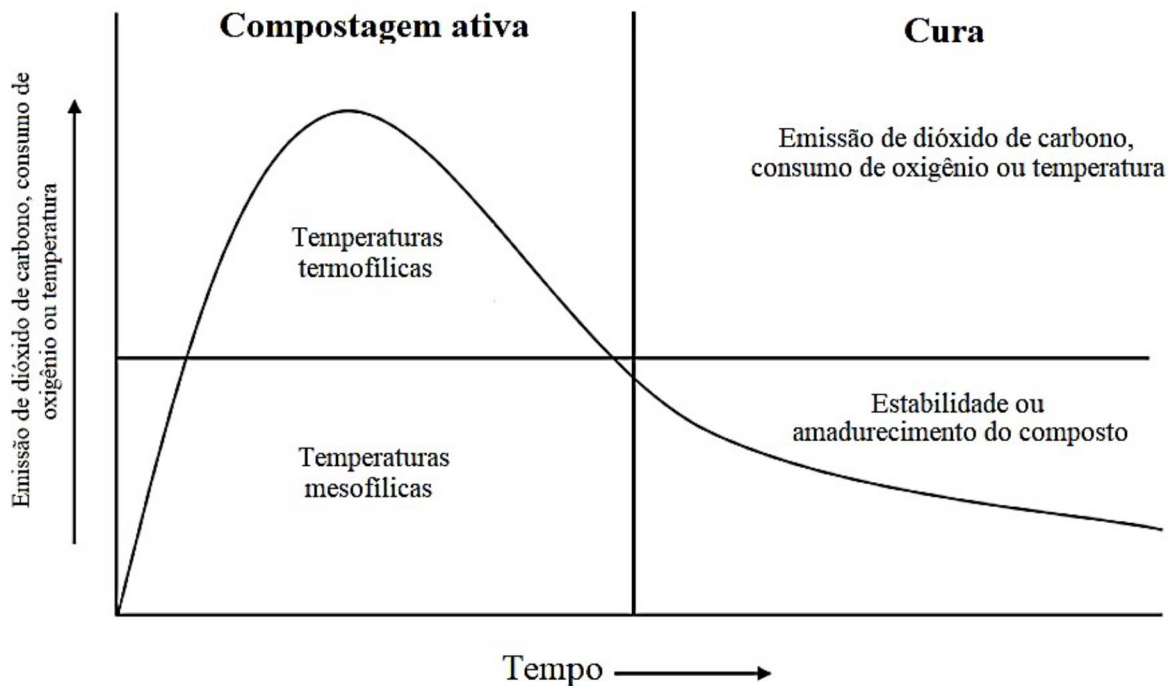
Diversos fatores podem alterar as temperaturas e taxas de decomposição reduzindo a atividade microbiológica, como umidade reduzida, baixas concentrações de oxigênio, poucos espaços livres entre sólidos, presença de substâncias tóxicas ou a escassez de carbono, nitrogênio, componentes biodegradáveis e nutrientes inorgânicos (EPSTEIN, 2011).

A temperatura é um fator importante para a compostagem, uma vez que é por meio de seu controle que são eliminados organismos patógenos e prejudiciais ao solo, plantas, animais e humanos. Uma das características que afeta a temperatura é o volume de compostagem, quanto menos volume compostado, menores são as temperaturas atingidas. Entretanto, a eliminação de patógenos também pode ser alcançada após o final do processo de compostagem, quando organismos competitivos excretam enzimas capazes de destruí-los (AYILARA *et al.*, 2020).

A manutenção da temperatura a 55 °C durante períodos de tempo prolongados é também utilizada para eliminação dos patógenos. Ao utilizar resíduos que não possuam patógenos, como resíduos da indústria de papel e papelão e da indústria alimentícia, é possível alcançar uma estabilização do composto de forma mais rápida bastando o alcance da faixa de temperatura entre 45 e 55 °C, sinalizando o final do processo (EPSTEIN, 2011).

A condição nutricional mais importante para o processo da compostagem é a proporção entre elementos de carbono e nitrogênio (C/N). O carbono é utilizado como matéria-prima para a reprodução celular dos microrganismos. A sua metabolização gera dióxido de carbono, que é emitido para a atmosfera. Os microrganismos utilizam o nitrogênio para realizar a sua síntese proteica. Uma proporção elevada de C/N resulta em uma biodegradação lenta devido à baixa quantidade de microrganismos presentes no substrato, enquanto que uma proporção reduzida impossibilita a entrada de ar no meio, favorecendo decomposição anaeróbica e levando à emissão de nitrogênio por meio da produção de amônia, gerando odores. A faixa de proporção C/N em que a compostagem é efetiva ocorre entre 22/1 e 40/1. Essa proporção deve ser controlada por meio da dosagem na alimentação do processo de acordo com o necessário tendo conhecimento a respeito das concentrações destes elementos nos diferentes resíduos (EPSTEIN, 2011; AYILARA *et al.*, 2020).

FIGURA 4 - TAXA DE EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO OU DE TEMPERATURA NO DECORRER DO TEMPO



FONTE: adaptado de Epstein (2011).

A taxa de emissão de dióxido de carbono ocorre proporcionalmente ao aumento da temperatura, representada na FIGURA 5. Estas duas variáveis apresentam um aumento durante a fase mesofílica até alcançarem o seu máximo na fase termofílica. Após consumo de boa parte dos nutrientes, a temperatura decresce junto à taxa de emissão de CO_2 até se manter praticamente constante durante a fase de cura (EPSTEIN, 2011).

Diferentes compostos orgânicos apresentam diferentes suscetibilidades à decomposição e mineralização de sua estrutura. Por exemplo, açúcares, amidos, pectinas, gorduras, ácidos graxos, fosfolipídios e aminoácidos são mais suscetíveis que proteínas, celulosas e quitinas. Enquanto que compostos aromáticos de baixo peso molecular e ligninas são resistentes ao processo de decomposição (EPSTEIN, 2011).

A compostagem convencional pode ser insuficiente para realizar a degradação de compostos ricos em lignina. Adições de cal hidratada ou em pó ou, ainda, rocha fosfática auxiliam no enfraquecimento da estrutura da lignina, beneficiando assim o processo de humificação. A incorporação destes complementos nutricionais aumenta ainda a qualidade do produto final (MANDPE *et al.*, 2020).

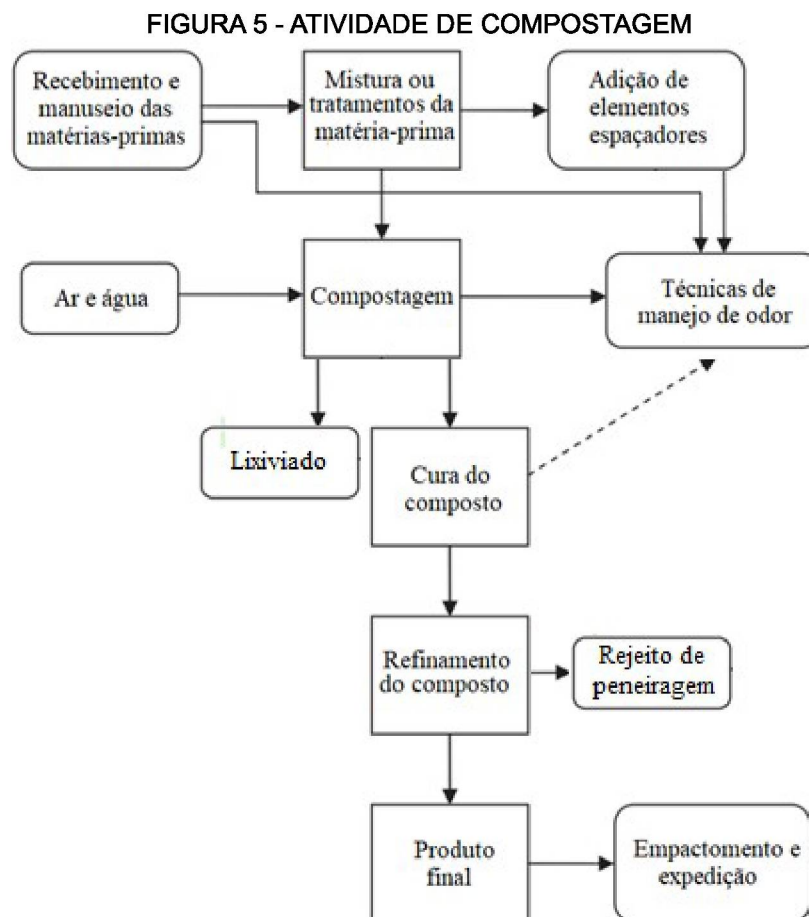
A umidade, quando em excesso (acima de 0,6), preenche os espaços porosos com água, limitando o acesso de oxigênio pelos microrganismos aeróbios, o que reduz a taxa de decomposição. A atividade microbiana também é reduzida quando a umidade está abaixo de 0,4 e praticamente não ocorre quando está abaixo de 0,2. Organismos com estruturas mais complexas que as bactérias, como actinomicetos e fungos – essenciais para a compostagem – são mais resistentes à falta de umidade, se tornando dominantes nestes casos. O aumento da temperatura providencia a redução da umidade por meio da evaporação conforme a compostagem se desenvolve. Essa característica é utilizada em benefício do arranjo das operações em uma unidade de compostagem, uma vez que umidades ótimas para a decomposição estão entre 0,5 e 0,55 e o peneiramento ocorre de forma efetiva com umidades abaixo de 0,45 (EPSTEIN, 2011).

O oxigênio utilizado na decomposição aeróbia pode ser fornecido por meio de convecção, reviramento ou aeração forçada por sopradores ou tambores rotativos. A aeração forçada na compostagem pode reduzir a fase de compostagem ativa de semanas e meses para até 5 dias. Unidades de compostagem podem, ainda, providenciar agentes espaçadores que garantam a porosidade necessária como galhos, pedaços de madeira, serragem ou até mesmo componentes artificiais inertes, reutilizados após sua recuperação na etapa de peneiramento (EPSTEIN, 2011; ALKOAİK, 2019).

Impactos negativos da compostagem foram elencados por Rushton (2003), como a geração de odores e ruídos, emissão de bioaerossóis vetores de bactérias e fungos, emissão de compostos orgânicos voláteis e rota possível de contaminantes para o solo e cadeia alimentar.

Lodos de ETE e fossas sépticas, biosólidos, fração orgânica de RSU, resíduos de jardinagem, resíduos alimentícios de refeitórios, corpos de animais, resíduos da indústria farmacêutica, de papel e celulose e indústria alimentícia, solo contaminado com hidrocarbonetos, entre outros, são resíduos que já mostraram suscetibilidade a serem compostados (EPSTEIN, 2011). O Ministério Público do Paraná, em Nota Técnica, afirma que não podem ser compostados, por sua característica inorgânica ou de difícil composição, carnes, materiais oleosos, plantas com doenças, vidros, metais, plásticos, couros, borrachas, tecidos, vernizes, restos de tinta, cinzas de cigarro, de madeiras e de carvão, assim como resíduos sanitários devido a presença de microrganismos patogênicos (MP-PR, 2011).

Diferentes operações são associadas a compostagem para viabilizar a atividade. A preparação da matéria prima tem como objetivo a redução do tamanho de partículas e a remoção de materiais indesejáveis e pode ocorrer por meio de trituração, peneiramento, triagem manual, separação magnética ou mesmo separação por corrente de ar. Esta etapa afeta diretamente a qualidade do produto final e do desenvolvimento da decomposição, uma vez que evita contaminantes presentes no material que chega à unidade. A compostagem em si apresenta uma diversidade de sistemas que podem ser aplicados, como os estáticos por meio de leiras fixas, com aeração forçada ou enclausuradas; sistemas móveis por meio de leiras reviradas, tambor rotativo ou leito com agitação (EPSTEIN, 2011). Um fluxograma típico para a execução da compostagem é representado na FIGURA 5 (EPSTEIN, 2011).



FONTE: Adaptado de Epstein (2011).

Há a necessidade de implantação de sistemas de drenagem de lixiviados nas unidades de compostagem, uma vez que estes efluentes necessitam tratamento, como por meio de lodo ativado ou degradação anaeróbica. Especialmente para

realizar a decomposição de compostos orgânicos solúveis. Uma das etapas para o refinamento do composto é a sua peneiragem para retirada de espaçadores e de outros resíduos eventualmente presentes, gerando rejeito de peneiragem (NOYES, 1994; BNDES, 2014).

Para Hettiarachchi (2020), a viabilidade de uma unidade de compostagem só é possível caso haja um mercado estável para o consumo do produto final. Para o autor, há uma assincronia entre os setores de gerenciamento de resíduos e de produção agrícola, que não estabelecem acordos comerciais que viabilizem em escala esse processo. O fato de haver uma falta de integração entre o setor público e privado seria uma dessas motivações, visto que unidades de compostagem são muitas vezes gerenciadas por gestão municipal e produtores e indústrias agrícolas compõem o setor privado.

Consumidores de fertilizantes minerais não alteram a fonte de nutrientes apenas por fatores ambientais. Mas a comercialização depende também da disponibilidade constante de composto, garantia de sua qualidade e o preço praticado no mercado. O uso de fertilizantes provenientes de resíduos garante ainda uma segurança na distribuição, uma vez que 80% dos fertilizantes brasileiros são importados e dependem de fatores externos da política internacional, como flutuação de preços ou instabilidades geopolíticas, como ocorreu em março de 2022 quando o governo federal suspendeu a comercialização com produtores de fertilizantes na Rússia (CANAL RURAL, 2022; HETTIARACHCHI; SERENA; SCHWÄRZEL, 2020; SEA, 2021).

A demanda pelo uso de fertilizantes é superior à produção nacional e tem crescimento em escala superior à produção de fertilizantes. O uso de composto a partir de resíduos é uma alternativa para a nutrição de solo. Ao tornar o processo economicamente rentável para as unidades de compostagem e seus prestadores de serviço, benefícios socioambientais podem ser alcançados mais facilmente implementando unidades de compostagem que podem tornar constante a produção e a sua qualidade (HETTIARACHCHI; SERENA; SCHWÄRZEL, 2020; SEA, 2021).

Para o Plano Nacional de Fertilizantes o uso de resíduos para produção de fertilizantes tem um forte peso ambiental. Entretanto, a cadeia de geração de compostos para uso agrícola proveniente de resíduos ainda necessita de informações regionalizadas sobre a disponibilidade de resíduos, assim como de suas características de interesse agrícola, e integração entre as políticas de gestão de resíduos e fertilizantes para que a prática se consolide (SEA, 2021).

2.3.4 Biodigestão

A digestão anaeróbia é um processo que ocorre em meio ausente de oxigênio e promove a transformação de matéria orgânica em digestato, lodo anaeróbio, biogás e outros gases de menor concentração (HARUN *et al.*, 2018). Muitas unidades de biodigestão são associadas a unidades de combustão ou turbinas de geração de energia para realizar o aproveitamento do biogás por meio de seu aproveitamento térmico ou uso e venda de energia elétrica (PILLI *et al.*, 2016).

O uso da digestão anaeróbia para o gerenciamento de resíduos possui as vantagens de gerar produtos com valor econômico e de baixo impacto ambiental, caso gerenciada adequadamente. A geração de energia elétrica por meio do biogás e o uso agrícola do digestato são produtos amplamente comercializados nas unidades de biodigestão (HARUN *et al.*, 2018; PILLI *et al.*, 2016). A redução da carga orgânica e disposição em aterros também são vantagens desta alternativa, além da fácil separação do biogás dos efluentes sendo processados (HORAN, 2018).

Diversos estudos concluem que a digestão anaeróbia é uma alternativa tecnológica para gerar energia a partir de resíduos orgânicos segregados ou predominantemente orgânicos. Isto porque o biogás gerado em um sistema adequado e biodigestão contém entre 65% e 80% de metano e 35 a 20% de dióxido de carbono por volume e o metano tem poder calorífico alto, estimado em 31,79 MJ/m³ (PILLI *et al.*, 2016).

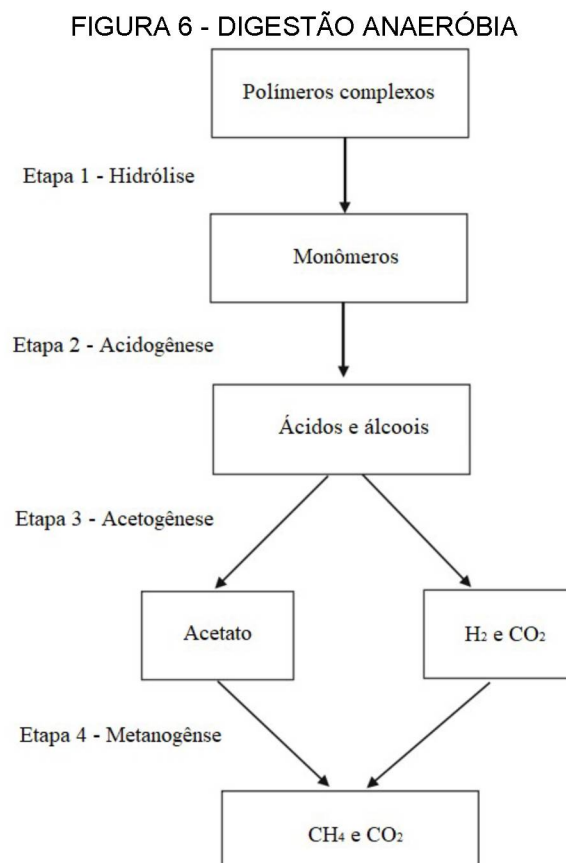
Entretanto, a existência de uma unidade de geração elétrica pode representar um desafio nas unidades, devido à complexidade e custos de manutenção e operação. Há uma necessidade de tratamento do dióxido de carbono e gás sulfídrico presentes no biogás (PILLI *et al.*, 2016). Horan (2018) expõe, ainda, que a viabilidade econômica da operação de biodigestores de produção de biogás em escala depende de grande consumo para sua alimentação, assegurado ao menos 30.000 t. de material anualmente.

O desenvolvimento do processo ocorre em quatro etapas distintas, sendo elas a hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. A primeira etapa ocorre devido à ação de microrganismos hidrolíticos que degradam lipídios, proteínas e outros polímeros complexos por meio de enzimas. Os convertendo em monômeros solúveis, como aminoácidos, açúcares e ácidos graxos de cadeia longa. A ação das enzimas

ocorre na superfície dos sólidos presentes no meio reativo e, portanto, a disponibilidade de área superficial de contato é um fator importante nesta etapa. (HARUN *et al.*, 2018; PILLI *et al.*, 2016; CHRISTY *et al.*, 2014). A adição de enzimas para beneficiar a etapa de hidrólise é uma alternativa para aumentar a produtividade nesta fase (RAJIN, 2018).

A segunda etapa consiste na ação de microorganismos acidogênicos, que convertem os monômeros dissolvidos em dióxido de carbono, gás hidrogênio, ácidos graxos voláteis e álcoois. Esta é a etapa mais rápida na digestão anaeróbia. A acetogênese ocorre na terceira etapa, quando microorganismos utilizam monômeros dissolvidos, ácidos orgânicos e ácidos graxos voláteis em acetato, gás hidrogênio e dióxido de carbono. O acetato gerado é, então, convertido em metano e dióxido de carbono por microorganismos metanogênicos na quarta etapa (PILLI *et al.*, 2016; RAJIN, 2018; CHRISTY *et al.*, 2014).

Os produtos de cada etapa da biodigestão está representado em fluxograma na FIGURA 6.



FONTE: Adaptado de Rajin (2018).

Os sistemas de digestão anaeróbia são sensíveis à elementos tóxicos presentes no meio reativo. Componentes como metais pesados, pesticidas e inseticidas influenciam na produtividade da unidade. Portanto, a caracterização química das matérias primas é um instrumento importante na gestão deste processo (PILLI *et al.*, 2018).

As etapas de pré-tratamento também são realizadas e têm como objetivo a adequação da corrente de alimentação e aumento da produção de biogás. Estes processos aumentam a acessibilidade dos microorganismos anaeróbios e a suscetibilidade à degradação química da matéria prima por meio de processos químicos, físicos, mecânicos ou biológicos (M. RAJIN, 2018; PILLI *et al.*, 2018).

Etapas de pré-tratamento físicas têm como objetivo a remoção de material inorgânico como metais e vidros. A triagem, segregação e imantização são operações utilizadas nestes casos. As operações mecânicas são utilizadas para reduzir o tamanho das partículas e consequentemente aumentar a área superficial disponível para contato na reação. Ocorrem principalmente por meio de trituração, gradeamento, ultrassom, entre outros (PILLI *et al.*, 2018).

A adição de bases, ácidos ou a oxigenação por meio de ozonização são operações de pré-tratamento químico utilizadas pra hidrolisar a matéria orgânica na alimentação e facilitar o processo de degradação. O uso de microorganismos e de enzimas específicas para realizar a hidrólise de material orgânico como pré-tratamento biológico também são utilizados (PILLI *et al.*, 2018).

Aparas de papel e outros materiais ricos em celulose possuem grande resistência à biodigestão. A estrutura complexa da celulose a protege contra a hidrólise enzimática e requer pré-tratamentos complexos, como por temperatura ou aumento e pH. Mesmo após estes tratamentos, a concentração de metano do biogás resultante de seu processamento é considerada baixa para garantir a viabilidade econômica da unidade. Apesar da geração de papel e papelão ocorrer em grande escala, elas e dá de forma dispersa. Para o autor, poucas unidades das fontes geradoras geram um volume adequado para viabilizar a instalação de biodigestores exclusivos, entretanto, podem servir como reserva de emergência de matéria prima para biodigestores caso necessário (HORAN, 2018).

A alta concentração de proteínas na corrente de alimentação leva a produção elevada de amônia, que pode causar inibição dos microorganismos da digestão, ou

de ácido propanoico, que pode acumular no meio reativo caso os componentes intermediários não sejam retirados (HORAN, 2018)

Apesar da biodigestão reduzir grandes quantidades de matéria orgânica, alcançando uma redução de até 90% para restos alimentares e 50% para lodos de ETE, há uma redução pequena de seu volume. Este fato ocorre devido a alimentação dos biodigestores ocorrer em fase líquida com concentração de sólidos entre 6 e 14%. Resíduos com teores de sólidos maiores devem ser diluídos, aumentando o volume de entrada nos reatores. Dessa forma, devem haver destinações econômicas seguras para o digestato resultante (HORAN, 2018)

O fósforo concentra-se no digestato e pode ser concentrado e utilizado em solo agrícola. O digestato pode, ainda, ser recirculado no reator ou ser utilizado para diluir as correntes de alimentação. Entretanto, há um risco associado à esta estratégia, uma vez que pode ocorrer precipitação de estruvita de forma indesejada nas linhas de transporte, levando a sua obstrução. A remoção da estruvita pode ser realizada em meio ácido por meio de ácido muriático, favorecendo sua solubilização (ANTES *et al.* 2019; HORAN, 2018).

O processo de digestão anaeróbia causa baixa eliminação de patógenos, impactando na destinação final de lodos e digestato. Havendo, assim, a necessidade de estágio de pasteurização, o qual assegura a destruição completa de agentes patógenos no digestato por meio da manutenção de temperaturas de 70°C durante 30 minutos nos reatores (HORAN, 2018)

Há três grupos de resíduos que podem ser usados como substratos para a digestão anaeróbia. São eles os provenientes de setores da agricultura, como podas, restos vegetais, sobras de colheitas e esterco; provenientes de comunidades como fração orgânica de RSU, restos alimentares, entre outros e provenientes da indústria, como processamento de alimentos e bebidas, laticínios, indústria açucareira, farmacêutica, cosmética, de papel e celulose, frigoríficos e matadouros (PILLI *et al.*, 2018).

As características da alimentação irão influenciar na decisão de qual sistema de digestão anaeróbia utilizar. A concentração de sólidos, tamanhos de partículas, umidade são algumas dessas características. As etapas de pré-tratamento podem adequar a alimentação com características distintas promovendo sua homogeneização (PILLI *et al.*, 2018). Há diversos sistemas de digestão anaeróbia com diferentes vantagens e desvantagens, como o processo Wassa, Dranco, Kompogas, Valorga,

Super Blue Box Recycling (SUBBOR), Biopercolat, Biocel, entre outros (PILLI *et al.*, 2016).

Estudo identificou resíduos possíveis de serem utilizados como matérias primas para processos de biodigestão anaeróbia no Paraná, gerando biogás a partir de origem urbana, agropecuária e industrial. Identificando oportunidades para biodigestão a partir de vinhaça da indústria de álcool e açúcar, a glicerina na indústria de biodiesel, efluentes da indústria de laticínio, como o soro de leite, água de lavagem e manipuera proveniente de fecularias, efluentes e provenientes de indústrias de bebidas, como cervejarias e beneficiadoras de frutas, efluentes de abatedouros e frigoríficos e até mesmo o licor negro proveniente da indústria de papel e celulose (SENAI PR, 2016).

O uso de glicerina na biodigestão deve ser consorciada com a alimentação de outros materiais, já que as concentrações de até 20% em peso de metanol podem causar ação inibidora nas bactérias metanogênicas, dificultando a geração de biogás (SENAI PR, 2016).

Expõe que a partir da implementação de legislações que visavam a redução de disposição final em aterros no Reino Unido, houve um aumento da instalação de biodigestores em setores com geração significativa de orgânicos. Apesar da compostagem ser uma destinação alternativa utilizada à época, não havia incentivos fiscais para sua implementação e a renda gerada por meio do uso da biodigestão eram superiores aos gerados nas unidades de compostagem. No período de uma década, haviam mais biodigestores utilizando restos alimentares como matéria prima do que lodos de ETE, os quais eram dominantes antes da implementação destas legislações (HORAN, 2018).

2.3.5 Disposição final em aterros

Apesar de a disposição ambientalmente adequada em aterros ser a última alternativa na hierarquia de GRS, essa destinação é amplamente utilizada para o RSU e RSI gerado no Brasil. Os aterros sanitários são locais onde são utilizados princípios de engenharia para confinar resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume possível sem causar danos à saúde pública e segurança, minimizando os impactos ambientais (ABRELPE, 2021; ABNT, 1992). É ainda caracterizado pela exigência de projetos que contemple sistema de drenagem superficial e de drenagem,

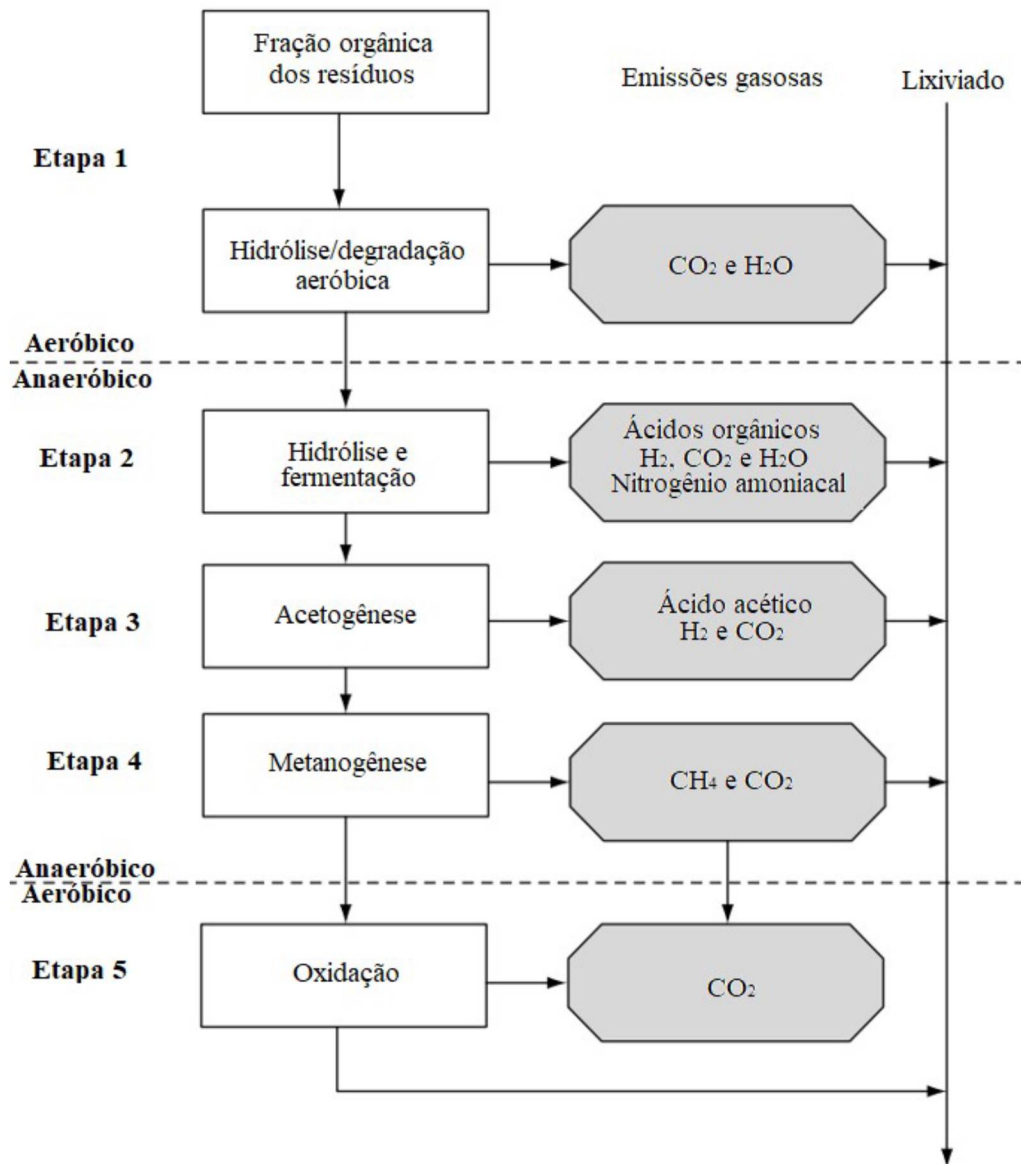
remoção e tratamento de percolado, impermeabilização inferior e sistema de drenagem de gases e ter cobertura diária. Os aterros são projetados para armazenar e tratar os resíduos (VAVERKOVA, 2019; ABNT, 1992)

A disposição em aterro sanitário é a principal destinação utilizada devido aos seu baixo custo de operação e aos requisitos técnicos reduzidos. A alta seletividade é outro fator determinante para esta escolha. Enquanto certos resíduos precisam atender diversos critérios para poderem ser reciclados, reutilizados ou reaproveitados, a disposição em aterro pode ser utilizada para a destinação de praticamente qualquer resíduo. Mesmo a geração de resíduos em processos de tratamentos ou em outras formas de destinação precisam ser dispostas, como cinzas de incineração de resíduos perigosos, rejeitos de triagem e materiais fora de especificação em unidades de reciclagem ou compostagem. Em contrapartida a estas facilidades estão o alto potencial de poluição, os impactos negativos existentes e o não aproveitamento dos potenciais econômicos e físico químicos dos resíduos (VAVERKOVÁ, 2019; WILLIAMS, 2005).

Um dos princípios para a operação de aterros é que propriedades gerais sobre composição e comportamento a longo prazo dos resíduos devem ser conhecidas o máximo possível. A disposição de pilhas, baterias, lâmpadas e embalagens de químicos, agrotóxicos e tintas são fontes de metais pesados que podem se tornar contaminantes presentes no lixiviado. Já resíduos com composição orgânica elevada, como lodos de ETE, favorecem os processos de biodegradação e geração de gases de aterro. A geração de lixiviado e gases de aterro levam à necessidade de coleta e tratamento, levando à custos maiores conforme sua geração também aumenta. Dessa forma, ações para evitar a sua geração são instrumentos para a gestão de uma unidade (WILLIAMS, 2005).

Os componentes orgânicos dos resíduos são degradados por microorganismos presentes nos aterros e podem ser classificados em grandes grupos bioquímicos, como proteínas, carboidratos e gorduras. Os carboidratos constituem o grupo mais comumente presente nos aterros e incluem celulosas, açúcares e amidos. As proteínas são componentes complexos compostos por centenas de grupos de amino ácidos e as gorduras são estruturas compostas por ácidos graxos e de longas cadeias carbônicas. Ocorrem cinco estágio de biodegradação em aterros. Diferentes estágios ocorrem em áreas distintas, uma vez que a distribuição de novos resíduos diariamente ocorre de forma heterogênea (WILLIAMS, 2005). A FIGURA 7 apresenta as principais etapas de biodegradação da massa de resíduos em um aterro.

FIGURA 7 - BIODEGRADAÇÃO EM ATERROS



FONTE: Adaptado de Williams (2005).

A primeira etapa consiste em decomposição aeróbica ou hidrólise. Os micro-organismos consomem o oxigênio (O₂) e a fração orgânica dos resíduos, produzindo hidrocarbonetos de cadeias menores, de dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O). Ocorre a formação de ácido carbônico pela solubilização do CO₂ no lixiviado, reduzindo seu pH. Esta fase eleva a temperatura da massa de resíduo até uma faixa de 70 a 90 °C por serem reações exotérmicas. Já na segunda etapa os microorganismos anaeróbicos facultativos promovem a decomposição de açúcares gerados pela hidrólise de carboidratos, proteínas e gorduras. O que resulta em gás carbônico (CO₂), gás hidrogênio (H₂), amônia (NH₄) e ácidos orgânicos (ácido acético, propanoico, butírico,

entre outros). Ocorre, ainda, a decomposição de proteínas gerando amônia, ácidos carboxílicos e dióxido de carbono por meio de desnitrificação. O lixiviado gerado tem concentrações elevadas de nitrogênio amoniacal. A temperatura reduz para a faixa de 30 a 50 °C. Os gases chegam a concentrações de 80% de CO₂ e 20% de H₂ (WILLIAMS, 2005).

A terceira etapa é caracterizado pela reação de acetogênese em condições anaeróbias. Os ácidos orgânicos são convertidos em ácido acético, dióxido de carbono e hidrogênio. A baixa concentração de hidrogênio acaba por criar condições favoráveis para os microrganismos anaeróbicos que geram metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). As condições ácidas aumentam a solubilidade de íons metálicos e ácidos orgânicos, íons amoníacos, de cloro e de fosfatos no lixiviado. Gás sulfídrico (H₂S) é gerado pela redução de compostos de enxofre. A reação de geração de gás de aterro se torna dominante no quarto estágio. Onde ocorrem microrganismos mesofílicos e termofílicos. O consumo de ácidos orgânicos pela metanogênese eleva o pH até a faixa de 7 a 8. Esta etapa é a mais lenta e ocorre de 6 meses até alguns anos, a depender da concentração de água presente. A geração de gás de aterro continua de 15 a 30 anos após a disposição de resíduos, podendo chegar até mais 100. A última etapa resulta do consumo dos ácidos pela metanogênese, extinguido microrganismos anaeróbios. Novos microrganismos aeróbios se tornam dominantes lentamente, convertendo metano residual em gás carbônico e água até a estabilização da massa de resíduos do aterro (WILLIAMS, 2005).

Há diversos fatores que influenciam na degradação dos resíduos presentes em aterros, entre eles estão as dimensões construtivas do aterro, como a altura da coluna de resíduos. Quanto mais elevada a coluna, maior a fase anaeróbia e menos favorecido fica a circulação de ar, favorecem do a geração de gás de aterro. A cobertura diária de resíduos também desfavorece as etapas aeróbias por não permitir a exposição prolongada dos resíduos ao ar atmosférico (WILLIAMS, 2005).

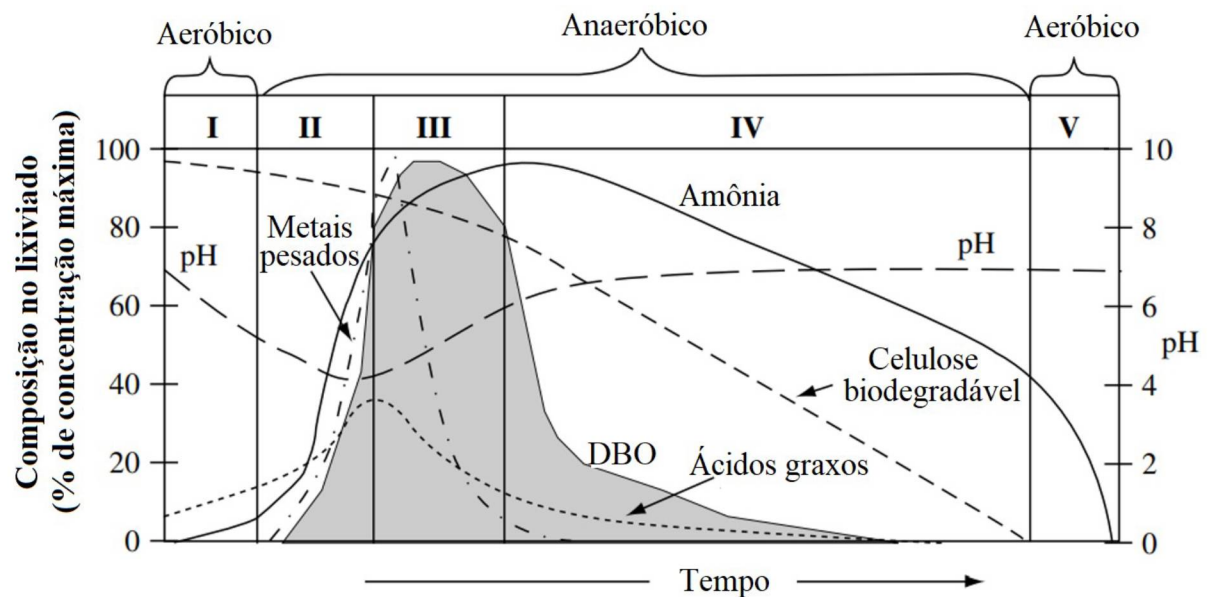
Propriedades dos resíduos, como a fração orgânica são características determinantes para compreender qual será o comportamento do aterro no decorrer de sua operação. A trituração ou redução da dimensão dos resíduos aumenta a atividade biológica por promover homogeneidade e aumentar a área de contato, enquanto a compactação aumenta a produção de gás de aterro por volume utilizado. Entretanto, a compactação e redução excessiva da dimensão das partículas pode limitar a percolação de líquidos na massa de resíduos, considerada essencial para viabilizar a

mobilidade de nutrientes e os próprios microorganismos presentes no sistema (WILLIAMS, 2005).

A disposição de resíduos impermeabilizantes, como plásticos, dificulta a compactação da célula do aterro e prejudicam a decomposição dos materiais biologicamente degradáveis por meio da criação de camadas impermeáveis que reduzem a mobilidade dos fluídos e gases dentro da massa de resíduos (CEMPRE, 2018).

A mudança na composição dos gases de aterro e do lixiviado durante os cinco estágios distintos é ilustrado nas FIGURA 8 e FIGURA 10.

FIGURA 8 - PERFIL DE COMPOSIÇÃO DO LIXIVIADO DURANTE OS ESTÁGIOS DE BIODEGRADAÇÃO



FONTE: Adaptado de Williams (2005).

A celulose é consumida pelos diferentes microorganismos durante todos os estágios. Os ácidos graxos gerados pelos microorganismos anaeróbicos nos estágios II e III são consumidos na fase metanogênica, convertidos em metano e gás carbônico. A geração de ácidos orgânicos até o final do segundo estágio reduz o pH do lixiviado, favorecendo a solubilização de metais como cromo, ferro e manganês. Quando os ácidos são consumidos na fase metanogênica, o pH se eleva e a solubilidade dos metais aumenta e são formadas precipitações metálicas em forma de sulfuretos, hidróxidos e carbonatos. A demanda bioquímica de oxigênio aumenta do segundo para o terceiro estágio, mas reduz na fase metanogênica (WILLIAMS, 2005). A quantidade de lixiviado formado é principalmente afetada pela precipitação que incide sobre o

aterro, entretanto, a água proveniente da decomposição e inerente aos resíduos dispostos também têm uma participação importante para sua formação (VAVERKOVA, 2019).

O lixiviado de aterro consiste em efluente com alto potencial de poluição de águas superficiais e subterrâneas. Os elementos prejudiciais ao meio ambiente presentes em sua composição são a elevada concentração de matéria orgânica, sais inorgânicos, metais pesados, e componentes xenobióticos. Sua composição é diferente para cada unidade de aterro, dependendo de fatores como composição dos resíduos dispostos (fração orgânica, solubilidade, estado físico químico, toxicidade), clima da região, hidrogeologia da infraestrutura e idade do aterro. Por isso, a determinação de um único procedimento que possa realizar o tratamento do chorume para qualquer unidade é um desafio técnico (COSTA *et al.*, 2019; BRENNAN *et al.* 2016). O sistema de drenagem de lixiviado pode ser construído a partir de diferentes aspectos construtivos. Um desses sistemas consiste na construção de drenos distribuídos sobre as bases das células que convergem para um dreno central. O lixiviado é transportado por gravidade devido à um desnível na base do aterro até lagoas de acumulação e posteriormente destinados às etapas de tratamento (MTX AMBIENTAL, 2017). É possível observar um exemplo de estrutura de drenos sob base de aterro para coleta de lixiviado na FIGURA 9.

FIGURA 9 – SISTEMA DE DRENAGEM DE LIXIVIADOS



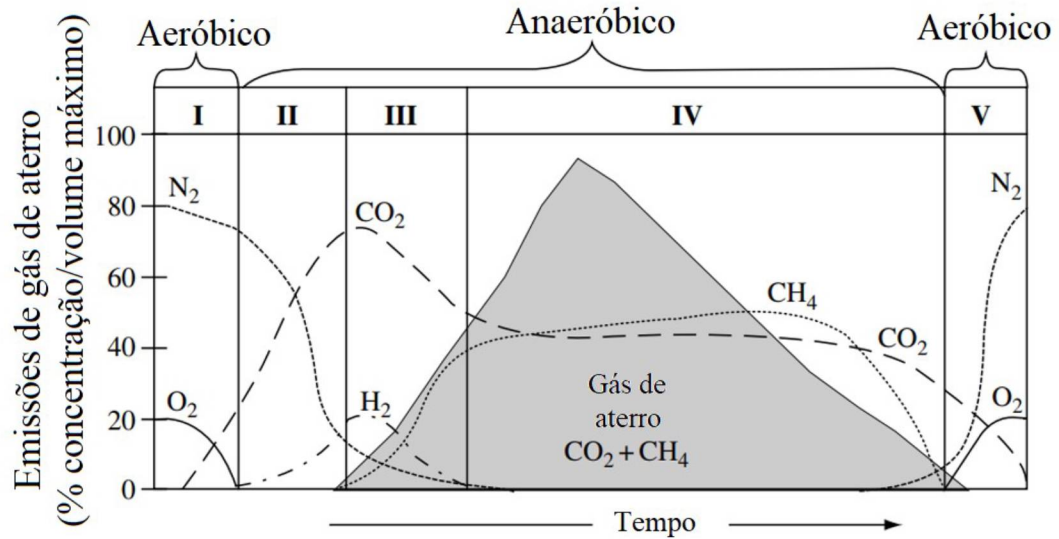
FONTE: MTX Ambiental (2017).

Comumente lixiviados gerados em aterro podem ser tratados por quatro grupos de processos. Os processos biológicos podem ser realizados por meio de lodo ativado, lagoas aeróbias e anaeróbias, filtros biológicos e lagoas de estabilização. Processos físico-químicos também são utilizados, como flotação, coagulação, floculação, adsorção, precipitação química, *air stripping*, ajustes de pH, oxidação química, troca iônica e tratamento eletroquímico. A filtração por membranas como osmose reversa ou outras filtrações e os métodos de oxidação avançada por ozonização também são utilizados (VAVERKOVA, 2019). Para Costa *et al.* (2019) o monitoramento de aterros sanitários no Brasil é escasso e pouca informação a respeito do tratamento de lixiviados no país, o que resulta na necessidade de investimento no tratamento de efluentes de aterros sanitários e na fiscalização ambiental para cumprimento de critérios técnicos a respeito do tema.

A Resolução CEMA nº 94/14, que dispõe sobre o licenciamento, restrições locais e demais exigências a respeito de aterros sanitários no Paraná exige que o lixiviado dos aterros deva ser tratado por recirculação no próprio aterro, tratamento no local ou tratamento terceirizado. Entretanto, mesmo quando encerrado, o aterro permanece gerando efluentes e, por conseguinte, custos com tratamento em ETEs, bombeamento para recirculação e eventuais destinações dos efluentes para terceiros.

A FIGURA 10 mostra a formação inicial de gás hidrogênio e gás carbônico durante as decomposições aeróbia, o segundo e terceiro estágio representam o início da geração do gás de aterro, favorecido pela dominância de microorganismos metanogênicos na ausência de gás de hidrogênio. O final do ciclo é caracterizado pela volta de condições aeróbias e o fim da geração de metano (WILLIAMS, 2005).

FIGURA 10 - PERFIL DE COMPOSIÇÃO DO GAS DE ATERRO DURANTE OS ESTÁGIOS DE BIODEGRADAÇÃO



FONTE: Adaptado de Williams (2005).

O gás de aterro gerado pode ser coletado e destinado para queima em um *flare*, transformando assim o metano completamente em gás carbônico, reduzindo impacto como gás de efeito estufa e riscos com incêndios. A coleta dos gases de aterro deve ocorrer por meio de um sistema de drenagem de gases, que pode estar ou não associado ao sistema de drenagem de chorume (ABNT, 1992). O sistema de drenagem de gases mais utilizado no Brasil é composto por poços verticais de concreto armado perfurados, envolvidos por brita ou rachão (VAN ELK, 2007). Um exemplo de dreno de gases de aterro está expresso na FIGURA 11.

FIGURA 11 – DRENO DE GASES DE ATERRO



FONTE: MTX Ambiental (2017).

Entretanto, as altas concentrações de metano, com alto poder calorífico, tornam possível a utilização do gás de aterro como fonte energética. Os gases são drenados até unidade de geração de energia elétrica por meio de bombas à vácuo. Motores de combustão interna utilizam o gás como combustível para acionar as turbinas. O reaproveitamento energético pode estar associado a um sistema de impermeabilização superior para evitar a fuga do gás de aterro para a atmosfera e a sistemas otimizados de coleta no interior do aterro (VAN ELK, 2007).

O armazenamento de grandes quantidades de resíduos aliada à geração de metano faz com que incêndios em aterros não sejam um evento incomum. Entre 2004 e 2010 houveram 840 eventos de incêndio registrados nos EUA, dos quais mais do que um quarto ocorreram repetidamente na mesma unidade. Somente no Paraná, pelo menos 6 incêndios em aterros sanitários municipais foram noticiados pela mídia entre o segundo semestre de 2020 e o primeiro semestre de 2021 (RPC FOZ DO IGUAÇU, 2020; TOLEDO, 2020; INFORME POLICIAL, 2020; PORTAL DA CIDADE PARANAÍ, 2021; CATVE, 2021; PORTAL OESTE NEWS, 2021).

A queima de resíduos afeta a qualidade do ar mesmo em regiões distantes por meio da emissão de componentes tóxicos, como material particulado,

organoclorados, dioxinas/furanos, hidrocarbonetos aromáticos, metais pesados. Ainda, a fumaça de incêndios em aterro traz outros gases prejudiciais como monóxido de carbono, gás sulfídrico, metano, entre outros. Além de odores (MORALES *et al.*, 2017). Substâncias químicas como dioxinas, furanos e compostos organoclorados são lipofílicos e acumulam em tecidos gordurosos, permanecendo nas cadeias alimentares de humanos e animais. A presença desses compostos está associada à problemas reprodutivos e de desregulação endócrina (ASSUNÇÃO *et al.*, 2009; RUSHTON, 2022).

Incêndios em aterros podem ocorrer de duas formas, pela queima superficial ou queima submersa. Os incêndios superficiais são visíveis, facilmente detectáveis e monitoráveis. O controle deste tipo de queima deve ser feito rapidamente, uma vez que toma proporções perigosas rapidamente. Incêndios submersos são de difícil detecção e ocorrem no interior da massa de resíduos sob condições anóxicas. Este tipo de queima gera monóxido de carbono (CO) e pode ser monitorado por meio da concentração este gás nos gases drenados do aterro. A sua proliferação pode danificar a infraestrutura do aterro, como os drenos de gases e de lixiviado e tendem a durar semanas ou meses (CHAVAN *et al.*, 2019).

Incêndios ocorrem devido a concentração de material combustível (resíduos), concentração de oxigênio e temperaturas elevadas no interior ou superfície do aterro. O processo de biodegradação de resíduos pode chegar à 65°C e o controle de temperatura é necessário para evitar temperaturas de ignição. As temperaturas de ignição são diretamente proporcionais ao teor de umidade dos resíduos e indiretamente proporcional à idade do aterro. Estudo concluiu que resíduos com 55 a 60% de umidade possuem temperaturas de ignição maiores que 260°C e com umidade de 5 a 30% obtiveram temperatura de ignição cerca de 160°C, enquanto que resíduos com idade de 60 meses apresentaram ignição à 98°C (CHAVAN *et al.*, 2019).

Devido a disponibilidade de material combustível, os incêndios podem se entender durante vários dias. O metano é o principal componente de combustão presente na massa de resíduo e, por isso, deve ser sempre drenado e incinerado ou reaproveitado como biogás. Estes eventos podem causar, ainda, danos à infraestrutura do aterro, rompendo mantas impermeabilizantes ou tubulações de transporte de lixiviado, exercendo um grande risco ambiental (MORALES *et al.*, 2017. VAVERKOVA, 2019).

Risco de incêndios ocorrem em lixões e aterros mesmo após o seu fechamento devido a geração de metano e os seus combates requerem uso intensivo de recurso e trazem impactos negativos para a saúde pública (MORALES *et al.*, 2017).

Segundo Vaverkova (2019), o encerramento de aterros deve ser procedido de monitoramento. Em diversos países, o monitoramento de aterros encerrados deve-se proceder após 30 a 60 anos após o seu encerramento. Em outros países, medidas de controle e monitoramento ocorre até quando administração do Estado decidir que ela é desnecessária. O monitoramento e controle de aterros encerrados é necessário para um período além de uma geração. Ainda para a autora, não há na literatura um conceito difundido sobre quando ações após o seu encerramento devem ser encerradas, mas que um aterro é considerado seguro quando atinge um momento quando o seu conteúdo não representa mais uma ameaça à saúde humana ou ao meio ambiente.

No Paraná o encerramento de aterros deve ser precedido de autorização ambiental junto a um plano de encerramento e recuperação ambiental da área no qual seus definidos procedimentos e programa de monitoramento e controle ambiental (PARANÁ, 2014). De acordo com a NBR ABNT N° 13.896/97, as águas subterrâneas devem ser monitoradas por um período de 20 anos após o fechamento da instalação, podendo ser alterado se for comprovado que não há mais geração de chorume ou caso haja necessidade. Há ainda a exigência de monitoramento do corpo hídrico a montante e jusante do empreendimento durante toda sua vida útil, incluindo o tempo de pós fechamento.

Para Vaverková (2019), mesmo sejam atingidos níveis elevados de redução de geração resíduos, reutilização e reciclagem, o gerenciamento de resíduos sem a destinação para aterro é utópico. Certos resíduos possuem apenas a disposição final como destinação ambientalmente adequada, não existindo alternativa técnica e financeira para reciclagem, reaproveitamento ou mesmo aproveitamento térmico.

A destinação para aterro deve ser utilizada, ainda, quando equipamentos de processos de tratamento e reciclagem encontram-se fora de operação para manutenção ou reparos devido a imprevistos ou mesmo quando a taxa de geração de resíduos se tornar repentinamente elevada em eventos especiais ou desastres. O aterro sanitário deve ser reconhecido como um elemento necessário para a segurança no gerenciamento de resíduos, servindo como válvula de escape (VAVERKOVÁ, 2019).

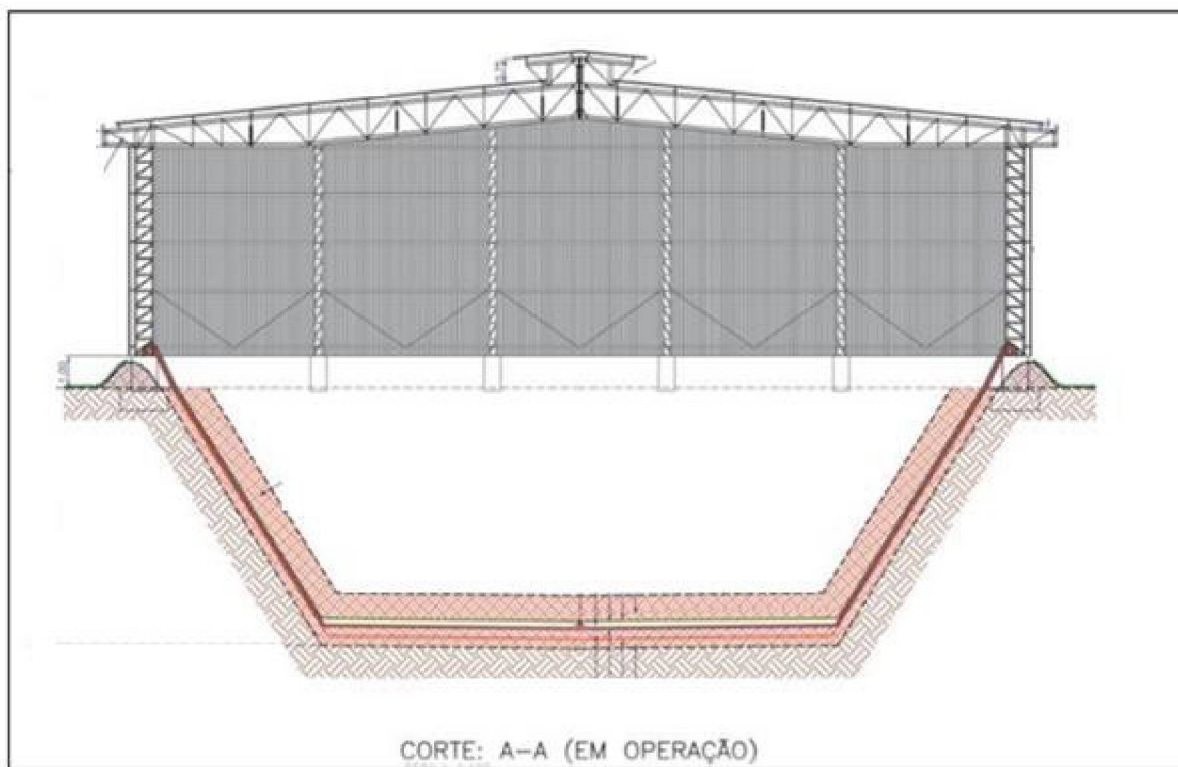
2.3.5.1 Disposição de resíduos perigosos em aterro

A disposição de resíduos sólidos perigosos ocorre em aterros com critérios construtivos distintos dos sanitários. Por possuir substâncias nocivas ao meio ambiente e a saúde humana, essas estruturas são construídas de forma a enclausurar esses compostos na massa de resíduos. A ABNT NBR nº 10.157/86 dispõe sobre as condições em que devem operar e serem construídos (BRASIL, 1986).

Há a necessidade de realizar análise prévia das propriedades físico-químicas dos resíduos dispostos para identificar os componentes nocivos. Uma vez conhecidos, os resíduos são separados em grupos de compatibilidade que não devem entrar em contato físico ou devem ser neutralizados, por exemplo, em valas de solidificação, antes de serem dispostos junto a resíduos de outros grupos. A ABNT NBR nº 12.235/92 dispõe sobre os 14 grupos de incompatibilidade e a relação entre os grupos, assim como suas características e efeitos das misturas (BRASIL, 1992).

A construção de um aterro de resíduos perigosos deve contemplar dupla impermeabilização em sua base e impermeabilização para as células já preenchidas. Dessa forma, evita-se a infiltração pluvial e a lixiviação das células superiores (TOCHETTO, 2005). Um exemplo de projeto para aterros industriais está representado na FIGURA 12.

FIGURA 12 - CORTE VERTICAL DE PROJETO DE ATERRO PARA RESÍDUOS SÓLIDOS PERIGOSOS



FONTE: Adaptado de MTX Ambiental (2017).

É possível observar na FIGURA 12 a previsão de cobertura lateral e superior com ventilação na célula em operação para evitar incidências pluviais, além do dreno para o poço testemunho, base constituída por argila compactada e camada dupla de impermeabilização na base do aterro. O poço testemunho tem como objetivo o monitoramento da integridade da impermeabilização da base do aterro (MTX AMBIENTAL, 2017).

Diversas reações ocorrem no interior da massa de resíduos como de biodegradação, redox, complexificação, trocas iônicas, adsorção, precipitação ou neutralização. O que torna difícil o entendimento do comportamento em um aterro de resíduos sólidos perigosos. A percolação do lixiviado pela massa de resíduos na unidade acaba por dispersar e diluir poluentes e o lixiviado pode ser ainda absorvido por outros resíduos. As reações químicas que ocorrem a partir do lixiviado podem ser atenuadas ou reduzidas pela interação do chorume com outros componentes ao redor, como materiais intermediários usados na cobertura diária ou inertes (WILLIAMS, 2005).

Os resíduos dispostos devem ser o máximo possível secos, estáveis, pouco solúveis e não voláteis afim de reduzir a geração e gases e de lixiviado nas células.

Deve-se, também, imobilizar as substâncias perigosas constantes nos resíduos. O processo de solidificação, ou encapsulamento, é utilizado para ambos estes objetivos. Esta técnica imobiliza componentes perigosos por meio da adição de agentes aglomerantes como cimento Portland, cinzas volantes e de fornos de calcinação, óxidos, cal, calcáreo, cinzas finas, asfalto, borracha ou cerâmica vermelha. A redução da umidade dos resíduos pode ser realizada por meio de mistura com resíduos inertes compatíveis (TOCHETTO, 2005; BREHM *et al.* 2013).

Dentre as vantagens do uso da solidificação, estão a melhora nas propriedades físicas e de manuseio dos resíduos, diminuição da área superficial de transferência de massa do resíduo com o meio, limitação da solubilidade e imobilização de componentes perigosos nos resíduos (TOCHETTO, 2005).

2.4 INSTRUMENTOS DE CONTROLE E MONITORAMENTO

Este capítulo tem como objetivo apresentar as principais ferramentas utilizadas no Estado do Paraná para a fiscalização, controle e monitoramento de resíduos sólidos industriais. Serão descritas a seguir as características dessas ferramentas.

2.4.1 Licenciamento ambiental

O licenciamento ambiental é um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, em acordo com o Art. 9º da Lei nº 6.938/1981 e teve sua definição estabelecida pela Resolução Conama nº 237/97. A Resolução dispõe que a localização, instalação, operação e ampliação de atividades de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais efetivamente ou potencialmente poluidoras devem ser submetidas ao procedimento administrativo de licenciamento ambiental (BRASIL, 1997).

A declaração de resíduos sólidos, sua geração diária e seu destino final nas licenças ambientais e suas renovações é outro instrumento de controle de RSI no Paraná. As informações cedidas devem estar de acordo com o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do empreendimento, que também deve ser atualizado. Atualmente, todos estes instrumentos estão em plataforma digital.

De acordo com a Resolução Conama nº 237/97 em seu Art. 8º, o licenciamento deve ser expedido nas modalidades de Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO) (BRASIL, 1997).

No Paraná, o licenciamento ambiental é disposto pela Resolução CEMA nº 107/20. A legislação paranaense implementa ainda, outras modalidades de licenças além das estabelecidas pela legislação federal. Como disposto em seu Art. 3º, Declaração de Inexigibilidade de Licença Ambiental (DILA), Declaração de Dispensa de Licenciamento Ambiental Estadual (DLAE), Licença Ambiental por Adesão e Compromisso (LAC), Licença Ambiental Simplificada (LAS) e Licenciamento Ambiental de Regularização (PARANÁ, 2021).

A Resolução dispõe ainda que os empreendimentos que tenham requerido a renovação da licença ambiental com antecedência de 120 dias da expiração de seu prazo de validade possuem a garantia protetiva da prorrogação automática. Casos em que, mesmo com sua licença vencida e até a decisão administrativa a respeito do deferimento ou não de sua renovação, são considerados vigentes.

Segundo a Resolução CONAMA nº 237/97, é de competência do órgão ambiental municipal o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades de impacto ambiental local e aquelas delegadas pelo Estado. Desde que, para exercer a competência licenciatória, o ente federado tenha implementado Conselho de Meio Ambiente com caráter deliberativo e participação social e possua a sua disposição profissionais legalmente habilitados.

Os critérios e procedimentos para o licenciamento ambiental municipal, assim como exigências cometidas aos Municípios para exercerem o licenciamento, são dispostas pela Resolução CEMA Nº 110/2021.

O CEMA possui disponível em seu website a relação dos Municípios aptos a exercerem a descentralização administrativa do licenciamento. São eles Curitiba, Maringá, São José dos Pinhais, Londrina, Pinhais e Guarapuava (CEMA, 2022). Entretanto, outros municípios já estiveram descentralizados, como Arapongas, Araucária, Campo Largo, Cascavel, Castro, Clevelândia, Diamante do Sul, Fazenda Rio Grande, Foz do Iguaçu, Guaratuba, Ipiranga, Jaguariaíva, Londrina, Maringá, Paranaguá, Paranavaí, Pinhalão, Piraquara, Ponta Grossa, Quatro Barras, Alto Paraíso, Altônia, Icaíma, Guaíra, São Jorge do patrocínio e Terra Roxa (PERS, 2016).

Apesar de o uso do Sistema de Informações Ambientais disponibiliza pelo IAT constar como uma obrigação legal em acordo com o Art 5º da Resolução CEMA nº

110/21, há Municípios que realizam o licenciamento e não utilizam o SGA ou disponibilizam seus dados ao IAT.

A falta de integração entre os diferentes sistemas de gestão representa uma fragilidade na gestão ambiental do Estado, dificultando a obtenção de dados, o controle, o monitoramento e a fiscalização. O desarranjo na descentralização do licenciamento traz, ainda, imprecisões na obtenção de dados e nas análises possíveis nas ações de avaliação dos dados de licenciamento ambiental no Estado.

2.4.2 Inventário de resíduos industriais

O instrumento específico para controle e monitoramento de informações a respeito dos RSI é o Inventário de Resíduos Sólidos Industriais (IRSI), instituído pela Resolução CONAMA nº 313 de 2002, considerado essencial para a elaboração de diretrizes nacionais visando o controle dos resíduos industriais segundo a mesma. Consiste na autodeclaração de dados sobre geração, características, armazenamento, transporte e dos resíduos sólidos gerados pelas indústrias.

As informações deveriam ser prestadas ao órgão ambiental estadual e atualizadas a cada vinte e quatro meses, ou em menor prazo, de acordo com o estabelecido pelo próprio órgão.

Com a publicação da Lei nº 12.305/2010, os inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos foram reconhecidos como um dos instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, que configurou marco da gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos no Brasil.

Entretanto, há baixa adesão dos Estados quanto a disponibilização de plataformas para a prestação das informações do IRSI desde sua implementação. Dos 26 Estados brasileiros, mais o Distrito Federal, apenas 12 possuem menção ou endereço específico para prestação do IRSI nos sites de suas secretarias de meio ambiente ou de seus órgãos ambientais. Destes Estados, apenas 8 publicaram relatório ou diagnóstico do inventário, sendo que apenas Minas Gerais e Paraná disponibilizaram atualizações destes relatórios nos últimos 10 anos.

A falta de adesão e de publicização dos dados dos IRSI acabam por resultar em informações qualitativas e quantitativas escassas e defasadas a respeito da geração de RSI no Brasil, o que dificulta a aplicação como instrumento para planejamento e elaboração de diretrizes políticas (BRASIL, 2020).

A nacionalização da obtenção dos dados referentes ao IRSI foi estabelecida a partir de 2020 pela Portaria MMA nº 280/20, que institui a obrigatoriedade dos geradores de resíduos industriais de reportar as informações referente ao Inventário de Resíduos Sólidos até o dia 31 de março de cada ano por meio de plataforma digital do SINIR. De acordo com a Portaria, o diagnóstico da situação dos resíduos sólidos no país será disponibilizado periodicamente a partir dos dados cedidos pelos geradores.

A Portaria MMA nº 280/20 estabeleceu também que os estados brasileiros que possuam sistema de movimentação de resíduos próprios implantados e optarem pelo seu uso deverão disponibilizar as informações de modo a consolidar as informações no sistema nacional. Contudo, a exigência de prestação do inventário de resíduos na plataforma nacional e estadual não foi disposta na Portaria, permanecendo a interpretação de que atualmente há a exigência de informar o inventário nas duas plataformas.

No Estado do Paraná, a prestação de informações por meio do Inventário de Resíduos Sólidos constitui uma das exigências de Renovação de Licença de Operação para atividades geradoras de resíduos sólidos no Paraná pelo Decreto Estadual nº 6674/2002 em seu Art. 17 e para empreendimentos industriais, em acordo com o Art. 7º da Resolução CEMA nº 70/09. Considerando que os prazos de validade das licenças de operação de empreendimentos industriais variam de 2 a 10 anos, fica indiretamente estabelecido a exigência legal destes prazos para o envio dos inventários de resíduos sólidos no Estado.

Ainda, o prazo para a prestação do Inventário de Resíduos para todas as atividades geradoras de resíduos sólidos no Paraná é estabelecido de forma anual pelo Art. 21 da Portaria IAP nº 212/19. Que também orienta quanto a prestação do inventário de forma digital pela plataforma SGA-IR.

O IAT possui plataforma própria para a declaração do IRSI associado a plataforma SGA desde 2016. O SGA-IR permite que empreendimentos que possuam cadastro no sistema informem inventários atualizados ou retroativos. A prestação da informação gera um comprovante de entrega de inventário, que é solicitado ao empreendedor quando da renovação de sua licença.

Por meio do IRSI é possível constatar destinações de RSI em conflito com a legislação ambiental ou destinações a empreendimento sem licenciamento ambiental. O que faz com que, ao exigir a declaração dos empreendimentos e tecnologias de

destinação, o inventário de resíduos acessível ao órgão ambiental é também utilizado como instrumento para a fiscalização da destinação de resíduos sólidos industriais.

O IRSI é também utilizado como uma ferramenta para o gerenciamento de áreas contaminadas nos empreendimentos responsáveis pelo tratamento ou destinação final de resíduos, uma vez que indica a periodicidade, quantidade e natureza de resíduos destinados nesses locais. A prestação de informações pelos geradores dos resíduos e não pelos receptores pode ser positiva nos casos onde o responsável pelo destino final não possui registro de recepção de resíduos ou quando surgem dificuldades na colaboração por parte do empreendedor.

Entretanto, a baixa adesão por parte dos respondentes e os esforços de implementação com baixa continuidade e permeabilidade no Brasil dificultaram a sua aplicação para conhecimento do atual cenário no setor (PLANARES, 2020). A falta de publicização dos diagnósticos dos IRSI por parte dos órgãos gestores é outra característica que dificulta o uso destas informações. Entretanto, o Instituto Água e Terra, órgão ambiental estadual do Paraná, vem publicando o diagnóstico dos IRSI desde 2016 (PARANÁ, 2009).

2.4.3 Classificação industrial

A classificação industrial no Estado do Paraná ocorre principalmente a partir das categorias de porte, tipologia de atividade de operação e área de abrangência de acordo com o escritório regional de referência.

De acordo com a Resolução Cema nº 107/21, o porte do empreendimento consiste no dimensionamento com base em critérios pré-estabelecidos e em função de sua tipologia. No Paraná, o órgão ambiental competente deve utilizar critérios diferenciados para o licenciamento em função do porte, da localização, do potencial poluidor e/ou degradador do empreendimento, níveis de tolerância para carga poluidora na região. Utilizando destes critérios para estabelecer o enquadramento do tipo de licenciamento e estudos ambientais a serem exigidos (PARANÁ, 2020).

O licenciamento industrial no Paraná contempla os portes pequeno, médio, grande e excepcional e ocorrem em acordo com o determinado pela Lei Estadual nº 10.233/1992 e modificado pela Resolução Cema nº 70/09.

O enquadramento do porte ocorre em função da maior categoria estabelecida por um dos três parâmetros. Desta forma, um empreendimento que tenha dois

parâmetros que o indique como porte “Pequeno”, mas possua um dos parâmetros que o categorize como porte “Grande” é enquadrado como de porte “grande” (PARANÁ, 1992).

O parâmetro “Investimento total” é determinado pelo somatório do valor atualizado do investimento fixo e do capital de giro da atividade, convertido em Unidade Padrão Fiscal do Estado do Paraná (UPF/PR), a qual é atualizada anualmente e, no ano de 2023, teve o valor de R\$ 129,13 (PARANÁ, 2023).

A relação da classificação do porte em acordo com os parâmetros está expressa no QUADRO 3.

QUADRO 3 - CATEGORIZAÇÃO DE PORTES DE EMPREENDIMENTOS NO PARANÁ

Porte do empreendimento	Área Construída (m²)	Investimento Total (UPF/PR)	Número de Empregos
Pequeno	Até 2.000	De 2.000 a 8.000	Até 50
Médio	De 2.000 a 10.000	De 8.000 a 80.000	De 50 a 100
Grande	De 10.000 a 40.000	De 80.000 a 800.000	De 100 a 1.000
Excepcional	Acima de 40.000	Acima de 800.000	Acima de 1.000

FONTE: Paraná (1992).

A classificação por tipologia utilizada no Estado do Paraná para a atividade industrial é dividida em 22 tipologias distintas, sendo elas Indústria da madeira; alimentos; beneficiamento e armazenamento de produtos agrícolas; indústria diversas; indústria metalúrgica; indústria química; indústria de produtos de matéria plástica; indústria têxtil, de vestuário, calçados e artefatos de tecidos; beneficiamento de minerais não metálicos; fabricação de máquinas e equipamentos; bebidas; indústria de material elétrico, eletrônicos e de comunicação; indústria de papel e celulose; indústria da borracha; beneficiamento de mandioca; fabricação de instrumentos e materiais para uso médico e odontológico e de artigos ópticos; indústria do couro e peles; indústria de material de transporte; indústria do açúcar e do álcool; fabricação de produtos farmacêuticos e químicos; recuperação de materiais e indústria do fumo.

As áreas de abrangência das indústrias ocorrem a partir da divisão administrativa do Estado do Paraná, realizada por meio de suas regionais e permitindo avaliação geográfica dos dados. A relação de Municípios em cada área de abrangência está listada no ANEXO B.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo é classificado com relação a sua finalidade como pesquisa aplicada, uma vez que tem como objetivo a produção de conhecimentos para aplicação prática (FONTENELLES, *et al.*, 2009).

A forma de abordagem utilizada é a de pesquisa quantitativa descritiva. De acordo com Gil (2002), este tipo de pesquisa tem como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis. As características da matriz de destinação de resíduos industriais foram realizadas, formuladas hipóteses a posteriori da análise dos dados. Quanto aos objetivos, é classificada como pesquisa exploratória, uma vez que busca subsídios para compreender as relações entre a forma de destinação, áreas de origem e tipologias industriais existentes no Estado (FONTENELLES *et al.*, 2009).

Foram utilizados procedimentos técnicos de pesquisa bibliográfica, pesquisa documental de fontes primárias. As fontes utilizadas são as licenças ambientais e os registros de inventário de resíduos sólidos industriais presentes nos sistemas de gestão ambiental do órgão ambiental estadual do Paraná (FONTENELLES *et al.*, 2009).

As licenças ambientais nos sistemas SGA e Inventário de resíduos sólidos industriais no sistema SGA-IR do órgão ambiental estadual paranaense e pesquisas bibliográficas em literatura, publicações periódicas e outros estudos são as fontes de dados para a pesquisa documental deste trabalho.

O Inventário de Resíduos Sólidos Industriais (IRSI) foi utilizado devido a sua atualização anual e a obrigatoriedade de seu envio. A baixa adesão ao registro dos inventários de resíduos foi inicialmente considerada como uma fragilidade potencial relacionada ao uso deste instrumento. A fim de reduzir a baixa adesão ao envio do inventário, foram utilizados os dados do ano de 2020 devido a ação promovida pela Câmara Técnica de Resíduos do IAT, onde foram expedidos ofícios aos empreendimentos industriais de porte excepcional e grande, notificando a apresentação do Inventário de Resíduos Sólidos referente ao ano de 2020 em prazo de 30 dias, contando da data de recebimento do ofício. Levando à um aumento na adesão ao inventário no referido ano para os empreendimentos destes portes, os quais estima-se possuírem maior geração de resíduos dentre os diferentes portes.

O Inventário de Resíduos é registrado pelo responsável do empreendimento gerador no sistema SGA-IR de forma *online*, assim como seu manual do usuário do sistema pode ser acessado pelo site do órgão ambiental.

Os dados brutos do sistema de inventário de resíduos foram disponibilizados pelo Instituto Água e Terra por meio de planilha no formato .xlsx. As colunas de informação do banco de dados são compostas por Identificação do Inventário, CPF/CNPJ de origem; Empreendimento de Origem; Tipo de Destino; Município de Destino; CPF/CNPJ de Destino, Empreendimento Destino; Quantidade Declarada (kg) e Resíduo Específico. A relação de licenças vigentes e emitidas pelo IAT também foi disponibilizada para o estudo, contendo informações relativas à CNPJ, Razão Social; Atividade; Atividade Específica; Porte; Município; Endereço e coordenadas geográficas. Desta forma, é possível determinar a origem dos RSI de interesse no Estado do Paraná por tipologia industrial, destinação e área de abrangência de origem no ano de 2020.

Foram também obtidos os dados constantes nas licenças ambientais dos empreendimentos listados como geradores e responsáveis pela destinação final dos resíduos no IRSI. As informações de atividade licenciada e georreferenciamento foram utilizadas neste estudo.

Cabe destacar que o acesso à informação, disposto pela lei de acesso à informação, Lei Federal nº 12.527/2011, garante a obtenção de informação contida em registros ou documentos, produzidos ou acumulados por seus órgãos, incluindo autarquias do Poder Executivo, excluídas informações pessoais ou classificadas como imprescindíveis à segurança da sociedade ou do Estado (BRASIL, 2011).

O perfil das indústrias do Estado por meio dos dados das licenças ambientais de operação vigentes dos empreendimentos industriais foi obtido por meio do sistema SGA do órgão ambiental estadual. As informações de porte, atividade geradora e região de localização foram utilizadas e o resultado foi apresentado por meio da relação do número de licenças vigentes por tipologia, área de abrangência e porte.

O perfil das indústrias respondentes ao IRSI no ano de 2020 foi obtido a partir dos dados constantes no inventário para empreendimentos de porte grande e excepcional, indicando a taxa de resposta dos inventários na última coluna e linha.

3.1 DETERMINAÇÃO DOS TIPOS DE RSI COM DESTINAÇÃO ALTERNATIVA AO ATERRO (RSIs DE INTERESSE)

Foram estabelecidos resíduos sólidos industriais de interesse (RSI de interesse) de acordo com a possibilidade de destinação alternativa a aterro (DAA) e separados em diferentes grupos. Sendo eles resíduos possíveis a serem destinados para compostagem (Grupo I), para biodigestão (Grupo II), para reciclagem (Grupo III), para coprocessamento (Grupo IV) e resíduos para recuperação energética com restrição de disposição em aterro (Grupo V).

Os resíduos de grupos I, II e III foram determinados a partir da revisão bibliográfica. Foi levado em conta a tecnologia disponível para tratamento e uso desses resíduos para suas respectivas destinações.

Os resíduos classificados como do Grupo I são resíduos compostáveis, com potencial agrícola ou características de interesse para a compostagem, como a elevação de pH (cinzas de madeiras) ou o fornecimento de matéria orgânica (resíduos vegetais, biomassa, bagaços agroindustriais). Borras, lodos e efluentes proveniente do processo produtivo de atividades orgânicas foram considerados deste grupo, assim como resíduos de madeira e varrição isentos de contaminação. Resíduos provenientes de processos produtivos inorgânicos, com hidrocarbonetos ou metais pesados, oleosos ou contaminados foram desconsiderados.

Os resíduos classificados como do Grupo II são resíduos biodigeríveis, quais devem possuir biodegradabilidade como os resíduos para compostagem. Resíduos oleosos, efluentes orgânicos, lodos e borras sanitários foram considerados como Grupo II. Além de outros resíduos de processo isentos de contaminação, hidrocarbonetos, metais pesados ou outras substâncias inorgânicas.

Já os resíduos classificados como do Grupo III são resíduos recicláveis. Foram considerados os resíduos isentos de contaminação de materiais plásticos, vidros, papel e papelão, sucatas metálicas, óleos minerais, sucatas de baterias e resíduos de óleos orgânicos.

Os resíduos do Grupo IV, que possuem potencial para destinação para coprocessamento, foram determinados a partir dos dados constantes nas Autorizações Ambientais para destinação de resíduos, presentes no banco de dados do IAT. Estes resíduos, por já terem sido aprovados previamente pelo órgão ambiental, foram considerados como tendo concentrações de metais pesados em acordo com o permitido pela legislação ambiental. Os resíduos classificados como Grupo IV foram os que apresentaram a maior quantidade de autorizações ambientais emitidas e que

possuem os maiores valores de poder calorífico superior, desde que possuam, no mínimo, três laudos emitidos para cada.

Enquanto que os resíduos Grupo V, os quais possuem restrições legais para disposição em aterros, foram determinados a partir da relação exposta na Portaria IAT Nº 33/2022 e Lei Estadual Ordinária nº 21.052/2022.

A relação exata de atividades geradoras e resíduos específicos pra cada grupo de RSI de Interesse encontra-se no APENDICE 1 – GRUPOS DE RESÍDUOS.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FLUXOS DE DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

Por meio do relacionamento entre informações a respeito da atividade constante nas licenças ambientais dos empreendimentos geradores e das informações prestadas nos IRSI, foram caracterizados os fluxos de destinação de resíduos sólidos industriais no Estado do Paraná. Os resultados são apresentados em formato de diagrama Sankey para cada um dos grupos de RSI de Interesse. Foram distinguidas as atividades de origem (indústria alimentícia, de papel e celulose, metalúrgica, etc.) e formas de destinação praticadas (disposição em aterro, reciclagem, compostagem, coprocessamento, etc.) e elencadas as respectivas quantidades de resíduos.

Diagramas Sankey são gráficos de fluxo utilizados principalmente em estudos de engenharia e física para apresentar dados de fluxos energéticos ou de materiais em diferentes contextos e relacionam informações quantitativas como volume, massa ou energia. A relação entre o início e o final do diagrama representam um processo de transformação dos dados do diagrama, onde relações como origem e destino ou passado e futuro podem ser ilustradas em uma única imagem. Este diagrama tem como princípio a conservação dos dados inseridos, a soma do valor quantitativo de entrada é igual à soma dos valores na saída, subtraída a acumulação, nos casos onde é existente. (RIEHMANN *et al.*, 2005; OTTO *et al.*, 2022).

3.2.1 DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE GERAÇÃO DE RSI DE INTERESSE DISPOSTOS EM ATERRO

Foram utilizados os dados de quantidades destinadas do IRSI e de localização das licenças ambientais dos geradores das licenças ambientais para os RSI de Interesse dispostos em aterro.

Os resultados para a identificação das regiões de origem foram apresentados a partir de mapas de densidade de geração e destinação para aterro para cada um dos grupos de RSI de Interesse e por Município.

3.2.2 DETERMINAÇÃO DE REGIÕES COM DEMANDA PARA INSTALAÇÃO DE UNIDADES DE DESTINAÇÃO ALTERNATIVA AO ATERRO

Foi realizada avaliação das principais áreas onde estão concentradas as gerações de resíduos com destinação alternativa ao aterro em áreas a partir de um raio de 100 km a partir dos mapas de geração confeccionados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As licenças ambientais para as indústrias do Estado foram obtidas para a vigência na data de 15/12/2021. A relação das licenças por modalidade está expressa na TABELA 1. Além das licenças industriais de operação dentro de seu prazo de validade, os empreendimentos que solicitaram a renovação de sua licença de operação dentro do prazo de 120 dias antes da expiração do vencimento da mesma também foram considerados neste levantamento. O que garante, em acordo com o § 3º do Art. 4º da Resolução CEMA nº 107/21 a vigência da licença ambiental. Apenas as licenças ambientais emitidas para a operação dos empreendimentos foram consideradas, desconsiderando as licenças de instalação e prévia ou equivalentes.

TABELA 1 – LICENÇAS INDUSTRIAIS DO PARANÁ POR MODALIDADE

Modalidade licença	Licenças vigentes	Licenças vigentes considerando prorrogação automática	Total
Licenças prévias (LP e LP-A)	828	0	828
Licenças de instalação (LI, LI-A, RLI e RLI-A)	527	0	527
Licenças de operação (LO, LO-A, LOR e RLO)	5.640	132	5.772
Licenças ambientais simplificadas (LAS, LASR e RLAS)	1.160	21	1.181
Dispensas de licenciamento ambiental	3.153	0	3.153
Total Geral	11.308	153	11.461

FONTE: O autor (2023).

Os processos de licenciamento simplificado e a dispensa de licenciamento ambiental estão relacionadas aos empreendimentos de menor impacto ambiental. Estes tipos de licenciamento são considerados como licenças de operação e, por isso, foram também consideradas. Totalizando, dessa forma, 10.106 licenças de operação industriais vigentes no Estado do Paraná. A quantidade de licenças de operação industriais vigentes e emitidas pelo órgão ambiental estadual está expressa na TABELA 2 por regional de abrangência.

TABELA 2 - QUANTIDADE DE LICENÇAS DE INDÚSTRIAS VIGENTES POR REGIONAL

Regional	Sigla Área	Número de licenças de operação industriais vigentes
Curitiba	RCBA	2384
Londrina	RLON	1231
Ponta Grossa	RPGO	629
Maringá	RMAG	610
Francisco Beltrão	RBEL	551
Toledo	RTOL	514
Guarapuava	RGUA	461
Campo Mourão	RCMO	424
Pato Branco	RPAB	377
Cascavel	RCAS	373
Paranavaí	RPVI	363
Jacarezinho	RJAC	331
União da Vitória	RUVI	304
Umuarama	RUMU	288
Irati	RIRA	277
Cianorte	RCIA	265
Foz do Iguaçu	RFOZ	231
Cornélio Procópio	RCOP	188
Ivaiporã	RIVA	184
Pitanga	RPIT	70
Litoral	RLIT	51
Total Geral		10.106

FONTE: O autor (2023).

É possível identificar que há uma concentração de indústrias em torno de algumas regiões do Estado. Cerca de 50% das indústrias paranaenses, encontram-se em apenas quatro regionais, sendo elas Curitiba, Londrina, Ponta Grossa e Maringá. As regionais de Curitiba e Ponta Grossa e de Maringá e Londrina são contíguas entre si, formando os dois grandes núcleos industriais do Estado.

Já as dez regionais com menor concentração industrial, Paranavaí, Jacarezinho, União da Vitória, Irati, Umuarama, Cianorte, Foz do Iguaçu, Cornélio Procopio, Ivaiporã e Pitanga têm, juntas, cerca de 25% das licenças de operação de indústrias do Estado.

É importante destacar que parte das licenças são emitidas por órgãos municipais devido à descentralização do licenciamento ambiental, disposto pela Resolução CEMA nº 110/2021. Ainda que seja expresso na resolução que os órgãos municipais que realizam o licenciamento devam utilizar o sistema de informações integrado ao do órgão ambiental estadual, não há adesão total do sistema pelos órgãos locais, como em Curitiba. Desta forma, apenas as licenças informadas pelo SGA foram consideradas nas análises deste trabalho, configurando risco de distorção na avaliação dos dados apresentados.

A classificação por atividade utilizada no Estado do Paraná para indústrias é dividida em 22 tipologias distintas. A relação das tipologias com a quantidade de licenças de operação vigentes está expressa na TABELA 3

TABELA 3 – LICENÇAS VIGENTES POR TIPOLOGIA INDUSTRIAL E PORTE.

Atividade	Excepcional	Grande	Médio	Pequeno	Total
Ind. da madeira	11	81	299	1.761	2.152
Alimentos	57	180	313	1.127	1.677
Beneficiamento e armazenamento de produtos agrícolas	13	202	680	374	1.269
Ind. diversas	7	82	317	706	1.112
Ind. metalúrgica	5	71	239	535	850
Ind. de produtos de matéria plástica	2	49	124	358	533
Ind. química	20	59	143	310	532
Ind. têxtil, de vestuário, calçados e artefatos de tecidos	4	52	73	371	500
Beneficiamento de minerais não metálicos	3	13	149	231	396
Fabricação de máquinas e equipamentos	2	20	80	194	296
Bebidas	6	13	32	121	172
Ind. de material elétrico, eletrônicos e de comunicação	4	24	29	78	135
Ind. de papel e celulose	10	28	36	54	128
Ind. da borracha	4	6	23	65	98
Beneficiamento de mandioca	-	13	30	24	67
Fabricação de instrumentos e materiais para uso médico e odontológico e de artigos ópticos	-	-	3	14	17
Ind. do couro e peles	1	11	8	21	41
Ind. de material de transporte	6	12	11	5	34
Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	2	5	10	14	31

Ind. do açúcar e do álcool	8	9	3	9	29
Ind. do fumo	1	-	2	4	7
Ind. de material elétrico, eletrônicos e de comunicação	-	-	-	2	2
Total Geral	166	930	2.62	6.372	

FONTE: O autor (2023).

Os dados a respeito de 28 empreendimentos não foram contabilizados a respeito de sua tipologia ou porte, uma vez que estes encontravam-se ausentes ou fora do padrão atualmente utilizado na plataforma. Isto ocorre devido ao fato destes licenciamentos ainda estarem em análise. Portanto, foram desconsiderados na contabilização da tabela anterior.

As indústrias da madeira e de alimentos são as mais numerosas do estado e possuem elevada proporção de empreendimentos de pequeno porte frente às outras tipologias de 81,83% e 67,20%, respectivamente. As indústrias de materiais elétricos, eletrônicos e de comunicação; indústria do fumo; Fabricação de instrumentos e materiais para uso médico e odontológico e de artigos ópticos; Fabricação de produtos farmacoquímicos e farmacêuticos e da borracha possuem menos de 10 empreendimentos de porte grande e excepcional, portanto, foi considerado que representam baixa geração de resíduos neste estudo.

As indústrias do açúcar e do álcool, química e de materiais de transporte são as tipologias que, relativamente, possuem maior proporção de portes elevados. Uma vez que mais da metade das licenças são de empreendimentos de porte grande ou excepcional. Entretanto, os empreendimentos que mais possuem indústrias de porte grande e excepcional são as tipologias de alimentos, beneficiamento e armazenamento de produtos agrícolas, da madeira e diversas.

Indústrias de porte pequeno são as mais numerosas do Estado, representando 63,2% do total de indústrias. Para cada indústria de porte grande ou excepcional, operam cerca de 17 indústrias do menor porte. Este perfil industrial ressalta a importância do impacto que pequenos empreendimentos podem exercer sobre o meio ambiente.

4.1 INVENTÁRIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

A coleta dos dados do IRSI foi realizada em 01/03/2022. A partir desta data, novos inventários inseridos não foram mais levados em consideração. Houveram

1.854 inventários informados para o ano de 2020. Abaixo é possível ver a quantidade de registros nos últimos 5 anos na plataforma do inventário de resíduos.

TABELA 4 - QUANTIDADE DE REGISTROS DE INVENTÁRIO DE RESÍDUOS POR ANO.

Ano	Quantidade de registros	Aumento em comparação ao ano anterior
2015	122	-
2016	490	301,6%
2017	811	65,5%
2018	1.046	29,0%
2019	1.458	39,4%
2020	1.819	24,8%

FONTE: O autor (2023).

Alguns empreendimentos respondentes possuem licenciamento fragmentado, quando, em um mesmo endereço e CNPJ há mais de uma licença em grupos diferentes. Isto ocorre, por exemplo, com indústrias que possuam postos de abastecimento de combustível ou mesmo indústrias que possuam aterros industriais em suas áreas. Em certos casos, o responsável do empreendimento realizou a inserção das informações do IRSI a partir da licença que não corresponde à atividade industrial. As informações constantes nas licenças industriais foram consideradas como válidas nestas situações e as informações das outras licenças foram desconsideradas.

Nem todos os empreendimentos respondentes ao IRSI possuem atividade industrial. Ao se acessar as informações constantes nas licenças ambientais dos empreendimentos respondentes encontrou-se que 21% tem como atividades comércio e serviço (337), tratamento e disposição final de resíduos (30), agropecuária (17) e geração e transmissão de energia (2). Apenas os 1.386 registros referentes a indústrias foram considerados nas análises subsequentes. Considerando que 10.106 indústrias possuíam a obrigação de informar o IRSI no período avaliado, houve uma taxa de resposta total por parte do setor de 13,71%.

Apesar da taxa geral de resposta ao IRSI em 2020 ter sido baixa, é possível constatar pelas informações contidas na TABELA 4 que houve aumento na quantidade de registros obtidos no decorrer dos anos. O aumento dos registros se torna mais evidente ao considerar um período de cinco anos com aumento acumulado de 278,0%.

A ação para aumento da taxa de resposta promovida pelo IAT foi direcionada aos empreendimentos de porte grande e excepcional. Desta forma, apenas os dados enviados pelas indústrias destes portes foram analisados. Os dados de geração de resíduos de indústrias de porte pequeno e médio foram desconsiderados. A quantidade de registros e taxas de resposta por porte é expressa na TABELA 5.

TABELA 5 – QUANTIDADE DE REGISTROS DO IRSI E TAXAS DE RESPOSTA POR PORTE

Porte	Quantidade de registros	Taxa de resposta
Excepcional	138	83,1%
Grande	566	60,7%
Médio	387	14,8%
Pequeno	295	4,6%
Total	1.386	13,7%

FONTE: O autor (2023).

Mais da metade das indústrias respondentes é de porte grande e excepcional, somando 704 inventários. Estes portes apresentaram taxas de respostas elevadas, em especial os empreendimentos de porte excepcional, o que indica uma representatividade elevada dos dados para indústrias destes tipos.

A quantidade de registros de inventário por porte e por atividade, assim como o dado a respeito das taxas de resposta ao inventário por atividade está presente na TABELA 6.

TABELA 6 – REGISTROS DE INVENTÁRIOS POR ATIVIDADE.

Atividade industrial	Excepcional	Grande	Total Geral	Taxa de resposta por atividade
Alimentos	41	113	154	65,0%
Beneficiamento e armazenamento de produtos agrícolas	5	92	97	45,1%
Ind. diversas	10	54	64	71,9%
Ind. da madeira	11	53	64	69,6%
Ind. química	15	47	62	78,5%
Ind. metalúrgica	4	51	55	72,4%
Ind. têxtil, de vestuário, calçados e artefatos de tecidos	3	30	33	58,9%
Ind. de papel e celulose	11	22	33	86,8%
Ind. de produtos de matéria plástica	2	24	26	51,0%
Ind. de material elétrico, eletrônicos e de comunicação	6	16	22	78,6%
Fabricação de máquinas e equipamentos	2	17	19	86,4%
Ind. do açúcar e do álcool	12	2	14	82,4%

Bebidas	3	10	13	68,4%
Beneficiamento de minerais não metálicos	3	7	10	62,5%
Ind. de material de transporte	4	6	10	55,6%
Ind. do couro e peles	1	6	7	58,3%
Fabricação de instrumentos e materiais para uso médico e odontológico e de artigos ópticos	0	6	6	-
Fabricação de produtos farmacológicos e farmacêuticos	2	4	6	19,4%
Beneficiamento de mandioca	0	5	5	38,5%
Ind. da borracha	2	1	3	30,0%

FONTE: O autor (2023).

As indústrias de porte grande e excepcional tiveram uma taxa de resposta ao IRSI de 64,0%. Das quais, as atividades de Alimentos, Beneficiamento e armazenamento de produtos agrícolas, Ind. diversas e Ind. da madeira representam 53,8% dos inventários informados. As atividades de Ind. de papel e celulose, Fabricação de máquinas e equipamentos, Ind. do açúcar e do álcool, Ind. de material elétrico, eletrônicos e de comunicação e Ind. química tiveram taxas de resposta acima de 75%.

Enquanto que as atividades de Ind. do couro e peles, Fabricação de instrumentos e materiais para uso médico e odontológico e de artigos ópticos, Fabricação de produtos farmacológicos e farmacêuticos, Beneficiamento de mandioca, Ind. da borracha representam menos de 5% dos inventários informados. E as atividades de Fabricação de produtos farmacológicos e farmacêuticos teve a menor taxa de resposta ao inventário.

Cabe destacar que empreendimentos com licenças vencidas ou licenciados por órgãos ambientais municipais que não utilizam a plataforma SGA também são respondentes do SGA-IR. Este ruído se torna evidente ao avaliar que não foram contabilizadas indústrias para a atividade de **“Fabricação de instrumentos e materiais para uso médico e odontológico e de artigos ópticos”**. Entretanto, constam 6 registros desta tipologia industrial como respondente ao IRSI.

Algumas atividades resultaram em quantidades reduzidas de registros de inventários. Portanto, afim de facilitar a exibição dos dados em diante neste trabalho, a seguinte reconfiguração de nomenclatura será aplicada. A atividade **“Química e farmacêutica”** contemplará as atividades **“Ind. química”** e **“Ind. farmacêutica”**; **“Máquinas e equipamentos”** as atividades **“Fabricação de materiais para uso médico”**, **“ind. de mat. Elétricos”**, **“Fabricação de máquinas e equipamentos”** e **“ind. de material de**

transporte”; “beneficiamento agrícola” as atividades “beneficiamento de mandioca”, “beneficiamento agrícola” e “ind. do couro e peles”; “Alimentos” contemplará “ind. de alimentos” e “bebidas”, enquanto que a atividade “Plásticos e borracha” contemplará as atividades “ind. da borracha”, “ind. de produtos de matéria plástica”. As demais nomenclaturas seguirão da mesma forma como veem sido utilizadas até então.

A descrição de quais atividades específicas são contempladas em cada tipo de atividade industrial está constante no APÊNDICE 2 – ATIVIDADES INDUSTRIAIS.

4.2 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS (RSI) DE INTERESSE

Foram determinados cinco grupos distintos para os RSI de Interesse, sendo eles:

- Grupo I: Resíduos compostáveis;
- Grupo II: Resíduos com potencial para destinação para biodigestão;
- Grupo III: Resíduos recicláveis;
- Grupo IV: Resíduos com potencial para destinação para coprocessamento;
- Grupo V: Resíduos para recuperação energética com restrição à disposição em aterro.

Os grupos foram constituídos por subgrupos de resíduos, de forma a poder englobar os resíduos específicos constantes nos dados do IRSI e de acordo com a origem por tipologia industrial. A relação dos resíduos considerados para cada grupo e a definição dos grupos encontram-se nos apêndices deste trabalho.

Foram elencados resíduos orgânicos ou que possuam baixo teor de sólidos não compostáveis e não tóxicos possíveis de serem retirados em processos de peneiramento posteriores a decomposição aeróbia da compostagem, como os resíduos de varrição. Parte dos resíduos foram considerados do grupo apenas quando originados de empreendimentos com atividades específicas. Como estes resíduos estão associados ao processo produtivo industrial e podem ter contaminações ou compostos inorgânicos, foram considerados apenas os originados de atividades que utilizem matérias-primas orgânicas em sua maior parte.

Para determinar os resíduos possíveis de serem destinados para a decomposição anaeróbia por meio de biodigestores foram considerados os resíduos

orgânicos, com composição de óleos e gorduras, e nas fases pastosa e líquida. Por terem sua geração relacionada ao processo produtivo industrial, parte dos resíduos só foi considerada nos casos em que são provenientes de atividades desenvolvida com matérias primas predominantemente orgânicas. Efluentes e resíduos com contaminações inorgânicas ou hidrocarbonetos foram desconsiderados.

O grupo de resíduos recicláveis abrangeu todas as atividades geradoras de resíduos plásticos, de vidro, de papel e papelão, metais, pilhas, baterias, óleos orgânicos e minerais. Cada tipo de resíduo deve ser destinado a uma tecnologia de reciclagem distinta.

Os resíduos recicláveis contaminados com hidrocarbonetos, solventes e tintas foram desconsiderados para a reciclagem de plásticos, papel e papelão. Entretanto, os resíduos de vidro e metal foram considerados como possíveis de serem tratados para remoção das contaminações presentes nos resíduos.

Já os resíduos com potencial para serem destinados como substitutos de combustível para coprocessamento foram determinados a partir dos dados dos requerimentos de autorização ambiental para destinação de resíduos para coprocessamento. Foram determinados os subgrupos os quais têm resíduos com teores elevados de poder calorífico superior, desde que possuíssem mais de 3 laudos emitidos para cada resíduo, e os resíduos com mais autorizações ambientais emitidas. Os subgrupos resíduos para substituição de matéria-prima no coprocessamento foram determinados a partir da quantidade de autorizações ambientais emitidas para cada resíduo.

O coprocessamento é uma alternativa maleável para a destinação de resíduos contaminados. A recepção de resíduos contaminados com certos contaminantes pode ser benéfica para o coprocessamento, aumentando o poder calorífico do resíduo utilizado. Como é o caso da contaminação por hidrocarbonetos ou por alguns solventes. Dessa forma, não houve necessidade de restringir a destinação para coprocessamento somente a resíduos não contaminados.

Apenas o subgrupo “Borras e lodos de processos” recebeu restrição com relação a sua origem. Uma vez que borras provenientes de processos de tratamento de superfície podem conter concentrações elevadas de metais pesados os quais possuem restrições para a destinação para o coprocessamento em fornos de cimento.

Os resíduos Grupo V foram determinados a partir da relação exposta na Portaria IAT Nº 33/2022 e Lei Estadual nº 21052/2022, onde se dispõe que é proibida a disposição dos resíduos de borras oleosas, borras de processos petroquímicos,

borras de fundo de tanques de combustíveis e de produtos inflamáveis, elementos filtrantes de filtros de combustíveis e lubrificantes, solventes e borras de solventes, borras de tintas a base de solventes, ceras contendo solventes, panos, estopas, serragem, EPIs, elementos filtrantes e absorventes contaminados com óleos lubrificantes, solventes ou combustíveis (álcool, gasolina, óleo diesel, etc); lodo de caixa separadora de óleo com mais de 5% de hidrocarbonetos derivados de petróleo ou mais 70% de umidade; e solos contaminados com combustíveis ou outros componentes listados.

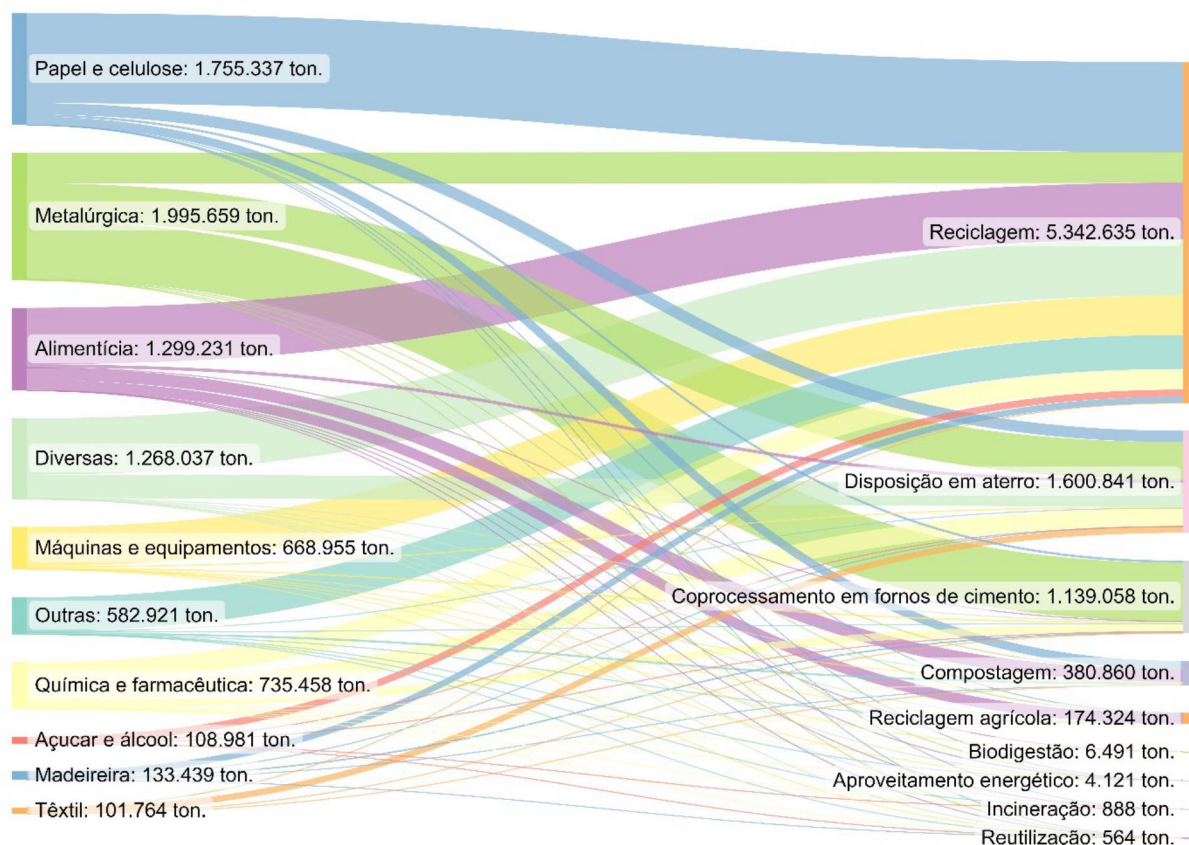
4.3 CARACTERIZAÇÃO DE FLUXOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

Os dados do IRSI foram obtidos em formato de planilhas e operados de forma a possibilitar a caracterização dos fluxos de RSI no Estado. Este capítulo está organizado de forma a apresentar avaliação dos fluxos de destinação total e posteriormente por grupo de RSI de Interesse. A relação entre tipologia industrial e tipo de destinação adotada é apresentada por meio dos gráficos Sankey. A localização das áreas onde são gerados os resíduos destinados são apresentados por meio dos mapas de densidade.

As destinações que tiveram a origem e a destinação realizada no mesmo empreendimento e informadas como reciclagem ou reutilização foram desconsideradas, uma vez que estes materiais foram reincorporados aos processos produtivos. A principal destinação que compõe este tipo de destinação é a utilização agrícola de vinhaça proveniente das indústrias de açúcar e álcool. Mas também são contemplados o reuso de embalagens e rejeitos de produção de diversas atividades.

O GRÁFICO 1 apresenta a relação entre as atividades industriais de origem e o tipo de destinação adotada para todos os resíduos sólidos gerados informada no IRSI.

GRÁFICO 1 – FLUXOS DE DESTINAÇÃO DOS RSI INVENTARIADOS



FONTE: O autor (2023).

Um total de 8.915.461,17 toneladas de resíduos destinados a partir de 6.042 fluxos foram consideradas neste estudo. A destinação mais adotada é a reciclagem, com a maior contribuição proveniente das indústrias de papel e celulose, seguida da indústria de alimentos. Os resíduos que principalmente compõem este fluxo são as sucatas metálicas, borras de cal, plásticos, papéis, papelão e diversos de madeira.

A segunda destinação final mais adotada é a disposição em aterros, que tem a maior contribuição proveniente da indústria metalúrgica, caracterizado principalmente pelos lodos de tratamento e efluentes e areias de fundição.

O coprocessamento é a terceira destinação mais adotada, recebendo principalmente borras oleosas, lodos de tratamento de efluentes e resíduos sólidos diversos contaminados, sendo que a indústria metalúrgica tem uma contribuição significativa para esta destinação.

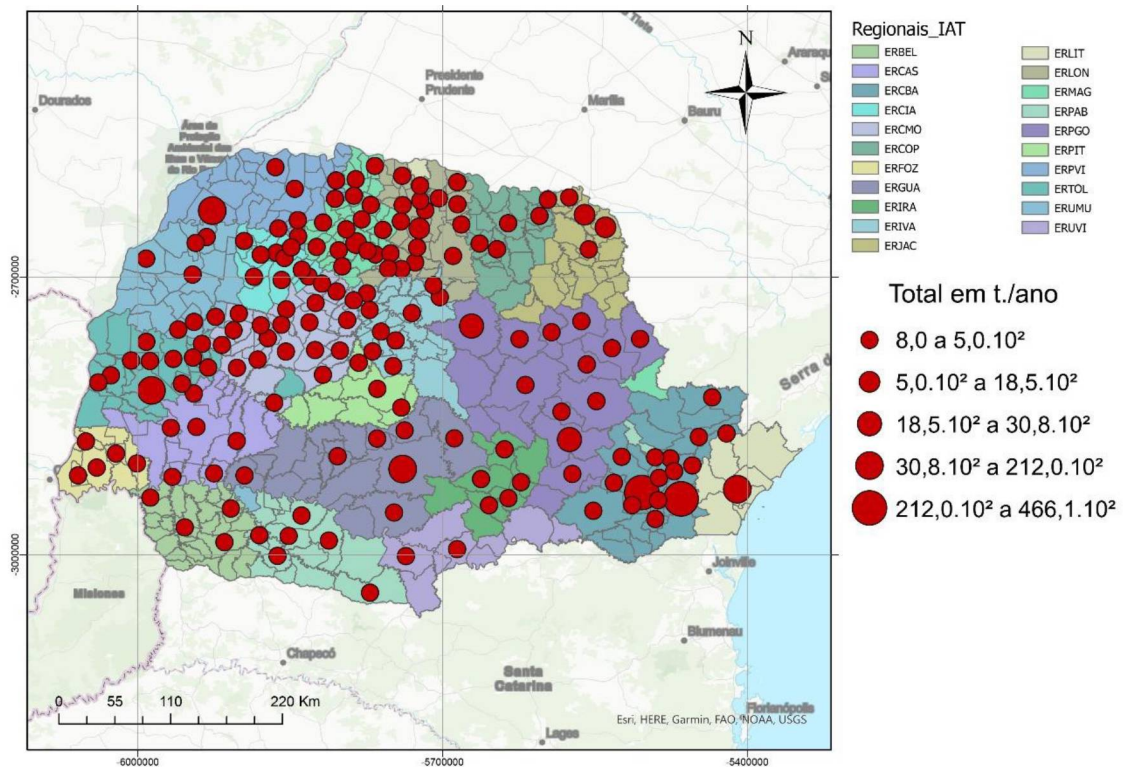
Apesar das indústrias de papel e celulose e alimentícia serem as atividades que mais geram resíduos, possuem baixa contribuição na disposição de resíduos em

aterro quando avaliadas as quantidades totais de resíduos sólidos industriais dispostos. Os fluxos destas indústrias são constituídos principalmente por borras e lodos de processo ou tratamento de efluentes, plásticos e cinzas de caldeira.

As atividades industriais que informaram destinar quantidade inferior a 1% do total de resíduos destinados foram contempladas como “Outras”, sendo elas beneficiamento agrícola e de minerais e de plástico e borracha.

As áreas onde se concentram as gerações de RSI dispostos em aterro no Paraná estão apresentadas na FIGURA 13. O mapa diferencia as diferentes áreas de abrangência utilizadas pelo órgão ambiental estadual.

FIGURA 13 - MAPA DE DENSIDADE DE GERAÇÃO DE RSI DISPOSTOS EM ATERRO NO ESTADO DO PARANÁ

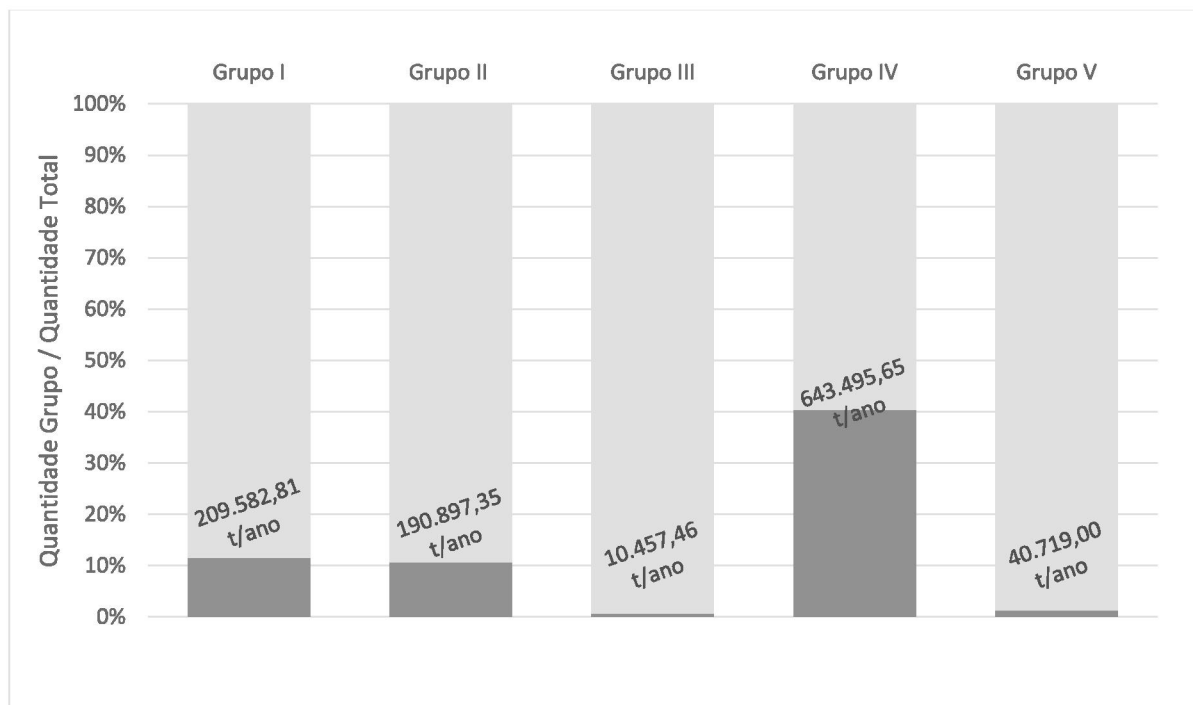


FONTE: O autor (2023).

É possível constatar que a região metropolitana de Curitiba apresenta a maior concentração de resíduos dispostos em aterro. Há uma faixa de geração de resíduos que cruza diagonalmente o estado entre a região oeste e o centro norte do estado, enquanto que o restante do território estadual possui gerações de resíduos de forma melhor distribuída e em menores concentrações. As principais áreas onde se concentram a geração de resíduos ocorrem onde há, também, maior industrialização.

A quantidade de resíduos disposta em aterro para cada grupo apresentou valores bastante distintos entre si. A quantidade de resíduos dispostos em aterro de cada grupo em comparação com a quantidade total foi representada no GRÁFICO 2.

GRÁFICO 2 - QUANTIDADES DISPOSTAS EM ATERRO POR GRUPO E TOTAL



FONTE: O autor (2023).

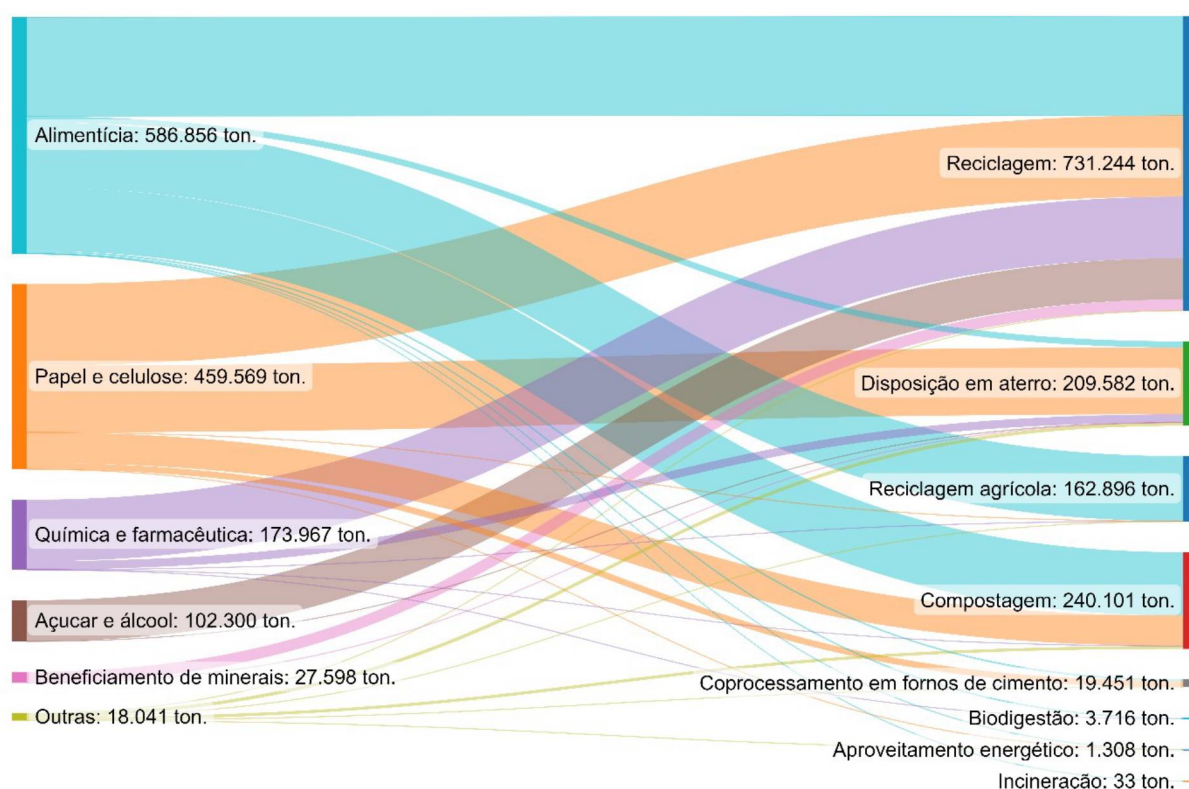
O grupo de resíduos com destinação alternativa ao aterro possível que apresentou a maior quantidade disposta em aterro foi o Grupo IV, sendo que 40,2% de todos os resíduos destinados para aterros são coprocessáveis. Enquanto que os Grupos III e V representam as menores quantidades em comparação ao total, sendo que apenas 0,7 e 2,5% de todos os resíduos dispostos são recicláveis ou tem restrição legal para disposição frente à recuperação energética. Os resíduos compostáveis ou biodigeríveis dispostos em aterro apresentaram quantidades próximas entre si, referente aos grupos I e II, com 13,1 e 11,9%, respectivamente.

Cerca de 927 mil toneladas dos resíduos dispostos em aterro não possuem destinação alternativa ao aterro considerada neste estudo, o que representa cerca de 58% do total. Os resíduos de água de lavagem, lodo de ETE, resíduos de obras e equiparado à domiciliar foram os principais informados no inventário. Enquanto que as principais indústrias geradoras destes resíduos são a metalúrgica, diversas, químicas e farmacêuticas.

4.3.1 GRUPO I (RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS COMPOSTÁVEIS)

Foram informados 706 registros como Grupo I, resultando em 1.386.446,13 toneladas destinadas. A principal destinação foi a reciclagem. As indústrias alimentícia, de papel e celulose, química e farmacêutica são as que representam maior contribuição para este tipo de destinação. Os resíduos de madeira, fibras e caracterizados como “não processáveis” foram os que compõe a maior parte deste fluxo.

GRÁFICO 3 – FLUXOS DE DESTINAÇÃO DOS RSI DE INTERESSE GRUPO I (COMPOSTÁVEIS)



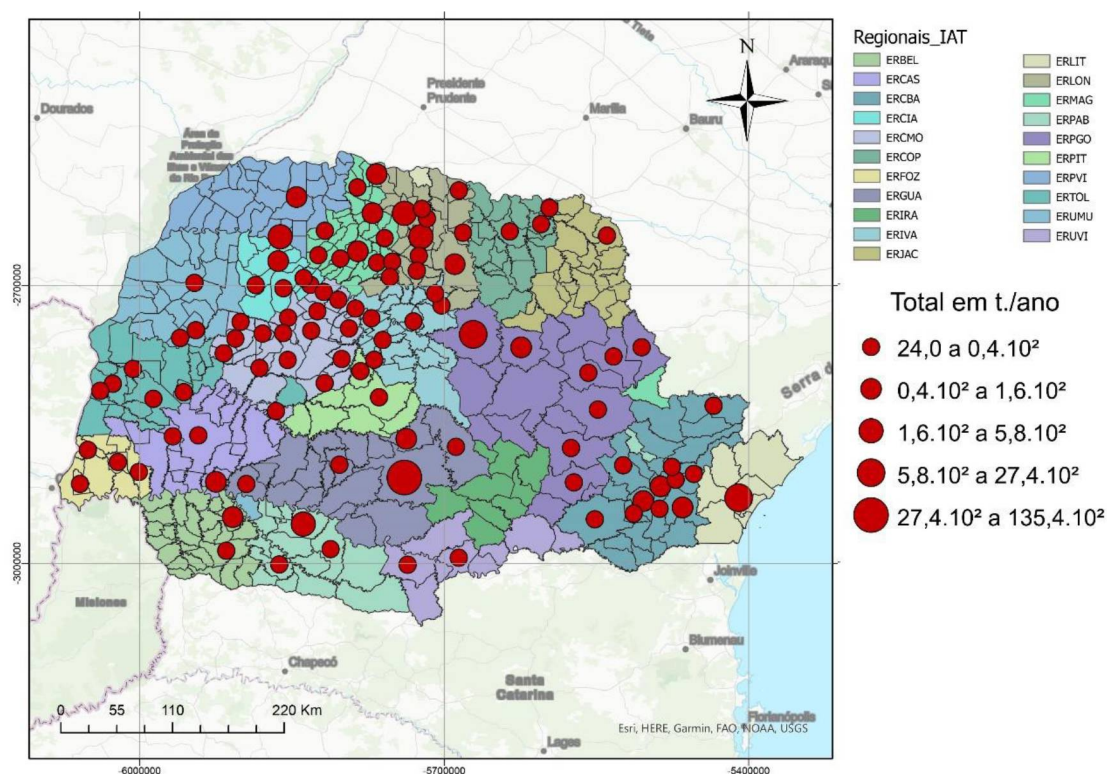
FONTE: O autor (2023).

A disposição em aterro de resíduos possíveis de serem submetidos à compostagem é a segunda destinação mais adotada de acordo com o informado no IRSI, sendo a indústria de papel e celulose a sua principal contribuinte por meio da disposição de lodo de ETE.

As atividades industriais que informaram destinar quantidade inferior a 1% do total de resíduos destinados foram contempladas como “Outras”, sendo elas o

beneficiamento agrícola, indústrias diversas, de máquinas e equipamentos, metalúrgica, plástico e borracha, têxtil e madeireira.

FIGURA 14 - MAPA DE DENSIDADE DE GERAÇÃO DE RSI GRUPO I DISPOSTOS EM ATERRO NO ESTADO DO PARANÁ



FONTE: O autor (2023).

Há uma concentração de geração de resíduos nas regiões de Maringá, Cianorte e Campo Mourão. Ao considerar um raio de 100 km, é possível identificar que as maiores concentrações se encontram ao redor dos Municípios de Astorga, com 9.715,67 t/ano, Curitiba com 2.937,74 t/ano e Moreira Sales 155,14 t/ano.

Em acordo com as licenças constantes na plataforma SGA, o Estado do Paraná possui 62 unidades de compostagem licenciadas.

TABELA 7 – RELAÇÃO DE UNIDADES DE COMPOSTAGEM POR REGIONAL E PORTE NO ESTADO DO PARANÁ

Sigla Área	Excepcional	Grande	Médio	Pequeno	Total Geral
ERBEL	0	0	2	1	3
ERCAS	0	0	1	2	3
ERCBA	0	2	3	5	10
ERCIA	0	0	0	1	1
ERCMO	0	0	1	2	3

ERCOP	0	0	1	0	1
ERGUA	0	0	0	2	2
ERIVA	0	0	0	2	2
ERJAC	0	0	0	2	2
ERLIT	0	0	1	0	1
ERLON	0	0	1	3	4
ERMAG	0	0	1	3	4
ERPAB	0	0	1	2	3
ERPGO	1	2	2	4	9
ERPVI	0	0	0	2	2
ERTOL	0	0	0	3	3
ERUMU	0	0	0	4	4
Total	1	4	14	38	57

FONTE: O autor (2023).

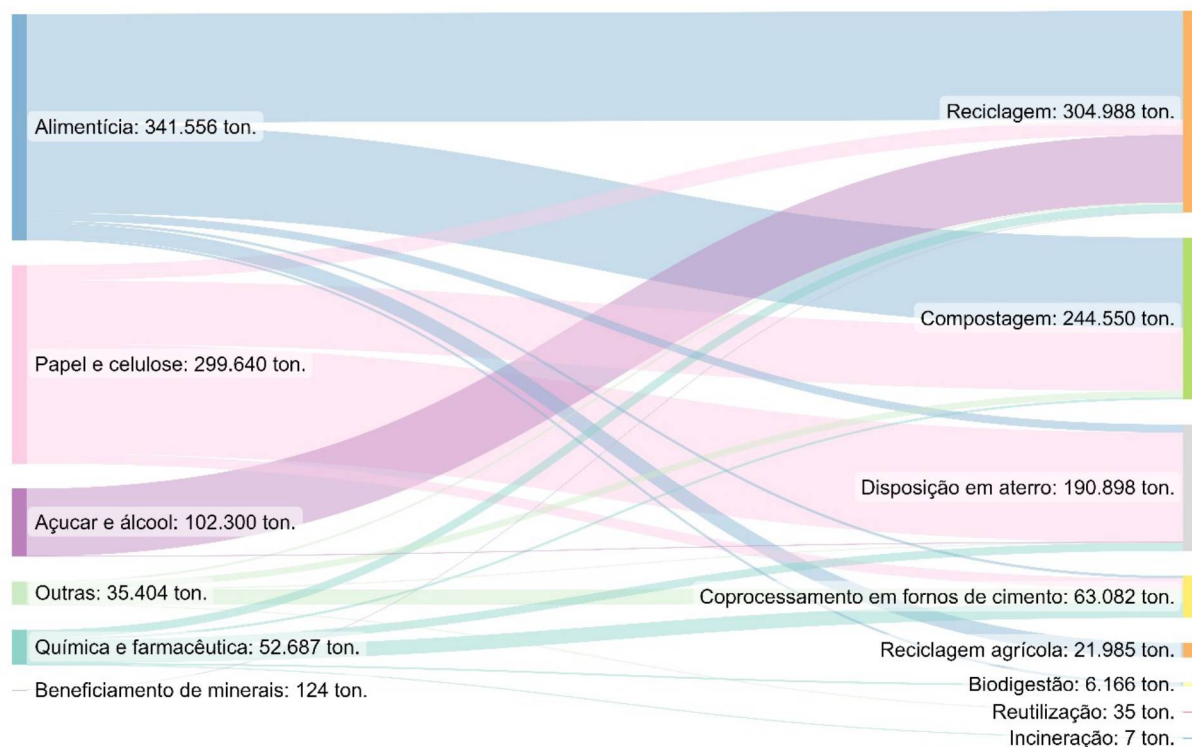
As regiões de Curitiba e de Ponta Grossa são as que possuem maior quantidade de unidades de compostagem, apesar da maior concentração dos resíduos compostáveis dispostos em aterro concentrarem-se na região Centro-Norte do Estado. As regiões de Cianorte e Litoral são as que possuem menores quantidades de composteiras licenciadas.

4.3.2 GRUPO II (RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS BIODIGERÍVEIS)

Os resíduos considerados como Grupo II tiveram um total de 497 registros, totalizando 847.014,52 toneladas de RSI destinados. Assim como para os resíduos compostáveis, os RSI de interesse biodigeríveis têm como principal destinação a reciclagem, realizado principalmente pela destinação de resíduos de processo e lodos de ETE de indústrias alimentícias e de açúcar e álcool.

A compostagem é a segunda destinação mais adotada, caracterizada pela destinação de lodos de tratamento de efluentes das indústrias de alimentos e de papel e celulose. Por serem resíduos com biodegradabilidade, a implementação e operação de usinas de compostagem estão relacionadas com menores custos de implementação e complexidade reduzida na sua operação. Entretanto, resíduos em fase líquida e com frações elevadas de óleos e gorduras tem a biodigestão como destinação mais adequada frente à compostagem.

GRÁFICO 4 - FLUXOS DE DESTINAÇÃO DOS RSI DE INTERESSE GRUPO II (BIODIGERÍVEIS)

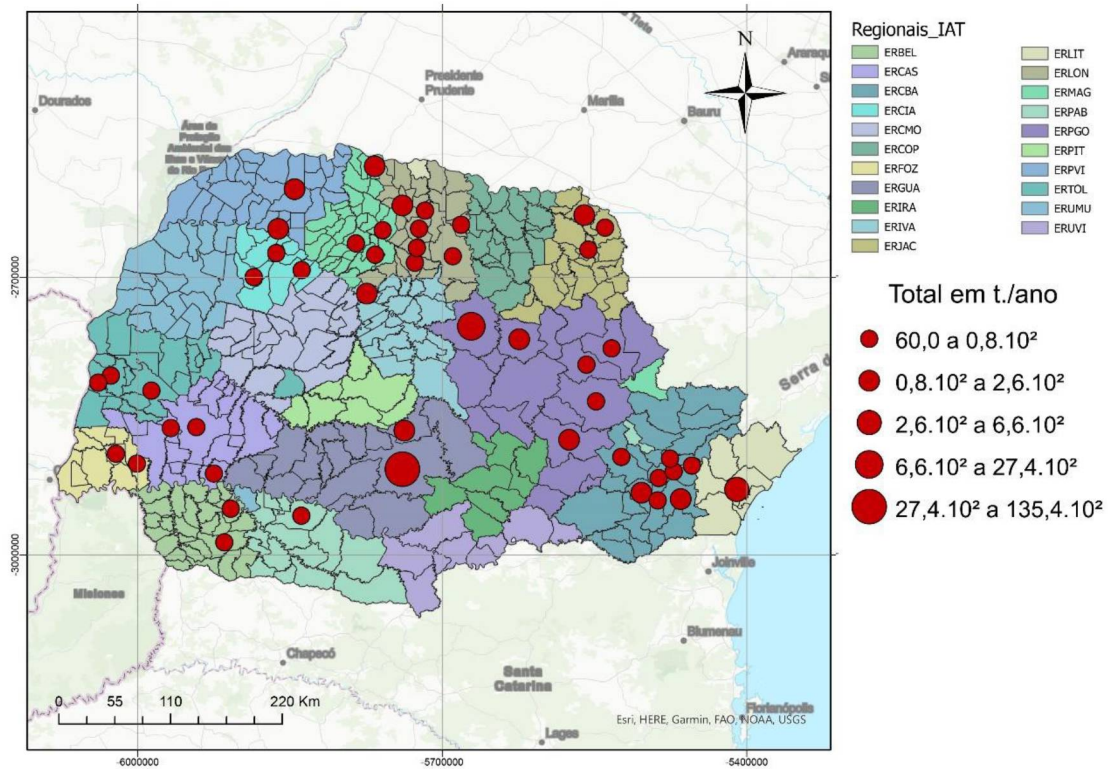


FONTE: O autor (2023).

A disposição em aterro para os RSI de interesse do Grupo II é a terceira destinação mais adotada, tendo como contribuição principal também lodos de ETE de indústria de papel e celulose.

As atividades industriais que informaram destinar quantidade inferior a 1% do total de resíduos destinados foram contempladas como “Outras”, sendo elas o beneficiamento de minerais e agrícolas, indústrias diversas, de máquinas e equipamentos, metalúrgica, têxtil e de plástico e borracha.

FIGURA 15 - MAPA DE DENSIDADE DE GERAÇÃO DE RSI GRUPO II DISPOSTOS EM ATERRO NO ESTADO DO PARANÁ



FONTE: O autor (2023).

As três principais áreas em um raio de 100 km onde se concentram as destinações de resíduos biodigeríveis destinados a aterro são ao redor do Município de Curitiba com 4.405,7 t/ano, Arapongas com 4.065,4 t/ano e Indianópolis com 3.469,3 t/ano.

A relação de unidades de biodigestão licenciadas no Paraná está exposta na TABELA 8.

TABELA 8 - RELAÇÃO DE UNIDADES DE BIODIGESTÃO POR REGIONAL E PORTE NO ESTADO DO PARANÁ

Sigla Área	Grande	Médio	Pequeno	Total Geral
ERMAG	0	0	1	1
ERPGO	3	1	3	7
ERUMU	0	1	0	1
Total	3	2	4	9

FONTE: O autor (2023).

Não há empreendimentos de biodigestão de porte excepcional. O Estado do Paraná possui apenas 9 unidades de biodigestores licenciadas. Parte das unidades

de biodigestão estão associadas a outros empreendimentos e, por estarem licenciadas a partir da nomenclatura de outras atividades, não foram obtidas neste levantamento. Apesar de possuírem capacidade técnica para o recebimento destes resíduos abrangidos na análise, estas unidades devem ainda buscar licenciamento específico para o recebimento de resíduos e efluentes de terceiros.

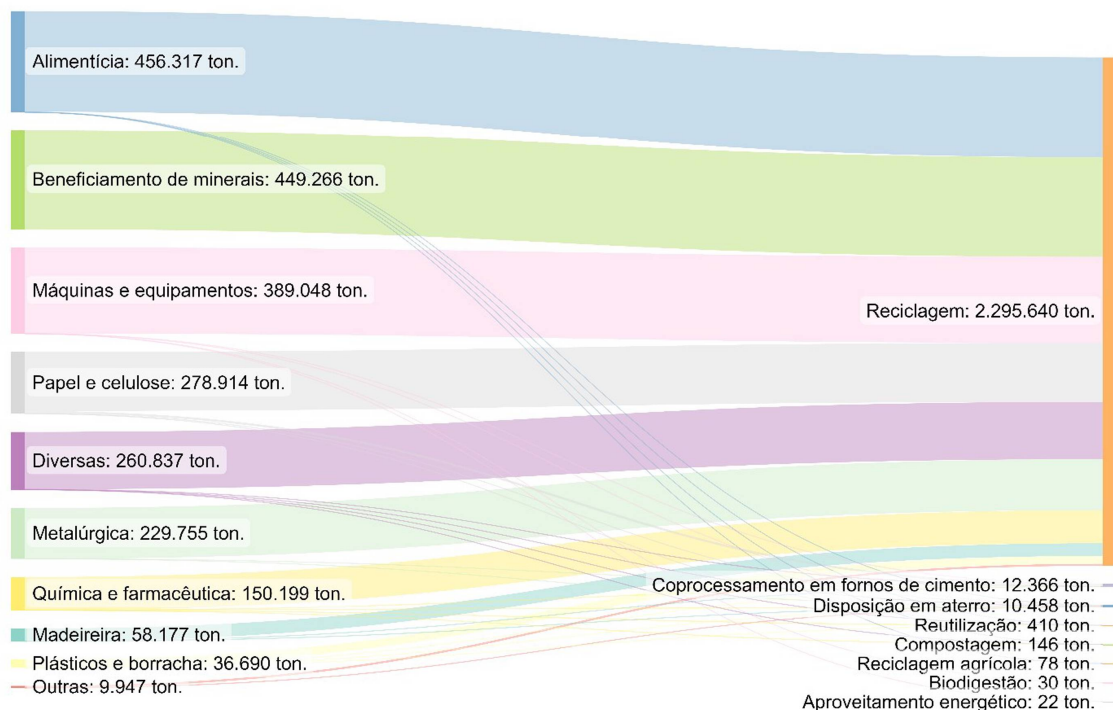
4.3.3 GRUPO III (RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS RECICLÁVEIS)

Os resíduos recicláveis, considerados como Grupo III, tiveram 2.164 registros, totalizando 2.319.215,72 toneladas destinadas. A principal destinação é a própria reciclagem, sendo que é o grupo de resíduos que apresentou a distribuição de quantidade de resíduos destinada mais igualitária entre as atividades geradoras. Os resíduos de sucatas metálicas, plásticos, papel e papelão são os principais destinados para reciclagem.

A disposição em aterro de resíduos recicláveis é principalmente caracterizado pela destinação de aparas de embalagens de indústrias agrícolas e de madeira, papel e plásticos das indústrias diversas e de papel e celulose.

A dotação de valor econômico nestes resíduos é possivelmente o principal fator que justifica o alto valor de destinação para a reciclagem. A existência de uma cadeia estabelecida de empreendimentos que realizam a sua valorização também pode ser um dos fatores que favorece esta forma de destinação.

GRÁFICO 5 - FLUXOS DE DESTINAÇÃO DOS RSI DE INTERESSE GRUPO III (RECICLÁVEIS)

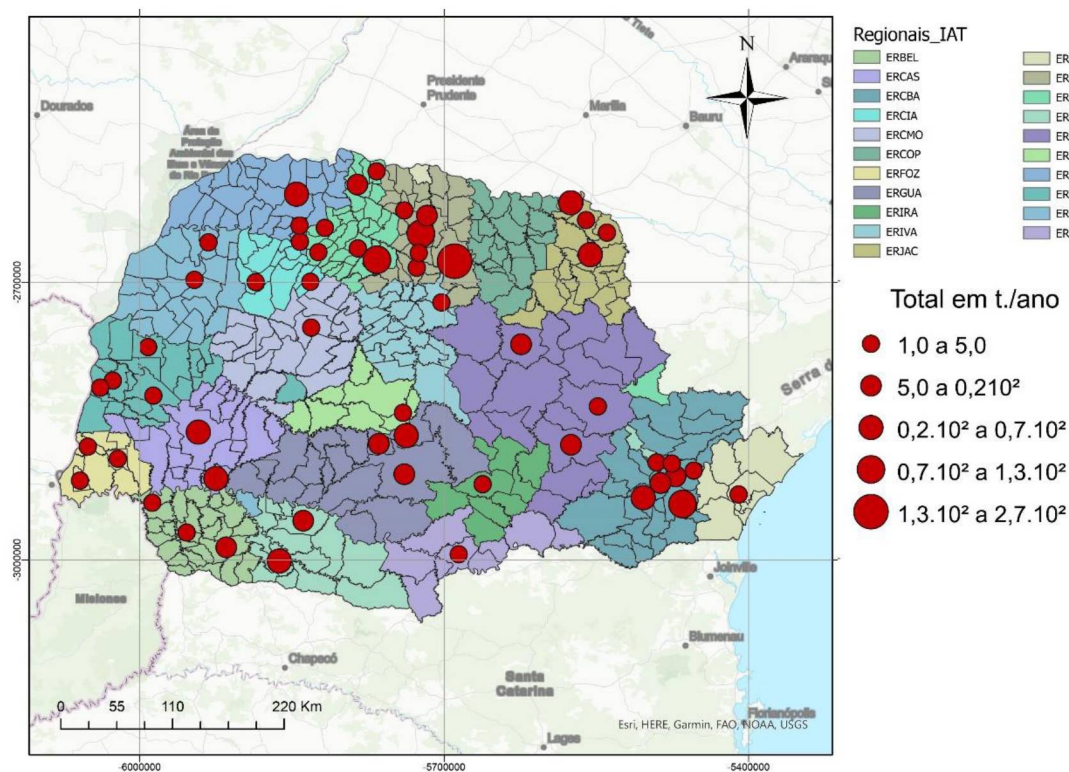


FONTE: O autor (2023).

A disposição em aterro dos RSI recicláveis representa um pequeno percentual do total de resíduos destinados. Sendo que os resíduos de aparas plásticas e papéis representam a maior parte das 10.458 t. de resíduos recicláveis dispostos em aterros.

As atividades industriais que informaram destinar quantidade inferior a 1% do total de resíduos destinados foram contempladas como "Outras", sendo elas as de açúcar e álcool, beneficiamento agrícola e têxtil.

FIGURA 16 - MAPA DE DENSIDADE DE GERAÇÃO DE RSI GRUPO III DISPOSTOS EM ATERRO NO ESTADO DO PARANÁ



FONTE: O autor (2023).

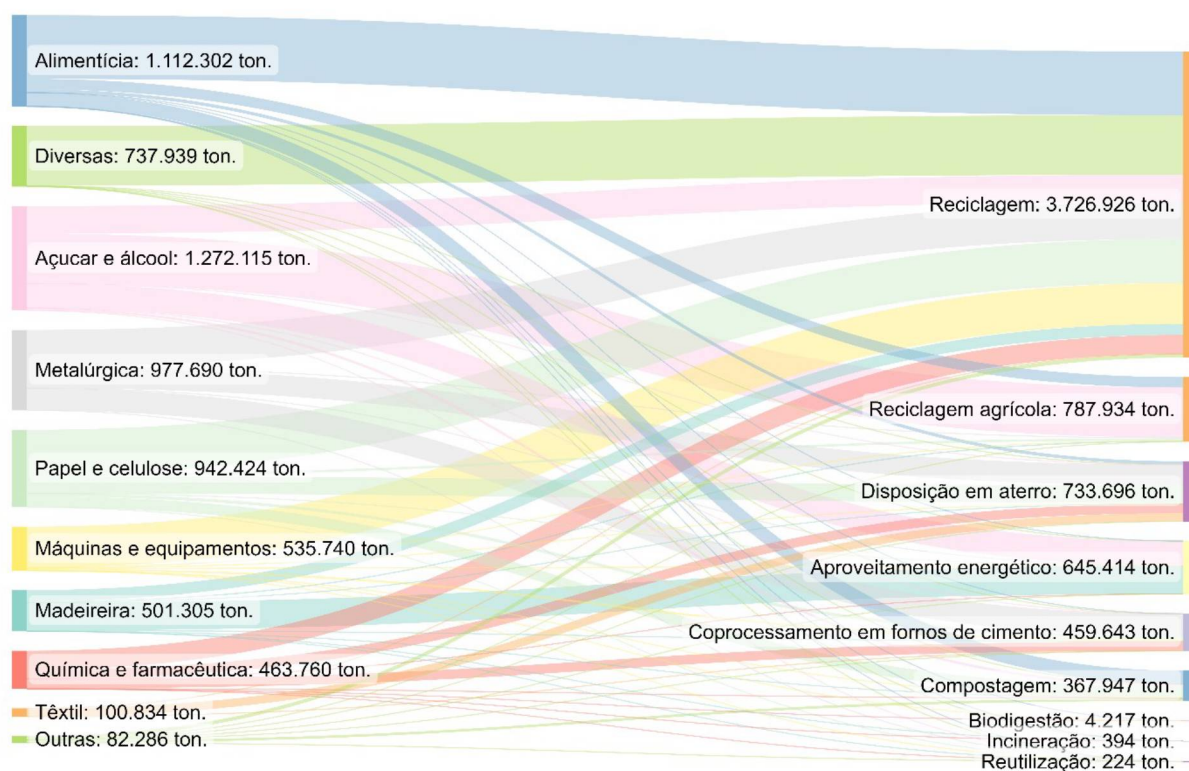
As três principais áreas em um raio de 100 km onde se concentram as destinações de resíduos recicláveis destinados a aterro são ao redor do Município de Arapongas com 5.1520,16 t/ano, Curitiba com 1.819,28 t/ano e Nova Esperança com 684,57 t/ano.

As licenças ambientais emitidas pelo Instituto Água e Terra não possui uma nomenclatura padronizada para identificação de empreendimentos que recebem resíduos como matéria prima para reciclagem. Parte dos empreendimentos que realizam reciclagem estão licenciados como indústrias, enquanto que parte dos empreendimentos licenciados para a atividade de reciclagem realizam apenas atividades de gerenciamento de RS, como o armazenamento temporário, transporte, tratamento, entre outras. Dessa forma, não foi possível identificar as unidades de reciclagem licenciadas no Estado do Paraná.

4.3.4 GRUPO IV (RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS COPROCESSÁVEIS)

Foram registrados 3.545 fluxos de resíduos coprocessáveis, resultando em 5.156,282,92 toneladas destinadas. A principal destinação adotada para estes resíduos é a reciclagem, com contribuição principal das indústrias alimentícia, diversas, açúcar e álcool, metalúrgica e de papel e celulose. Em acordo com o informado no inventário os resíduos mais destinados a reciclagem são papel, plásticos, papelão e resíduos de madeira.

GRÁFICO 6 - FLUXOS DE DESTINAÇÃO DOS RSI DE INTERESSE GRUPO IV (COPROCESSÁVEIS).



FONTE: O autor (2023).

Os resíduos coprocessáveis são o grupo de RSI de Interesse que apresentou maior disposição em aterro. Sendo que das 1.600.841 t. de RSI dispostos em aterro, 45,8% foram considerados como possíveis de serem coprocessados em fornos de cimento. Resíduos de areia de fundição como substitutos de matéria prima em fornos de clínquerização, lodos de ETE e resíduos sólidos diversos contaminados são os resíduos com maior contribuição para esta fração coprocessável.

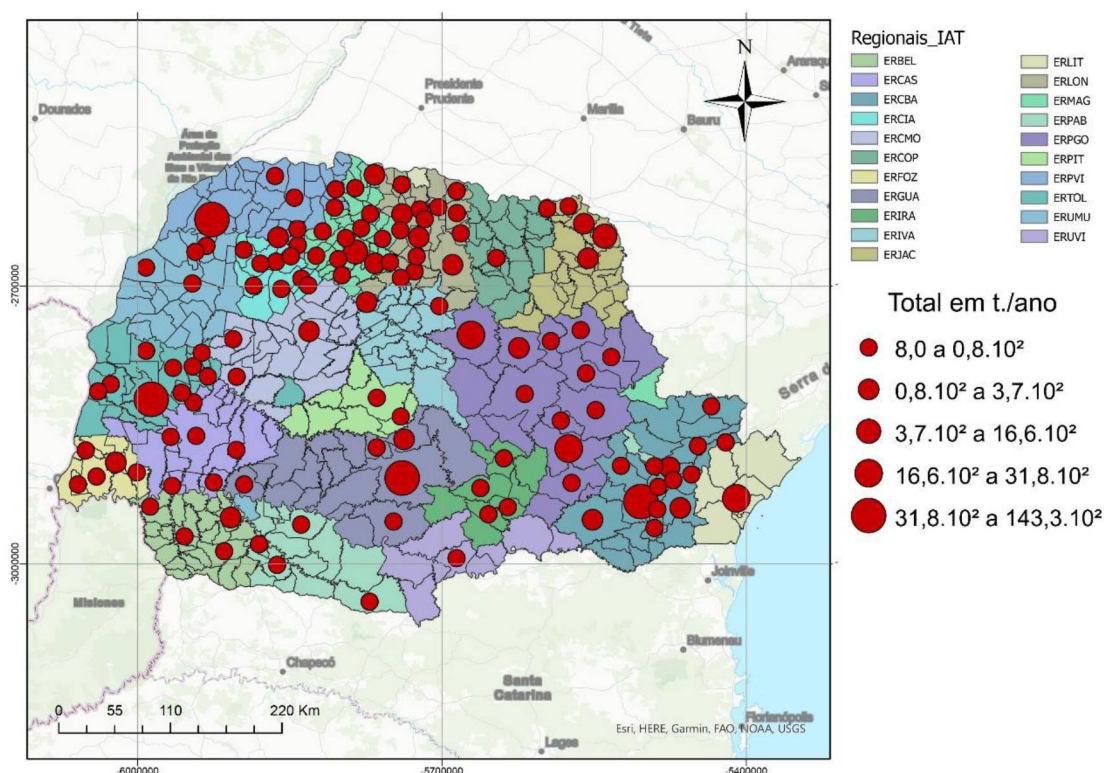
A principal possível dificuldade para a destinação de lodos de ETE para coprocessamento é o possível alto teor de umidade comum a este resíduo, o que reduz seu poder calorífico e, conseqüentemente, aumenta seus custos de destinação cobrados pelas cimenteiras. Técnicas de redução de umidade, como leitos de

secagem, desidratação térmica e alteração de processos nas próprias ETEs podem ser formas de viabilizar esta destinação. Entretanto, caso a caso deve ser avaliado.

A destinação pra coprocessamento é principalmente caracterizada pela destinação de resíduos diversos contaminados com óleo provenientes de indústrias metalúrgicas, resinas de indústrias químicas e farmacêutica e resíduos de produção de indústrias de máquinas e equipamentos.

As atividades industriais que informaram destinar quantidade inferior a 1% do total de resíduos destinados foram contempladas como “Outras”, sendo elas as de plástico e borracha e beneficiamento agrícola e de minerais.

FIGURA 17 - MAPA DE DENSIDADE DE GERAÇÃO DE RSI GRUPO IV DISPOSTOS EM ATERRO NO ESTADO DO PARANÁ



FONTE: O autor (2023).

O Grupo IV apresentou a maior quantidade e de forma mais dispersa de RSI de Interesse disposta em aterro. A região Norte do Estado foi identificada como a maior área de concentração.

Foram identificadas três principais áreas em um raio de 100 km onde se concentram as destinações de resíduos coprocessáveis a aterro. São elas ao redor

do Município de Cidade Gaúcha com 147.497,28 t/ano, Guarapuava com 138.232,28 t/ano, Curitiba com 111.295,63 t/ano.

O Estado do Paraná possui apenas 3 unidades de coprocessamento localizadas todas na regional de Curitiba, sendo as três de porte excepcional, nos Municípios de Adrianópolis, Balsa Nova e Rio Branco do Sul. Entretanto, há diversas unidades de preparo de resíduos licenciadas afim de atender as unidades de coprocessamento instaladas no Paraná e, eventualmente, fora do Estado.

TABELA 9 - RELAÇÃO DE UNIDADES DE BLENDAGEM POR REGIONAL E PORTE NO ESTADO DO PARANÁ.

Sigla Área	Excepcional	Grande	Médio	Pequeno	Total Geral
ERBEL	0	0	0	1	1
ERCBA	1	1	3	2	7
ERPGO	0	1	0	0	1
Total Geral	1	2	3	3	9

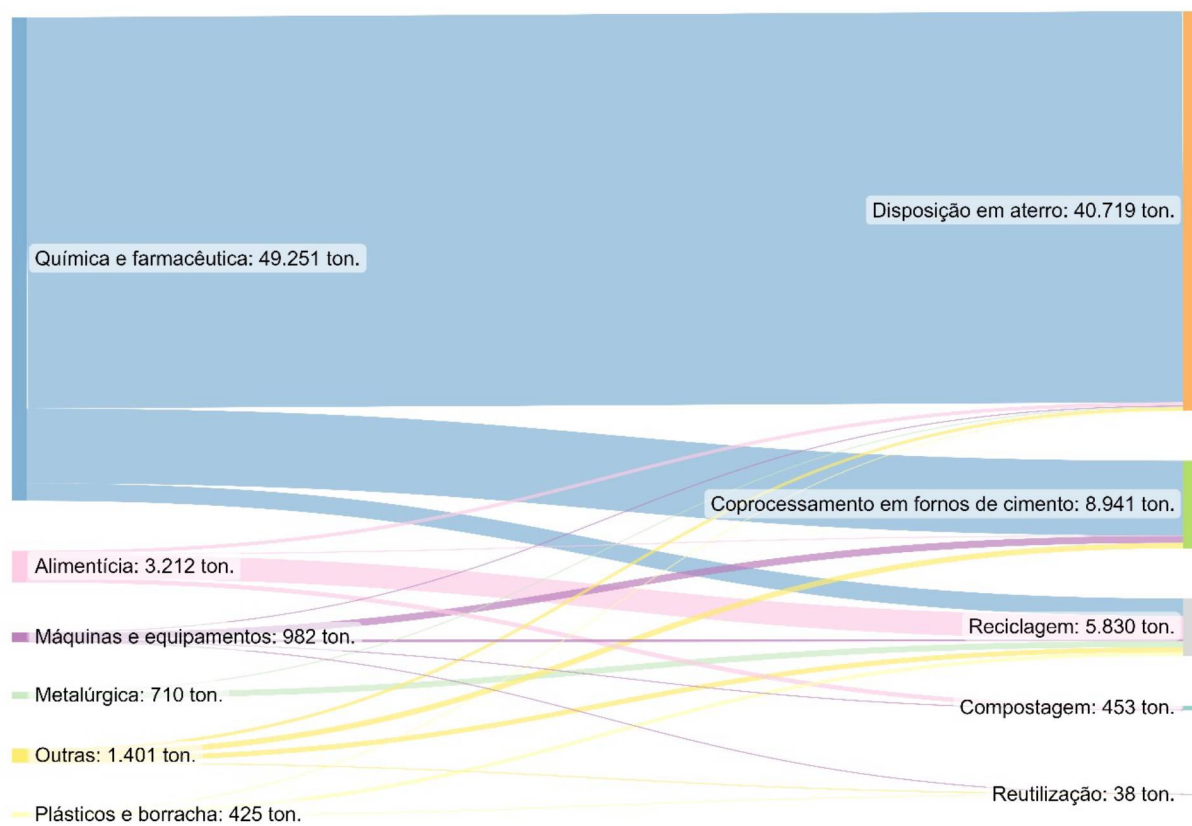
FONTE: O autor (2023).

Apenas 9 unidades de preparo de resíduos para coprocessamento (blendeiras) licenciadas. A maior parte delas encontra-se na proximidade das unidades de coprocessamento, na regional de Curitiba. Entretanto, há também blendeiras na regional de Francisco Beltrão (ERBEL) e de Ponta Grossa (ERPGO). Não existem ainda unidades de preparo de resíduos para coprocessamento licenciadas na região Norte do Estado.

4.3.5 GRUPO V (RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS PARA RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA)

Apenas 187 registros foram identificados como sendo do Grupo V, totalizando 55.981,00 toneladas destinadas. A maior parte da disposição em aterro é de solo contaminado com hidrocarbonetos proveniente de indústrias químicas.

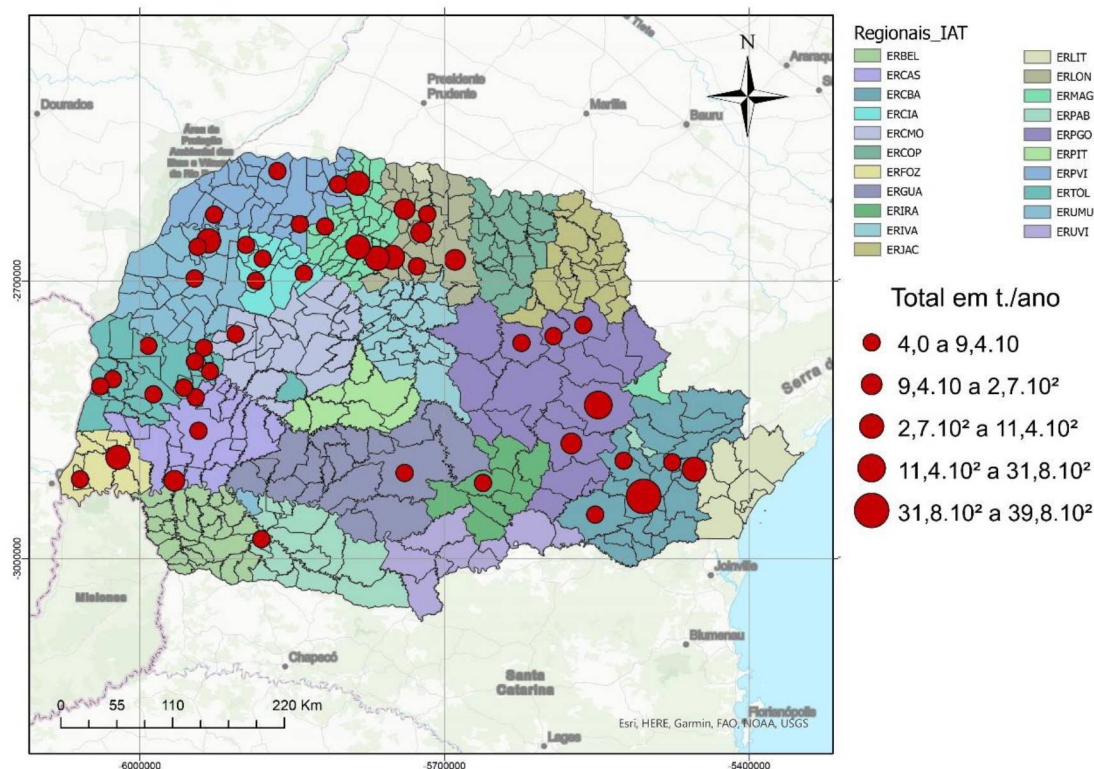
**GRÁFICO 7 - FLUXOS DE DESTINAÇÃO DOS RSI DE INTERESSE GRUPO V
(RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA)**



FONTE: O autor (2023).

As atividades industriais que informaram destinar quantidade inferior a 1% do total de resíduos destinados foram contempladas como “Outras”, sendo elas as de açúcar e álcool, beneficiamento agrícola, beneficiamento de minerais, papel e celulose, plásticos e borracha, têxtil e madeireira.

FIGURA 18 - MAPA DE DENSIDADE DE GERAÇÃO DE RSI GRUPO V DISPOSTOS EM ATERRO NO ESTADO DO PARANÁ



FONTE: O autor (2023).

As três principais áreas identificadas onde ocorrem disposição de resíduos com restrição à destinação em aterros são em um raio de 100 km dos Municípios de Curitiba com 39.980,80 t/ano, Cidade Gaúcha com 77,78 t/ano e Mandaguari com 282,07 t/ano.

4.4 DISCUSSÃO

Os dados do IRSI não contemplam todo o universo de resíduos industriais gerados no Estado. Dentre as indústrias que não foram contempladas, estão os empreendimentos que operam irregularmente sem licença ambiental, os empreendimentos que não possuem cadastro na plataforma SGA por serem licenciados por Municípios descentralizados, mas, principalmente, os empreendimentos regulares que não prestam as informações ao IRSI na periodicidade devida.

Algumas hipóteses de motivações para que os responsáveis não respondam o IRSI são o desconhecimento da legislação ambiental, a prestação das informações apenas no caso de renovação de licença de operação e a negligência por parte dos

responsáveis. Não houveram sanções ou medidas cabíveis mais graves, como notificações ou autuações, devido a não prestação do IRSI realizadas até então pelo órgão ambiental estadual, ao menos que se tenha ciência. É possível que este fato faça com que os responsáveis negligenciem mais ainda esta ferramenta. A dificuldade por parte do usuário em utilizar a plataforma digital deve também ser considerada.

Houveram menores taxa de resposta ao IRSI dos empreendimentos de porte reduzido (pequeno e médio). É possível descrever hipóteses para este fato, como devido à falta de fiscalização por parte dos órgãos ambientais, negligência por parte dos empreendedores e licenças emitidas como Dispensa de Licença Ambiental Estadual (DLAE), qual não exige análise técnica para sua emissão ou renovação.

O fato de que empreendimentos de maiores portes possuam taxas de resposta de IRSI também maiores pode ser devido à emissão de licenças ambientais com prazos reduzidos, o que faz com que os responsáveis prestem a informação de forma mais frequente na renovação. É importante destacar que há obrigação de prestação do IRSI de forma anual conforme Art. 21 da Portaria IAP nº 212/19. Há, ainda, a possibilidade de que estas taxas elevadas ocorram devido à contratação de profissionais específicos que tomem as responsabilidades relativas a questões ambientais nos empreendimentos.

É possível observar que houve aumento na taxa de resposta ao IRSI no decorrer dos anos. Este aumento pode estar relacionado com a inserção do comprovante de envio do IRSI como documentação necessária à renovação de licença de operação na plataforma do SGA ou o aumento de implementação de políticas ambientais nos empreendimentos para o atendimento a legislação ambiental, auditorias internas e estratégias de mercado.

Uma vez que os responsáveis pelos empreendimentos puderam também inserir os inventários retroativos na plataforma, a ação realizada pela Câmara Técnica de Resíduos do IAT é considerada como a principal hipótese que acarretou no aumento das taxas de resposta entre 2018 e 2020.

Há informações inconsistentes nos dados prestados ao IRSI, dentre eles destaca-se a prestação de informação incompatível com a licença ambiental do gerador. Também foram identificados valores excessivamente grandes para certos empreendimentos, que podem ter sido originados a partir de um engano com relação a unidades no momento em que se presta a informação na plataforma. Alguns desses dados foram percebidos durante a análise dos dados desta pesquisa e foram excluídos.

Estes dados resultaram em fluxos distorcidos que inviabilizariam qualquer análise, como, por exemplo, o caso de dois empreendimentos que informaram destinar plástico contaminado equivalente à 50% da massa de todos os resíduos gerados no estado.

Diversos registros informaram o empreendimento responsável pelo destino final como sendo o responsável pelo transporte ou alguma outra etapa do gerenciamento (armazenamento, transbordo, tratamento, entre outros). Este fato pode se dever ao desconhecimento do verdadeiro responsável pela destinação final ou desconhecimento da forma que devem ser prestadas as informações na plataforma.

Os fluxos destinados à reciclagem foram os que apresentaram maiores inconsistências relacionados à natureza do licenciamento dos empreendimentos receptores. Parte destes podem ter sido destinados para compostagem, incorporação em solo agrícola, biodigestão ou mesmo queima em caldeira. Avalia-se que este é um dos principais ruídos presentes na interpretação dos dados deste estudo.

Levanta-se a hipótese de desconhecimento da diferença dos conceitos de reciclagem, tratamento e disposição final por parte dos responsáveis dos empreendimentos em alguns destes casos. **O termo “reciclagem” é um termo muito abrangente** e que contempla diversos processos que são frequentemente confundidos pelos usuários. A busca por nomenclaturas mais específicas para as formas de destinação e a disponibilização de um glossário na própria plataforma são ações que o órgão ambiental pode realizar para trazer mais precisão às informações geradas.

A plataforma SGA-IR apresenta diversas oportunidades de melhoria. Por exigir que o declarante informe uma licença ambiental ou um destino final com cadastro na própria plataforma, deixa-se de gerar informações importantes, como quando há destinações inadequadas, como lixões ou queima, ou para empreendimentos irregulares. Ao não serem geradas as informações a respeito desses tipos de destinação, impossibilita-se também a confecção de diagnósticos que embasem ações de fiscalização ou devidas providências cabíveis.

A interface da plataforma é pouco intuitiva e amigável ao usuário. Apresenta diversos pequenos erros de texto ou dificuldade de inserção de dados ou, mesmo, de obtenção dos dados informados. A sua reformulação é necessária afim de facilitar o seu uso.

A nomenclatura de resíduos específicos e tipos de destinação e tratamento também precisam ser revistas por parte do órgão ambiental. Ao mesmo tempo que há

resíduos muito específicos, há categorias demasiadamente abrangentes ou que, de fato, não caracterizam o resíduo. Ao que se pese em questão, é também importante que uma lista de resíduos distinta da LBRS do IBAMA seja utilizada. Sugere-se que a revisão da nomenclatura de resíduos seja realizada a partir de um levantamento dos principais resíduos gerados nas atividades industriais, comerciais e de atividades gerenciadoras de resíduos presentes no Estado. Ainda, que a nomenclatura evidencie o material que compõe o resíduo, seu estado físico e a presença de contaminantes ou quais são. Para que, desta forma, pela avaliação da atividade de origem do resíduo e classificação do mesmo, seja possível identificar se as tecnologias disponíveis têm a capacidade de recebimento ou não do material em questão.

É essencial que o setor público atue no sentido de aprimoramento dos instrumentos que objetivem modificar o comportamento dos atores sociais e do setor produtivo, que estendem estas mudanças ao perfil da cadeia de destinação de resíduos. Os dois principais tipos de atuação são a política de comando e controle - impondo normas e padrões de acesso - e utilização dos recursos e instrumentos econômicos, como preços, taxas e subsídios, que visem influenciar o comportamento dos agentes econômicos e garantam o uso mais racional dos recursos (BROLLO; SILVA, 2001).

A publicização dos dados da plataforma por meio de acessos interativos semelhantes aos dados disponibilizados pelo SNIS, por exemplo, é considerada um avanço para o gerenciamento de resíduos sólidos industriais. Uma vez que pouca informação a nível de avaliação do setor como um todo está disponível de forma pública e a existência da plataforma estimula o usuário.

Dos cerca de 9 milhões de toneladas de resíduos industriais considerados neste estudo, 18,0% é disposto em aterros sanitários ou industriais. Desta fração, cerca de 58% não possui destinação alternativa ao aterro identificada no estudo. Este fluxo é caracterizado principalmente águas de lavagem, lodos de ETEs, resíduos de obras e equiparados aos domiciliares.

É possível que os resíduos de água de lavagem informados sejam, na verdade, borras ou lodos provenientes de tratamento de efluentes dos empreendimentos com altos teores de umidade. A destinação de efluentes para aterros não é ambientalmente adequada, devendo estes efluentes serem tratados, preferencialmente nas unidades geradoras e posteriormente destinadas conforme padrão de outorga em corpo hídrico. Resíduos de obras ou de construção civil informados possivelmente são resíduos de entulho, concretos, alvenarias, entre outros. A destinação destes

materiais em aterros também não é adequada, uma vez que a reciclagem em agregados através da britagem ou a reservação são as destinações recomendadas em acordo com o disposto na Resolução CONAMA nº 307/2002. Os resíduos equiparados aos domiciliares são majoritariamente compostos por resíduos administrativos, de refeitórios e sanitários. Há a possibilidade de destinação para coprocessamento da maior parte desta fração, entretanto, a compostagem na própria unidade de resíduos alimentícios e de cozinha é uma alternativa viável em grande parte dos empreendimentos.

De todos os resíduos dispostos em aterro, cerca de 40% são coprocessáveis (Grupo IV). É possível que isso se deva as quantidades reduzidas de destinações alternativas para esta tipologia de resíduos – como sólidos diversos contaminados (estopas, papel, papelão, EPIs, entre outros); solos contaminados com solventes e hidrocarbonetos ou resíduos de varrição.

As unidades de coprocessamento concentram-se apenas na região leste do estado (Balsa Nova, Rio Branco do Sul e Adrianópolis). A implementação de novas unidades de coprocessamento não foi objeto deste estudo, uma vez que a instalação de fornos de clinquerização deve levar em consideração a disponibilidade minerária da região, além de configurar projetos de investimento elevado.

Entretanto, a instalação de unidades de preparo de resíduos para coprocessamento ocorre de forma mais facilitada, uma vez que requer menores investimentos e tem como fonte de renda a destinação de resíduos de terceiros. A partir da publicação de atos que dispõe a respeito da restrição de disposição de resíduos em aterros – como a Portaria IAP nº 212/2019, resolução CEMA nº 109/2021 e Lei Estadual nº 21.052/2022, houve um aumento do requerimento de licenciamento para implementação de unidades de preparo de resíduos (blendeiras) também em outras regiões do Estado. A instalação destas unidades pode favorecer esse tipo de destinação, inclusive reduzindo os preços para a destinação final em fornos de cimenteiras.

Um dos resíduos classificados neste estudo como coprocessável foram os lodos e borras de estações de tratamento de efluentes e de processos produtivos. O poder calorífico deste resíduo e, conseqüentemente, o valor negociado para sua destinação em coprocessamento, está vinculado com o seu teor de umidade. Portanto, a implementação de unidades de desidratação de lodos e borras no Estado do Paraná pode ser apontada como uma oportunidade de negócio a ser estudada por investidores do ramo.

A distribuição geográfica dos resíduos dispostos em aterro do Grupo IV foi a mais dispersa dentre os resíduos avaliados. A região Norte do Paraná apresenta uma grande concentração para este grupo, o que pode representar uma grande oportunidade para investidores do ramo se instalarem unidades de preparo de resíduos (blendadeiras) nesta área. Um dos desafios nesta região seria o custo do frete para o transporte do blend pronto até as unidades de coprocessamento. Sugere-se a avaliação do transporte por meio do modal ferroviário, uma vez que há infraestrutura instalada até as cimenteiras que realizam esse tipo de destinação final.

Ainda, cabe destacar que o transporte de *blend* de resíduos para coprocessamento durante longas distâncias representa um risco ambiental elevado devido a possíveis acidentes. Uma vez que se trata de material com alto poder calorífico, com concentrações eventualmente elevadas de hidrocarbonetos, solventes e outros contaminantes. É necessário que critérios específicos para esse transporte sejam melhor estabelecidos, desenvolvendo sistemas de controle e segurança ambiental com respostas mais efetivas do que as presentes atualmente.

A região de Curitiba foi uma das áreas com maior quantidade de destinação de resíduos coprocessáveis para aterro, apesar de possuir cimenteiras e blendadeiras próximas. É possível que esse fato se deva a falta de interesse ambiental por parte dos geradores e aos preços reduzidos para a disposição em aterro. Avalia-se que a destinação pra coprocessamento se torne mais significativa nesta região a partir do momento em que as áreas disponíveis para aterro comecem a reduzir, elevando seu custo de destinação.

Os resíduos do Grupo I e II representaram o segundo e terceiro grupo mais representativo em relação a quantidade total de resíduos dispostos em aterro. A quantidade de resíduos biodigeríveis e compostáveis variou apenas 1,2 pontos percentuais entre si. A semelhança de quantidades entre estes dois grupos se deve ao fato de ambos serem compostos por resíduos biodegradáveis. Apesar de ambas as rotas de degradação biológica serem possíveis para estes resíduos, há rotas mais favoráveis para uma alternativa do que para outra. Por exemplo, resíduos líquidos ou com maior fração de gordura requerem processos de compostagem melhores controlados.

Foram quantificadas as destinações de resíduos compostáveis nas três áreas com maiores concentrações. Há unidades de compostagem licenciadas em todas estas áreas, entretanto, estes empreendimentos não estão realizando o recebimento de todos estes resíduos avaliados. A competitividade de preços e a limitação técnica

podem ser os principais fatores para que essa destinação não ocorra. A quantidade de 9.715,67 ao redor do Município de Astorga e de 2.937,74 toneladas ao ano ao redor do Município de Curitiba representam uma demanda expressiva, que pode viabilizar ampliações nos empreendimentos existentes ou novas unidades de compostagem.

Apesar de semelhante em quantidade, a destinação de resíduos biodigeríveis para aterro ocorre de forma mais concentrada do que a destinação para compostagem. É possível que isso se deva às indústrias que gerem efluentes orgânicos possíveis de serem destinados para biodigestão. Mais uma vez a região de Curitiba foi com uma das áreas onde há grande concentração de disposição de RSI de Interesse.

Nenhuma das três áreas em um raio de 100 km apresentou uma destinação para aterro de resíduos biodigeríveis acima de 30.000 toneladas ao ano, informada por Horan (2018) como uma quantidade mínima a ser assegurada afim de viabilizar empreendimentos de biodigestão. Há ainda poucas unidades de biodigestão licenciadas no Estado do Paraná, enquanto que apenas em 2021 foram publicados critérios para seu licenciamento.

Os resíduos recicláveis e para recuperação energética são os dois menores grupos avaliados neste estudo – representando 0,7 e 2,5% do total de RSI destinado a aterro. Isto se deve à alta destinação para processos de reciclagem para o Grupo I (recicláveis), que é dotado de valor comercial.

Enquanto que os resíduos do Grupo V podem ter sido alvo de ruído ao terem sido classificados. Uma vez que nem os códigos constantes na lista brasileira de resíduos sólidos do IBAMA, nem a lista de resíduos específicos utilizadas pelo IAT por meio da plataforma SGA, pode distinguir claramente se certos resíduos pertencem ou não à relação de resíduos com restrição à disposição em aterros constantes nos atos administrativos referenciados. Desta forma, reitera-se a necessidade de revisão das nomenclaturas por parte do órgão ambiental estadual e destaca-se a importância de definição de características mais precisas ao se dispor de restrições.

A falta de assertividade nos termos utilizados pode resultar na falta de fiscalização por parte dos técnicos que deveriam fazer o controle. Fazendo com que a consequência pretendida ao se dispor na Lei Estadual nº 21.052/22, Resolução CEMA nº 109/21 e Portaria IAP nº 212/19 não sejam de fato obtidas.

Entretanto, foi possível identificar que a região ao redor do Município de Curitiba apresentou uma quantidade relativamente elevada de resíduos dispostos em aterro para o Grupo V – cerca de 40.000 toneladas ao ano. É possível que estas

destinações estejam em inconformidade com o disposto no Art. 12 da Lei Estadual nº 21.052/2022, que dispõe a obrigatoriedade de destinação destes resíduos para instalações devidamente licenciadas para recuperação energéticas instaladas até 150 km de distância da fonte de geração de resíduos. Avalia-se que a demanda de destinação dos resíduos do Grupo V para coprocessamento não viabiliza por si só a implementação de novas unidades de blendagem. Entretanto, ao se instalar unidades para atendimento da demanda do Grupo IV, estes resíduos podem ser também atendidos.

A disponibilidade de empreendimentos de tratamento de resíduos sólidos pode ser considerada como fator determinante para o perfil das destinações caracterizado. A identificação de regiões de geração resíduos passíveis de reciclagem, reutilização ou reaproveitamento facilitam ações de investidores e prestadores de serviços que visem instalação de novas unidades, revelando oportunidades de negócio a partir da demanda. Para Firmo *et al.* (2019), é fundamental que o setor receba investimentos na infraestrutura de diferentes tecnologias de destinação para qualificar a gestão de resíduos, o que resulta em fortalecimento de mercado, desenvolvimento tecnológico, geração de emprego e renda e redução de distâncias percorridas para destinação. De acordo com o PERS (2018), há uma necessidade de se percorrer distâncias elevadas para realizar destinações ambientalmente mais favoráveis no Estado. O transporte de resíduos, além de onerar os custos na gestão, implica riscos associados a acidentes durante o percurso, gastos em energia e emissões de gases do efeito estufa.

5 CONCLUSÃO

Este estudo buscou identificar oportunidades para implementação de unidades de destinação alternativa ao aterro no Estado do Paraná. Além da revisão bibliográfica, foi realizada a caracterização do perfil industrial estadual através dos dados da plataforma SGA de licenciamento. Foram também utilizados os dados do Inventário de Resíduos Sólidos Industriais através da plataforma SGA-IR. Uma vez que historicamente há uma baixa adesão ao inventário, foi aproveitada a oportunidade de quando o órgão ambiental estadual oficiou indústrias de portes elevados a prestarem os inventários. Foram determinados os RSI com destinação alternativa ao aterro (RSI de Interesse) a partir de revisão bibliográfica e dados de Autorizações Ambientais para destinação de resíduos emitidos pelo IAT e, então, caracterizados os fluxos de destinação de RSI por diagramas Sankey e determinação das áreas de geração de RSI de

Interesse dispostos em aterro para identificar as regiões com demanda para instalação de unidades de destinação alternativa ao aterro.

O Estado do Paraná possui 10.106 licenças de operação vigentes de indústrias. Cerca de 50% destas indústrias encontram-se no entorno de Ponta Grossa, Curitiba, Maringá e Londrina. Considerando que as indústrias localizadas no Município de Curitiba não foram abrangidas neste levantamento devido ao uso de plataforma específica pelo órgão municipal, é possível afirmar que a maioria das indústrias paranaenses estão localizadas nestas duas grandes regiões. O Estado do Paraná caracteriza o seu perfil industrial em 22 tipologias distintas, quais a indústria madeireira e alimentícia são as mais numerosas e são, em sua maioria, de portes reduzidos. As indústrias química, de materiais de transporte e de papel e celulose são as que possuem a maior fração de indústrias de portes elevados.

Foram considerados neste estudo um total de 704 registros de inventários de indústrias de portes grande ou excepcional, que representam 64,0% do total destas indústrias no Estado. Um total de 6.042 fluxos foram contabilizados, que resultaram em 8.915.461,17 toneladas de RSI destinados no ano de 2019.

As indústrias de papel e celulose, metalúrgica e alimentícia são as maiores geradoras de resíduos sólidos. Sendo que a reciclagem, a disposição em aterro e o coprocessamento são as principais destinações adotadas. Os maiores fluxos de destinação são a destinação de sucatas metálicas, borras de cal, plásticos, papéis, papelão e diversos de madeira para reciclagem; lodos de tratamento e areias de fundição de indústrias metalúrgicas para aterro e o envio de borras oleosas, lodos de tratamento e diversos contaminados para coprocessamento de indústrias metalúrgicas. Há concentração de empreendimentos que destinam resíduos para disposição em aterro na região de Curitiba e em uma região entre oeste e centro norte do estado.

Foi possível determinar resíduos sólidos de interesse em cinco grupos distintos a partir das atividades de origem, nomenclaturas exercidas na plataforma SGA, além de suas composições e estados físicos. Uma das dificuldades encontradas neste estudo foi o uso de algumas nomenclaturas genéricas que impossibilitaram a caracterização de alguns fluxos.

As indústrias alimentícia e de papel e celulose são as principais geradoras de resíduos compostáveis (Grupo I), qual teve como principal destinação informada a reciclagem, principalmente de **resíduos de madeira, fibras e caracterizados como “não processáveis”**. A destinação em aterro é a segunda mais adotada, caracterizada

principalmente pela disposição e lodo de ETE de indústrias de papel e celulose. Foram identificadas as principais áreas onde ocorre disposição em aterro destes resíduos em um raio de 100 km a partir dos Municípios de Astorga, Curitiba e Moreira Sales. Há diversas unidades de compostagem instaladas no Estado, entretanto, conclui-se que a demanda por compostagem não é atendida nas regiões Centro-Norte e metropolitana de Curitiba por estas unidades existentes. Portanto, configuram-se oportunidades de implementação ou ampliação de unidades de compostagem nestas regiões.

A principal destinação informada para resíduos biodigeríveis (Grupo II) é a reciclagem, principalmente de resíduos de processo e lodos de ETE de indústrias alimentícia e de açúcar e álcool. A disposição em aterro é a terceira mais adotada, também caracterizada principalmente por disposição de lodos de ETE de indústrias de papel e celulose. A disposição em aterro de RSI do Grupo II ocorre principalmente em um raio de 100km a partir dos Municípios de Curitiba, Arapongas e Indianópolis. Nenhuma área apresentou viabilidade de implementação de unidades de biodigestão para destinações em até 100 km considerando o recebimento mínimo de 30.000 t/ano.

Os resíduos recicláveis (Grupo III) são o segundo grupo com maiores quantidades de destinação e possuem uma alta taxa de destinação para a própria reciclagem, possivelmente relacionado com a dotação de valor econômico dos resíduos. Este fluxo é caracterizado principalmente pela reciclagem de sucatas metálicas, plásticos, papel e papelão. A disposição em aterro ocorre principalmente para embalagens de indústrias agrícolas e de madeira, papel e plásticos das indústrias diversas e de papel e celulose. Foram identificadas três principais áreas onde ocorre a disposição em aterro destes resíduos – em um raio de 100 km a partir Municípios de Arapongas, Curitiba e Nova Esperança.

O grupo com maior destinação é o Grupo IV. Os resíduos coprocessáveis em fornos de clinquerização têm como principal destinação a reciclagem, com principal contribuição da destinação de papel, plásticos, papelão e diversos de madeira das indústrias alimentícia, diversas, açúcar e álcool, metalúrgica e de papel e celulose. A disposição em aterro é a terceira mais adotada e a maior entre os grupos analisados. É caracterizada pela destinação de areia de fundição como substitutos de matéria prima, lodos de ETE e sólidos contaminados.

Apesar das unidades de coprocessamento estarem localizadas na região Leste do Estado, há concentração de disposição em aterro destes resíduos na região metropolitana de Curitiba. Este fato se deve possivelmente aos baixos preços

cobardos para disposição em aterro. Uma vez esgotados as vidas úteis dos aterros na região Leste, associada a baixa disponibilidade de áreas para novos aterros, poderão ser viabilizadas implementações de mais unidades de blendagem na região. A região Norte do Estado e em um raio de 100 km a partir dos Municípios de Cidade Gaúcha e Guarapuava também apresentaram concentrações de disposição em aterros para estes resíduos.

Avaliou-se como uma oportunidade para empreendedores do ramo a instalação de unidades de preparação de resíduos na região Norte, desde que viabilizado uma forma de transporte do blend produzido que viável financeiramente e com segurança ambiental. A instalação de unidades de desidratação de lodo na região Norte e na região metropolitana de Curitiba pode ser uma oportunidade para investidores do setor.

Os resíduos caracterizados para recuperação energética com restrição à disposição em aterro são o menor grupo avaliado e principalmente destinados em aterros, em especial em um raio de 100 km a partir dos Municípios de Curitiba e de Cidade Gaúcha. Avalia-se como principal oportunidade de destinação destes resíduos o envio para coprocessamento em fornos de cimento. Entretanto, avalia-se que a demanda a partir dos resíduos do Grupo V não viabiliza implementação de novas unidades de preparo de resíduos (blendeiras). A maior parte da disposição em aterro é de solo contaminado com hidrocarbonetos proveniente de indústrias químicas.

O presente estudo possibilitou uma avaliação das oportunidades para destinações alternativas a aterro de resíduos sólidos industriais de interesse no Estado do Paraná, indicando áreas onde podem ocorrer estudos mais detalhados para implementação de empreendimentos de compostagem, biodigestão, unidades de gerenciamento de recicláveis e de preparo de resíduos para coprocessamento. As regiões de influências dos Municípios de Maringá e Curitiba e região Norte do Estado apresentaram a maior quantidade de oportunidades para implementação de unidades de destinação dos resíduos estudados.

Conclui-se que o inventário de resíduos sólidos industriais pode ser utilizado como instrumento para identificação de áreas onde podem ocorrer ações para redução da disposição em aterro. Também se conclui que a plataforma do IRSI deve passar por melhorias, assim como as nomenclaturas adotadas para resíduos específicos e destinações finais adotadas pelo órgão ambiental estadual. É recomendado que

novos estudos que identifiquem oportunidades para destinações alternativas ao aterro sejam realizados após estas melhorias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACSELRAD, H. **Ambientalização das lutas sociais – o caso do movimento por justiça ambiental**. Estudos Avançados, 24(68), 103-119. Disponível em <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10469>.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRE. **Resolução ANTT nº 5.232 - Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento Terrestre do Transporte de Produtos Perigosos, e dá outras providências**. De 14 de dezembro de 2016. Disponível em https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/24783215.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRE. **Resolução ANTT nº 5.947 - Atualiza o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e aprova as suas Instruções Complementares, e dá outras providências**. 02 de junho de 2021. Disponível em <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-5.947-de-1-de-junho-de-2021-323561273>.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRE. **Resolução ANTT/DC nº 5.848 - Atualiza o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e dá outras providências**. De 26 de junho de 2019.

ALKOAIK F.N. **Integrating aeration and rotation processes to accelerate composting of agricultural residues**. Japão. 25 de julho de 2019. DOI.10.1371/journal.pone.0220343

ALVARENGA, D. L.; REIS, R. E. **Análise do processo de fabricação do papel utilizando matéria**. Uberaba – SP. 12 de dezembro de 2018. Disponível em <https://repositorio.uniube.br/bitstream/123456789/1092/1/ANALISE%20DO%20PROCESSO%20DE%20FABRICA%C3%87%C3%83O%20DO%20PAPEL%20UTILIZANDO%20MAT%C3%89RIA%20PRIMA%20RECICLADA%20-%20revisado.pdf>.

ANCAT, **Anuário da reciclagem 2020**. Brasília – PR. Novembro de 2020. 56 P.

ANTES, F. G.; BORTOLO, M.; KUNZ, A. **Tratamento do digestato: remoção de fósforo. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia. Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. p. 191-209. DOI: https://dx.doi.org/10.21452/978-85-93823-01-5.2019.01_7.

AQUAPOLO. **Quem somos**. Disponível em <http://www.aquapolo.com.br/quem-somos/>. Acesso em 10/10/2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PLÁSTICA – ABIPLAST. **Perfil 2020 – A indústria de transformação e reciclagem de plástico no Brasil**. São Paulo – SP. 2021. Disponível em http://www.simpesc.org.br/wp-content/uploads/2021/08/Perfil2020_abiplast.pdf.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PLÁSTICA – ABIPLAST. **Reciclabilidade de materiais plásticos pós-consumo**. São Paulo – SP. 2019. Disponível em

http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/03/cartilha_reciclabilidade_abi-plast_web.pdf.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE Vidro - ABIVIDRO. **Guia reciclagem do vidro**. São Paulo – SP. 2022. Disponível em <https://abividro.org.br/wp-content/uploads/2019/01/Abividro-Guia-Reciclagem-do-Vidro.pdf>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Panorama do coprocessamento – Uma tecnologia sustentável – Ano base 2021**. Curitiba – PR. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010**. 2010. Disponível em <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2010/>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021**. 2021. Disponível em <https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.157: Aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro-RJ, 1987. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro - RJ, 2004. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.235: Armazenamento de resíduos sólidos perigosos**. Rio de Janeiro-RJ, 1992. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13.221: Transporte terrestre de resíduos**. Rio de Janeiro-RJ, 2003. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13.230: Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis – Identificação e simbologia**. Rio de Janeiro-RJ, 2008. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13.591: Compostagem**. Rio de Janeiro-RJ, 1996. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15.483: Aparas de papel e papelão ondulado - Classificação**. Rio de Janeiro-RJ, 2009. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro-RJ, 1992. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA DE PRODUTOS PERIGOSOS. **Transporte rodoviário de resíduo de produtos perigosos**. Janeiro de 2018. Disponível em <http://www.abtlp.org.br/index.php/transporte-rodoviario-de-residuo-de-produtos-perigosos/>.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS APARISTAS DE PAPEL – ANAP. **Relatório Anual 2018-2019**. São Paulo – SP. 2019. Disponível em <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://anap.org.br/site/wp-content/uploads/2021/12/relatorio-estatico-2018.pdf>.

ASSUNÇÃO, J. V.; PESQUEIRO, C. R. **Dioxinas e furanos: origens e riscos**. Revista de Saúde Pública, 33, p. 523–530. Outubro de 1999. DOI:10.1590/S0034-89101999000500014.

AYILARA, M.; OLANREWaju, O.; BABALOLA, O.; ODEYEMI, O. **Waste Management through Composting: Challenges and Potentials**. Sustainability, 12. Mmabatho, Africa do Sul. 30 de maio de 2020. DOI:10.3390/su12114456

BAHERS, J. B.; DURAND, M. **The Effect Of Proximity On Waste Management In The Paradoxes Of The Circular Economy In France**. Perspectives on Waste from the Social Sciences and Humanities. Opening the Bin. Ed. EK, E.; JOHANSSON, N., Cambridge Scholars Publishing. 3 de novembro de 2020. Disponível em <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-02987109/document>.

BRASIL, CONAMA. **Resolução nº 237 - Dispõe sobre licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental**. 31 de agosto de 1981.

BRASIL, CONAMA. **Resolução nº 313 - Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais**. 29 de outubro de 2002.

BRASIL, CONAMA. **Resolução nº 416 - Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências**. 30 de setembro de 2009.

BRASIL, MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Portaria Nº 204. De 20 de maio de 1997.

BRASIL. **Decreto Federal Nº 96.044 – Aprova o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e dá outras providências**. 18 de maio de 1988. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d96044.htm.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Sistema nacional de emergências ambientais**. Disponível em <http://www.ibama.gov.br/sistemas/siema>.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Instrução Normativa Ibama nº 15 -Institui o**

Sistema Nacional de Emergências Ambientais - Siema, ferramenta informatizada de comunicação de acidentes ambientais, visualização de mapas interativos e geração de dados estatísticos dos acidentes ambientais registrados pelo Ibama. 06 de outubro de 2014. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=134049>>.

BRASIL. Lei Federal Nº 12.305, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 02 de agosto de 2010. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.

BRASIL. Lei Federal nº 12.527 - Regula o acesso a informações previsto no inciso XXXIII do art. 5º, no inciso II do § 3º do art. 37 e no § 2º do art. 216 da Constituição Federal; altera a Lei nº 8.112, de 11 de dezembro de 1990; revoga a Lei nº 11.111, de 5 de maio de 2005, e dispositivos da Lei nº 8.159, de 8 de janeiro de 1991; e dá outras providências. Brasília, DF. 18 de novembro de 2011. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2011/lei/l12527.htm.

BRASIL. Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis n.º 9.984/2000, 10.768/2003, 11.107/2005, 11.445/2007, 12.305/ 2010, 13.089/2015 13.529/2017. Disponível em <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>.

BRASIL. Lei Federal nº 6.938 - Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. 31 de agosto de 1981. Brasília, DF. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Portaria nº 280 - Regulamenta os arts. 56 e 76 do Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, e o art. 8º do Decreto nº 10.388, de 5 de junho de 2020, institui o Manifesto de Transporte de Resíduos - MTR nacional, como ferramenta de gestão e documento declaratório de implantação e operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos, dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos e complementa a Portaria nº 412, de 25 de junho de 2019. Brasília, DF. 29 de junho de 2020. Disponível em <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-280-de-29-de-junho-de-2020-264244199>.

BRASIL Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES). Brasília, de agosto de 2012. Disponível em: https://sinir.gov.br/images/sinir/Arquivos_diversos_do_portal/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf

BRASIL. Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), versão para consulta pública. Brasília, DF. novembro de 2020. Disponível em: <http://consultaspublicas.mma.gov.br/planares/wp-content/uploads/2020/07/Plano-Nacional-de-Res%C3%ADduos-S%C3%B3lidos-Consulta-P%C3%ABlica.pdf>.

BREHM, F. A.; KULAKOWSKI, M. P.; EVALDT, D. C.; MORAES, C. A. M.; PAMPANELLI, A. B. Análise da estabilização por solidificação de lodo de fosfatização

em matrizes de cimento Portland e de cerâmica vermelha para a utilização na construção civil. Ambiente Construído, 13, DOI:10.1590/s1678-86212013000200003

BRENNAN, R. B.; HEALY, M. G.; MORRISON, L.; HYNES, S.; NORTON, D.; CLIFFORD, E. **Management of landfill leachate: The legacy of European Union Directives.** Waste Management, 55, p. 355–363. Irlanda. 8 de outubro de 2015. DOI:10.1016/j.wasman.2015.10.010

Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras – CTF/APP. **Sem título.** De 04 de agosto de 2020. Disponível em <https://app.poderbi.com/view?r=eyJrIjoiazDY5OTI2NzltNmVhYS00YjNiLWEzMDItMjU4OTFl-ZjM0YmM4IiwidCI6IjM5NTdhMzY3LTZkMzgtNG-MxZi1hNGJhLTMzZThmM2M1NTBINyJ9>.

CANAL RURAL. **Brasil não vai importar fertilizantes russos durante guerra, diz ministra.** De 04 de março de 2022. Disponível em <https://www.canalrural.com.br/noticias/politica/brasil-nao-vai-importar-fertilizantes-russos-durante-guerra-diz-ministra/>.

CATVE. Incêndio no aterro municipal em Capitão Leônidas Marques é controlado. Capitão Leônidas Marques. 17 de novembro de 2021. Disponível em <https://catve.com/noticia/6/349651/incendio-no-aterro-municipal-em-capitao-leonidas-marques-e-controlado>.

CHAVAN, D.; LAKSHMIKANTHAN, P.; MONDAL, P.; KUMAR, S.; KUMAR, R. **Determination of ignition temperature of municipal solid waste for understanding surface and sub-surface landfill fire.** Waste Management, p. 123–130. Nagpur, Índia. 9 de agosto de 2019. DOI:10.1016/j.wasman.2019.08.002

CHRISTY, P. M.; GOPINATH, L. R.; DIVYA, D. **A review on anaerobic decomposition and enhancement of biogas production through enzymes and microorganisms.** Renewable and Sustainable Energy Reviews 34, p. 167–173. 01 de março de 2014. DOI:10.1016/j.rser.2014.03.010.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Lixo municipal – Manual de gerenciamento integrado.** 4ª Edição. São Paulo – SP. Disponível em https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 264 - Licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil. De 20 de março de 2000. Brasília, DF.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 362 - Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil. De 23 de junho de 2005., Brasília, DF.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 499 - Dispõe sobre o licenciamento da atividade de coprocessamento de resíduos em fornos rotativos de produção de clínquer.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil. De 6 de outubro de 2020., Brasília, DF. Disponível em

<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-conama/mma-n-499-de-6-de-outubro-de-2020-281790575>.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **A indústria elétrica e eletrônica impulsionando a economia verde e a sustentabilidade prima reciclada**. Brasília – DF. 2017. Disponível em <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/fasci17.pdf>.

CORDEIRO, F. G. **Método para avaliação de risco ambiental de acidentes de trânsito envolvendo produtos perigosos usando análise multicritério**. 11 de agosto de 2014. Disponível em <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/115901/000801549.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

COSTA, A. M.; ALFAIA, R. G. S. M.; CAMPOS, J. C. **Landfill leachate treatment in Brazil – An overview**. Journal of Environmental Management, 232, p. 110–116. Rio de Janeiro, RJ. 01 de outubro de 2018. DOI:10.1016/j.jenvman.2018.11.006

CRUVINEL, V. R. N.; ZOLNIKOV, T. R.; TAKASHI M. O.; OLIVEIRA, V. T. L.; VIANNA, E. N.; SANTOS, F. S. G.; OLIVEIRA, K. C.; SCOTT, J. A. **Vector-borne diseases in waste pickers in Brasilia, Brazil**. Waste Management, p. 223–232. Brasília, DF. 2 de fevereiro de 2020. DOI:10.1016/j.wasman.2020.02.001.

DANTAS, R. M. **Prospecção das tecnologias para produção de fibras secundárias branqueadas de celulose por processamento de papel recuperado de pós-consumo**. São Caetano do Sul – SP. Escola de Engenharia Mauá, 2012. Disponível em <https://maua.br/files/dissertacoes/prospeccao-das-tecnologias-para-producao-de-fibras-secundarias-de-celulose-por-processamento-de-papel-recuperado-de-pos-consumo.pdf>.

DECONINK, S.; DE WILDE, B. **Benefits and challenges of bio and oxo degradable plastics – a comparative literature study**. Brussel, Bélgica. De 09 de agosto de 2013. Disponível em https://www.ows.be/wp-content/uploads/2013/10/Final-Report-DSL-1_Rev02.pdf.

DUH, D.; HASIC, S.; BUZAN, E. **The impact of illegal waste sites on a transmission of zoonotic viruses**. Virology Journal. Koper, Eslovênia. 20 de julho de 2017. DOI:10.1186/s12985-017-0798-1

DYER, T. D. **Handbook of Recycling - Glass Recycling**. P. 191–209. 2014. DOI:10.1016/B978-0-12-396459-5.00014-3

EPSTEIN, E. **Industrial composting – environmental Engineering and Facilities Management**. CRC Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton, Florida. 2011.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). **Diverting waste from landfill – effectiveness of waste-management policies in the European Union**. EEA Report n. 7/2009, ISSN 1725-9177. Copenhagen, 2009.

EUROSTAT. Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity. 27 de janeiro de 2022. Disponível em <https://tinyurl.com/yckvzi7t>.

FIEP/PR. **Elementos de Economia Circular**. 100 p. Curitiba. 2019.

FIESP/CIESP. **Panorama da indústria de transformação brasileira**. P. 21 De 11 de janeiro de 2019.

FIRMO, A. L. B.; MOREIRA, H. C.; JUCÁ, J. F. T.; LUCENA, L. F. L.; MARIANO, M. O. H.; RUSSO M. A. T.; SCHMIDT, T. **Caderno temático – gestão de resíduos sólidos urbanos com baixas emissões de GEE**. 2019. Disponível em https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/plansab/2-CadernotematicoGestaodeRSUcombaixasemissoesdeGEE.pdf.

FOLLMANN, A. A. J.; RODRIGUES, A. C.; FOLLMANN, M. C. D.; DE SOUZA, V. Q.; GRAEPIN, C. **Degradação de sacolas plásticas convencionais e oxibiodegradáveis**. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM. Ciência e Natura, Santa Maria v.39 n.1, p. 187-192. Santa Maria – RS. 27 de novembro de 2016.

FONTENELLES, M. J.; SIMÕES, M. G.; FARIAS S. H.; FONTELLE R. G. S. **Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa**. De 28 de agosto de 2009. Disponível em https://files.cer-comp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C8_NONAME.pdf.

FRANCISCO, E. E.; OLIVEIRA, A. L. **Apresentação de métodos de reaproveitamento de resíduos metálicos na indústria metalmeccânica**. De 18 de dezembro de 2020. DOI: 10.31510/infa. v17i2.887. Interface Tecnológica – V. 17 n. 2.

FREITAS, L. F. S. F.; GÜNTHER, W. M. R. **Balanço dos dez anos da Política Nacional dos Resíduos Sólidos**. Agosto de 2021. Nota técnica Carta de conjuntura da USCS, ed. 18. Disponível em <https://www.uscs.edu.br/boletim/689>.

FREITAS, S. S.; NÓBREGA, C. C. **Os benefícios do coprocessamento de pneus inservíveis para a indústria cimenteira**. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000000769>. De 28 de janeiro de 2014. Revista de engenharia sanitária e ambiental. Disponível em <https://www.scielo.br/j/esa/a/LjLGGqWPVWShRDFBsrn-mxF/?format=html>.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Saneamento para promoção da saúde**. 21 de julho de 2017. Disponível em <http://www.funasa.gov.br/saneamento-para-promocao-da-saude>.

GERMAN LAW ARCHIVE. **Closed Substance Cycle Waste Management Act (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, KrW-/AbfG) – Excerpts**. 22 de novembro de 2013. Disponível em <https://germanlawarchive.iuscomp.org/?p=303>

GHOSH, S. K.; PARLIKAR, U.; KARSTENSEN, H. K. **Sustainable management of waste through co-processing**. Springer. Oslo, Noruega. 2022. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-6073-3>.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª Edição. São Paulo: Atlas, 2002. Disponível em

https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C1_como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf.

GOVERNO MUNICIPAL DE TOLEDO. **Antigo lixão pega fogo em Toledo**. Toledo, PR. 25 de novembro de 2020. Disponível em <https://www.toledo.pr.gov.br/noticia/antigo-lixao-pegando-fogo-em-toledo>.

GRUPO DE RESÍDUOS SÓLIDOS- UFPR. **Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Jaboatão dos Guararapes, PE. 2014. Disponível em <http://protegeer.gov.br/images/documents/50/7.%20BNDES,%202014.pdf>.

SHARMA, H. C. **Role of pollution prevention in waste management/environmental restoration**. Em Handbook of Pollution Control and Waste Minimization. Albuquerque, Novo México. 2002.

HARUN, N.; IBRAHIM, W. H. W.; LUKMAN M. F.; YUSOFF M. H. M.; N. F. S. DAUD; ZAINOL, N. **Process simulation of anaerobic digestion process for municipal solid waste Treatment**. Anaerobic Digestion Processes. Springer. P. 71-85. Singapura, 2018.

HETTIARACHCHI, H.; SERENA, C.; SCHWÄRZEL, K. **Organic waste composting through Nexus Thinking**. Springer One. 2020.

HORA, A. B.; RIBEIRO, L. B. N. M.; MENDES, R. **Papel e celulose - Paper and cellulose**. In: PUGA, Fernando Pimentel; CASTRO, Lavínia Barros de (Org.). Visão 2035: Brasil, país desenvolvido: agendas setoriais para alcance da meta. 1. ed. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2018. p. 119-142. Disponível em <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/16222>.

HORAN, N. J. **Introduction**. Anaerobic Digestion Processes. Springer. P. 13-19. Singapura, 2018.

INFORME POLICIAL. **Jaboti - Bombeiros apagam fogo em aterro sanitário; veja imagens**. Ibatí, PR. 29 de outubro de 2020. Disponível em <http://informepolicial.com/JABOTI-Bombeiros-apagam-fogo-em-aterro-sanitario-veja-imagens/>.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Instrução Normativa Ibama nº 13**, de 18 de dezembro de 2012. Dispõe sobre a Lista Brasileira de Resíduos Sólidos. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/publicadas/lista-brasileira-de-residuossolidos.html>>

IRAVANIAN, A.; RAVARI, S. O. **Types of Contamination in Landfills and Effects on The Environment: A Review Study**. 2020. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 614 012083. DOI:10.1088/1755-1315/614/1/012083. Disponível em <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/614/1/012083/pdf>.

KORTEX. **Simbioses industriais na economia circular**. 2018. Disponível em <https://korteworld.com/wp-content/uploads/2019/01/Kortex-Simbioses-Industriais-na-Economia-Circular.pdf>. 15 p. Acesso em 10/10/2020.

LIMA, T. F. S.; FERNANDES, A. M. M.; SOUSA, F. H. F. **Legislação de resíduos sólidos no Brasil e na Alemanha: um comparativo entre a Lei 12.305/2010 e a Lei Kreislaufwirtschaftsund Abfallgesetz.** 2019. Disponível em https://semanaa-cademica.org.br/system/files/artigos/artigo_thais_ferreira_dos_santos_lima_pdf1.pdf

FEHR, M.; PEREIRA A. F. N.; BARBOSA, A. K. A. **Supporting waste and water management with proactive legal instruments.** De novembro de 2019. Resources Conservation and Recycling. DOI:10.1016/j.resconrec.2009.06.005. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/223574688_Supporting_waste_and_water_management_with_proactive_legal_instruments.

BROLLO, M. J.; SILVA, M. M. **Política e gestão ambiental em resíduos sólidos. Revisão e análise sobre a atual situação no Brasil.** Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa/PB. De janeiro de 2001. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/228885347_POLITICA_E_GESTAO_AMBIENTAL_EM_RESIDUOS_SOLIDOS_REVISAO_E_ANALISE SOBRE_A_ATUAL_SITUACAO_NO_BRASIL.

MAIS POLÍMEROS. **Entenda como funciona uma extrusora de plástico.** 12 de agosto de 2019. Cajamar, SP. Disponível em <https://maispolimeros.com.br/2019/08/12/extrusora-de-plastico/>.

MALARD, A. A. M. **Avaliação ambiental do setor de coprocessamento no estado de Minas Gerais.** Campinas, SP. 2016.
MANDPE, A.; KUMARI, S.; KUMAR, S. **Composting: A Sustainable Route for Processing of Biodegradable Waste in India.** De 24 de novembro de 2020. Organic Waste Composting through Nexus Thinking. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-36283-6_3.

MATTIODA, HUMBERTO FLAESER. **Briquetagem de cavaco: implementação de projeto e análise econômica, organizacional e ambiental.** 2018. Disponível em <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/188255>.

MILANEZ, B. **Co incineração de resíduos industriais em fornos de cimento: problemas e desafios.** In: 9º Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, Anais. Curitiba: ENGEMA, 2007. Disponível em http://www.resol.com.br/textos/co_incineracao_residuos_industriais.pdf.

MILANEZ, B. **Co incineração de resíduos industriais em fornos de cimento: problemas e desafios.** In: 9º Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, Anais... Curitiba: ENGEMA, 2007. Disponível em http://www.resol.com.br/textos/co_incineracao_residuos_industriais.pdf.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Conceitos para o licenciamento ambiental de usinas de biogás.** Coletanea de publicações do PROBIOGAS, Série Desenvolvimento do Mercado de Biogás, 1ª edição. Brasília, 2016. Disponível em <https://an-tigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/licenciamento-usinas-biogas.pdf>.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Estudo da reciclagem de metais no país.** De novembro de 2009. Disponível em http://antigo.mme.gov.br/docu-ments/36108/450079/P57_RT83_Reciclagem_de_Metals_no_Paxs.pdf/2c11b09c-fa95-cf3d-2699-5a2efc59cb5b?version=1.0.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO PARANÁ, CENTRO DE APOIO OPERACIONAL ÀS PROMOTORIAS DE PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE. **Nota técnica – compostagem de resíduos sólidos urbanos.** Curitiba, PR. 2011. Disponível em https://www.mpma.mp.br/arquivos/ESMP/Nota_Tecnica_-_Compostagem.pdf.

MISTURINI, D. D. **Redução do impacto ambiental: uma abordagem no setor de modelagem em uma empresa calçadista.** 16 de dezembro de 2016. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-8077.2016v18n46p120> Disponível em <https://periodicos.ufsc.br/index.php/adm/article/view/2175-8077.2016v18n46p120/pdf>

MORALES, S., RAÚL, G. E.; TORO, A., RICHARD, M. L.; LEIVA, G., MANUEL, A. **Landfill fire and airborne aerosols in a large city: lessons learned and future needs.** 6 de outubro de 2017. Air Quality, Atmosphere & Health, DOI:10.1007/s11869-017-0522-8.

MTX AMBIENTAL. **Estudo de impacto ambiental (EIA) – central de tratamento, aterro industrial e aterro de resíduos da construção civil.** Volume I. Piraí do Sul, PR. Julho de 2017. Disponível em https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/eia_mtx.pdf.

NASPOLINI, O.; GUADAGNIN, M. R. **A função de empresa aparista na cadeia de reciclagem de papel e papelão no sul catarinense.** Porto Alegre – RS. 2014. Disponível em <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/2402/1/A%20fun%3%a7%3%a3o%20de%20em-presa%20aparista%20na%20cadeia%20de%20reciclagem%20de%20papel%20e%20papel%3%a3o%20no%20sul%20catarinense.pdf>.

NOYES, R. **Unit operations in environmental engineering.** Noyes Publications, Park Ridge, Nova Jersey. 2014.

ASSIS, O. B. G. **O uso de vidro reciclado na confecção de membranas para microfiltração.** Cerâmica 52 (321). De março de 2006. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132006000100016>. Disponível em <https://www.scielo.br/j/ce/a/BJGHZLz6n7F7NR4Yn7rLhqp/?lang=pt>.

OESTE NEWS. **Incêndio é registrado no Aterro Sanitário em Itaipulândia.** Itaipulândia, PR. 17 de novembro de 2021. Disponível em <https://portaloste-news.com/incendio-e-registrado-no-aterro-sanitario-em-itaipulandia/>.

PACHECO, JOSÉ WAGNER. **Guia técnico ambiental de graxarias:** CETESB, 2006. 76p. (Série P + L) Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>.

PARANÁ, INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Relatório da situação do inventário de resíduos sólidos industriais no Estado do Paraná.** Curitiba, PR. Dezembro de 2016. Disponível em <https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua->

terra/arquivos_restritos/files/documento/2021-03/diagnostico_de_residuos_solidos_industriais_2016.pdf.

PARANÁ. CEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução CEMA nº 070. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências, para Empreendimentos Industriais.** 01 de novembro de 2009. Disponível em <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=151792&indice=1&totalRegistros=4&dt=9.2.2022.20.15.20.919>.

PARANÁ. CEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução CEMA nº 090. Estabelece condições, critérios e dá outras providências, para empreendimentos de compostagem de resíduos sólidos de origem urbana e de grandes geradores e para o uso do composto gerado.** De 03 de dezembro de 2013. Disponível em <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=128402&indice=1&totalRegistros=97&dt=10.2.2022.18.58.35.13>

PARANÁ. CEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução CEMA nº 109. Estabelece os critérios e procedimentos para o Gerenciamento de Resíduos Sólidos no Estado do Paraná.** De 09 de fevereiro de 2021. Disponível em <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=245027&indice=1&totalRegistros=89&dt=10.2.2022.18.59.51.238>

PARANÁ. CEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução CEMA nº 094 - Estabelece diretrizes e critérios orientadores para o licenciamento e outorga, projeto, implantação, operação e encerramento de aterros sanitários, visando o controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais e dá outras providências.** De 7 de novembro de 2014. Disponível em <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=132724&indice=1&totalRegistros=8&dt=13.2.2022.22.53.17.706>.

PARANÁ. CEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução CEMA nº 107 - Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece critérios e procedimentos a serem adotados para as atividades poluidoras, degradadoras e/ou modificadoras do meio ambiente e adota outras providências.** 09 de setembro de 2020. Disponível em <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=239356&indice=1&totalRegistros=5&dt=17.2.2022.10.25.54.468>.

PARANÁ. CEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução CEMA nº 110 - Estabelece critérios, procedimentos e tipologias de atividades, empreendimentos e obras que causem ou possam causar impacto ambiental de âmbito local.** 11 de maio de 2021. Disponível em <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=247939&indice=1&totalRegistros=6&dt=31.0.2023.22.52.2.698>

PARANÁ. CEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução CEMA nº 076/2009. Estabelece a exigência e os critérios na solicitação e emissão de Autorizações Ambientais para coprocessamento de resíduos em fornos de cimento, com fins de substituição de matéria prima ou aproveitamento energético.** Curitiba, PR. 24 de dezembro de 2009. Disponível em

<https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&co-dAto=146365&indice=1&totalRegistros=5&dt=17.2.2022.10.48.51.619>.

PARANÁ. INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP) **Portaria nº 212 – Estabelecer procedimentos e critérios para exigência e emissão de Autorizações Ambientais para as Atividades de Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Curitiba, PR. 12 de Setembro de 2019. Disponível em https://celepar7.pr.gov.br/sia/atosnormativos/form_cons_ato1.asp?Codigo=4252.

PARANÁ. INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Relatório da situação do inventário de resíduos sólidos industriais no estado do Paraná**. De dezembro de 2016. Disponível em https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2021-03/diagnostico_de_residuos_solidos_industriais_2016.pdf.

PARANÁ. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná – Relatório 08 – relatório final do panorama dos resíduos sólidos**. Curitiba/PR. Maio de 2018.

PARANÁ. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná – Relatório 15 – relatório final do plano de ação**. Curitiba/PR. Agosto de 2018. Disponível em https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2019-10/plano_estadual_de_residuos_solidos.pdf.

PARANÁ, SECRETARIA DA FAZENDA. **Indicadores econômicos**. Disponível em <https://www.fazenda.pr.gov.br/Pagina/Indicadores-economicos>.

PARKER D., RILLEY, K., ROBINSON, S., SYMINGTON, H., TEWSON, J., JANS-SON, K., RAMKUMAR, S. PECK, D. **Remanufacturing market study**. Outubro de 2015. 145 p. Inglaterra. Disponível em <https://www.remanufacturing.eu/assets/pdfs/remanufacturing-market-study.pdf>.

PILLI, S.; MORE, T. T.; YAN, S.; TYAGI, R. D. **Anaerobic digestion or co-digestion for Sustainable solid waste Treatment/management**. 29 de agosto de 2016. Sustainable Solid Waste Management (p.187-232). DOI:10.1061/9780784414101.ch08.

PORTAL DA CIDADE PARANAÍ. **Paranavaí e Nova Londrina registram três incêndios ambientais nesta quarta (25)**. Paranavaí, PR. 26 de agosto de 2021. Disponível em <https://paranavai.portaldacidade.com/noticias/regiao/paranavai-e-regiao-registram-tres-incendios-ambientais-em-um-dia-2731>.

RAJIN, M. **A Current Review on the Application of Enzymes in Anaerobic Digestion**. Anaerobic Digestion Processes. Springer. P. 64-79. Singapura, 2018.

ROCHA, S. D., LINS, V. F. C.; SANTO, B. C. E. S. **Aspecto do coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer**. Eng. Sanitária Ambiental, V. 16 n. 1 p.1-10. De março de 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522011000100003>. Disponível em <https://www.scielo.br/j/esa/a/3FybtBWKMpCPqCKSXhVnQvp/>.

RPC FOZ DO IGUAÇU. **Aterro sanitário pega fogo, e moradores sofrem com fumaça em Santa Helena**. Foz do Iguaçu, PR. 24 de novembro de 2020. Disponível

em <https://g1.globo.com/pr/oeste-sudoeste/noticia/2020/11/24/incendio-dura-dois-dias-em-aterro-sanitario-e-moradores-sofrem-com-fumaca-em-santa-helena.ghtml>.

RUSHTON, L. **Health hazards and waste management**. British Medical Bulletin. 2003. 68: p. 183–197.

SANTI, A.M.M. **Coincinação e coprocessamento de resíduos industriais perigosos em fornos de clínquer; investigação do maior polo produtor de cimento do país. Região metropolitana de Belo Horizonte, MG**. Tese, Campinas, 2003.

SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E TURISMO DO ESTADO DO PARANÁ (SEDEST-PR). **Resolução nº 08 - Estabelece definições, critérios, diretrizes e procedimentos para licenciamento ambiental de biodigestores com aproveitamento energético de biogás no âmbito do Estado do Paraná**. DOE-PR, Curitiba, 2021.

SECRETARIA ESPECIAL DE ASSUNTOS ESTRATÉGIOS (SAE-PR). **Plano nacional de Fertilizantes 2050**. 195 p. Brasília, DF. Disponível em <https://static.poder360.com.br/2022/03/plano-nacional-de-fertilizantes-brasil-2050.pdf>. Acessado em 09 de março de 2022.

SENAI/PR. **Oportunidades da cadeia produtiva de biogás para o Estado do Paraná**. 144 p. Curitiba, Paraná. 2016.

SINDIRREFINO. **Processo Industrial**. Sem data. São Paulo – SP. Disponível em <https://www.sindirrefino.org.br/rerrefino/processo-industrial>.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS sólidos – SINIR. **Painel de gestão de resíduos sólidos**. Disponível em <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaGVkYTRiZTktMGUwZS00OWFiLTgwNWYtNGQ3Y2JlZmJhYzFiliwidCI6IjJmY2ZmE5LTNmOTMtNGJiMS05ODMwLTZyNDY3NTJmMDNINCIsImMiOiF9>. Acessado em 09 de março de 2022.

SOUZA, G. C.; GUADAGNIN, M. R. **Diagnóstico dos serviços de coleta, transporte, tratamento e disposição final de resíduos sólidos domiciliares em município de pequeno porte: estudo de caso em Cocal do Sul-SC**. 3º SEMINÁRIO REGIONAL SUL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. 28 de agosto de 2009. Caxias do Sul, RS. Disponível em <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/1374/1/Diagn%C3%B3stico%20dos%20servi%C3%A7os%20de%20coleta.pdf>.

TINOCO, M. A. C.; PEREIRA, K. R. S. **Vulnerabilidade ambiental, social e viária em acidentes com transporte de produtos perigosos: estudo de caso na BR-101 entre Osório e Torres, Rio Grande do Sul, Brasil**. Cad. Saúde Pública. Rio de Janeiro – RJ. Nº 32. 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00112815>. Disponível em <https://www.scielo.br/j/csp/a/ggz6gYHcYzhkFqykBNggysR/?lang=pt>.

TOCHETTO, M. R. L. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais**. Santa Maria, RS. 2005. 97p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – US EPA. **Best practices for solid waste management – a guide for decision-makers in developing countries**. De outubro de 2020. Disponível em https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/master_swmq_10-20-20_0.pdf.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – US EPA. **Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) Overview**. 14 de julho de 2021. Disponível em <https://www.epa.gov/rcra/resource-conservation-and-recovery-act-rcra-overview>.

VAN ELK, A. G. H. P. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aplicado a resíduos sólidos - Redução de emissões na disposição final**. Rio de Janeiro, RJ. IBAM, 2007. 40 p. Disponível em https://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/03-aterro_md1_1.pdf.

VAVERKOVÁ, M. D. **Landfill Impacts on the Environment—Review**. 03 de outubro de 2019. Geosciences 2019, 9(10), 431; <https://doi.org/10.3390/geosciences9100431>. Disponível em <https://www.mdpi.com/2076-3263/9/10/431>.

VELOSO, Y. M. S.; FREITAS, L. F. K. ; AMARAL, J. H. B. ; DOS SANTOS, I. T. ; LEITE, M. S. e ARAUJO, P. J. L. **Rotas para reutilização de óleos residuais de frituras**. Cadernos de graduação, Engenharia de Petróleo, 2012. Disponível em <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/177/120>.

VIANA, F. L. E. **Economia circular e gestão de resíduos sólidos – perspectivas para o Brasil e o Nordeste**. Fortaleza, CE. 26 de janeiro de 2021. Rev. Econ. NE, v. 52, n. 1, p. 9-25.

WALLINGFORD, H. R. **Sustainable re-use of tyres in port, coastal and river engineering – guidance for planning, implementation and maintenance**. Report SR 669. Março de 2005. Disponível em https://eprints.hrwallingford.com/526/1/SR669_-_REPRO_-_Tyres_Manual-mwa.pdf.

WASSERMANN, A. I. **Processamento e características mecânicas de resíduos plásticos misturados**. Porto Alegre, RS. 226 p. 2006. Disponível em <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17360/000714892.pdf?...1>.

WEINRACH, J. **Pollution Prevention and Waste Minimization – Back to Basics**. Em Handbook of Pollution Control and Waste Minimization. Albuquerque, Novo México. 2002.

WILLIAMS, P. T. **Waste Treatment and Disposal**. 2005. Ed. 2. Editora John Wiley & Sons Ltd.

APENDICE 1 – GRUPOS DE RESÍDUOS

QUADRO 4 - RELAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O GRUPO I - RESÍDUOS COMPOSTÁVEIS

Proveniência dos resíduos	Subgrupo	Resíduo específico
Todas as atividades.	Cinzas de madeiras.	Cinzas de madeiras.
	Lodo e borras de ETes, ETAs e fossas sanitárias.	Lodo biológico, Lodo de fossa séptica, e Lodo de ETA.
	Resíduos vegetais	Resíduo de Jardinagem e Material de origem vegetal.
	Resíduos orgânicos.	Corpos de Animais, Fécula de Mandioca, Esterco animal, Resíduos Orgânicos, Resíduo Orgânico Domiciliar, Pó de Fumo, Terra de Produção, Penas, <i>Trub</i> , Bagaço de Cevada, Biomassa oriunda do processo de fermentação de enzimas, Levedura, Pó de Malte e Terra Diatomácea.
Indústrias de alimentos, beneficiamento e armazenamento de produtos agrícolas, de papel e celulose, do açúcar e álcool, beneficiamento de mandioca, bebidas, da madeira, do fumo e de produtos farmacêuticos. E Indústrias química e diversas com atividades específicas de fabricação de biocombustíveis, exceto álcool, incubatório, fabricação de produtos químicos orgânicos não especificados anteriormente e de farmacêuticos.	Borras e lodos de limpeza de tanques e canaletas	Resíduo sólido de limpeza de tanque, Borra de fundo de tanque, Resíduo de limpeza de canaletas, Borra de Limpeza de Ralo, Resíduo do Tanque de Contenção, Resíduo de limpeza de canaletas.
	Efluentes industriais Lodos, borras ou resíduos pastosos de produção	Efluente Líquido Industrial, Resíduo Líquido Industrial, Rejeitos de produção (Líquido). Resíduo da caixa separadora de água, areia e óleo, Borra de ETE, Resíduo da caixa de gordura, Lodo da ETE com Caixa de Gordura, Caixa de gordura, Lodo de Estação de Tratamento de Efluentes, Lodo da ETE, Torta de Filtro, Lodo de <i>decanter</i> , Lodo de Taurina, Resíduo da prensa de lodo, Borra de Destilado, Lodo industrial, Borra de Filtro, Lodo da Bacia de Contenção, Borra da água residual, Borra de Licor, Borra Proveniente de Centrifugação de Lodo, Torta de Carbono.
	Lodos, borras ou resíduos pastosos de produção Resíduos de madeira sem contaminação	Resíduo da caixa separadora de água, areia e óleo, Borra de ETE, Resíduo da caixa de gordura, Lodo da ETE com Caixa de Gordura, Caixa de gordura, Lodo de Estação de Tratamento de Efluentes, Lodo da ETE, Torta de Filtro, Lodo de <i>decanter</i> , Lodo de Taurina, Resíduo da prensa de lodo, Borra de Destilado, Lodo industrial, Borra de Filtro, Lodo da Bacia de Contenção, Borra da água residual, Borra de Licor, Borra Proveniente de Centrifugação de Lodo, Torta de Carbono. Materiais diversos – Madeiras, Madeira, Serragem, Fibras, pó e partículas de madeira, Casca picador.
	Resíduos de madeira sem contaminação Resíduos de varrição	Materiais diversos – Madeiras, Madeira, Serragem, Fibras, pó e partículas de madeira, Casca picador. Resíduo de varrição, Resíduo de varrição industrial, Pó de varrição.

	Resíduos de varrição Resíduos sólidos de produção	Resíduo de varrição, Resíduo de varrição industrial, Pó de varrição. Rejeitos de produção (Sólido), Resíduos não Processáveis – RNP, Produto fora de especificação, Matéria-prima fora de especificação, Matéria Prima vencida, sólidos fora de especificação.
--	--	---

FONTE: O autor (2023).

QUADRO 5 - RELAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O GRUPO II - RESÍDUOS COM POTENCIAL PARA DESTINAÇÃO PARA BIODIGESTÃO

Proveniência dos resíduos	Resíduo	Resíduo específico
Todas as atividades	Óleos vegetais	Óleo Vegetal, Óleo vegetal reciclável
	Efluentes industriais orgânicos	Cerveja destinada a tratamento externo, Cerveja de retorno
	Lodos e borras de efluentes sanitários	Lodo biológico, lodo de fossa séptica e Lodo de ETA.
Indústrias de alimentos, beneficiamento e armazenamento de produtos agrícolas, de papel e celulose, do açúcar e álcool, beneficiamento de mandioca, bebidas, da madeira, do fumo e de produtos farmacêuticos e farmacêuticos. E Indústrias química e diversas com atividades específicas de fabricação de biocombustíveis, exceto álcool, incubatório, fabricação de produtos químicos orgânicos não especificados anteriormente e de farmacoquímicos.	Borras e lodos de limpeza de tanques e canaletas	Resíduo sólido de limpeza de tanque, Borra de fundo de tanque, Resíduo de limpeza de canaletas, Borra de Limpeza de Ralo, Resíduo do Tanque de Contenção, Lodo da Bacia de Contenção, Resíduo de limpeza de canaletas
	Efluentes industriais	Efluente Líquido Industrial, Resíduo Líquido Industrial, Rejeitos de produção (Líquido)
	Lodos, borras ou resíduos pastosos de produção	Torta de Filtro, Lodo de decanter, Lodo de Taurina, Resíduo da prensa de lodo, Borra de Destilado, Lodo industrial, Borra de Filtro, Borra da água residual, Borra de Licor, Borra Proveniente de Centrifugação de Lodo, Torta de Carbono
	Lodos e borras de ETE de produção ou não	Resíduo da caixa de gordura, Resíduo da caixa separadora de água, areia e óleo, Caixa de Gordura, Lodo de Estação de Tratamento de Efluentes, Lodo da ETE, Lodo de fossa séptica, Borra de ETE, Lodo da ETE com Caixa de Gordura.
	Resíduos oleosos	Resíduos Oleosos, Óleo de origem animal e Sebo de origem animal
	Resíduos sólidos de produção	Rejeitos de produção (Sólido), Resíduos não Processáveis – RNP, Produto fora de especificação, Matéria-prima fora de especificação, Matéria Prima vencida, sólidos fora de especificação

FONTE: O autor (2023).

QUADRO 6 – RELAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O GRUPO III – RESÍDUOS RECICLÁVEIS

Proveniência dos resíduos	Resíduo	Resíduo específico
Todas as atividades	Resíduos plásticos	Resíduos plásticos não contaminados, Plástico não contaminado, Embalagens plásticas vazias não limpas, Plástico Mole, Materiais diversos – Plásticos, Ráfia de big bag, refiles de tapetes, Ráfia e outros plásticos, Plástico Duro, Estireno Polimerizado, Mangueiras de Polietileno, <i>Ribbon</i> , Plástico Fitílio, Sacos plásticos, IBC Não Contaminado, Garrafeiras
	Resíduos de vidro	Materiais diversos – Vidros, Vidraria Contaminada, Vidro quebrado
	Resíduos de papel e papelão	Rejeito de Aparas, Papel / Papelão, Materiais diversos - Papéis, Papel impregnado, Embalagens de papelão não lavadas e não contaminadas, Refilo do papel, Tubete
	Sucatas e resíduos metálicos	Sucata Metálica, Sucatas Ferrosas, Pó de Ferro, Sucatas Não Ferrosas, Resíduos de polimento do alumínio, Sucata metálica Contaminada, Tambores metálicos, Carepa, Sucata de Inox, Pó de Alumínio, Sucata de Alumínio, Sucata de Aço Carbono, Sucata de Cobre, Fino de Polimento.
	Resíduos de óleos minerais usados ou contaminados	Óleos e Graxas, Óleo lubrificante usado, Mistura de Óleo Usado, Óleo Hidráulico Usado, Óleo Mineral, Óleo De Processo, Óleo, Óleo contaminado com água, Óleo mineral contaminado
	Sucatas e resíduos de baterias	Baterias, Baterias em desuso proveniente da Logística Reversa (CONAMA 401/2008), Bateria Chumbo Ácido com Esgotamento Energético, Sucata de Bateria Chumbo Ácido
	Resíduos oleosos orgânicos	Sebo de origem animal, Óleo Vegetal, Óleo vegetal reciclável, Óleo de origem animal

FONTE: O autor (2023).

QUADRO 7 – RELAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O GRUPO IV - RESÍDUOS PARA COPROCESSAMENTO

Proveniência dos resíduos	Resíduo	Resíduo específico
Todas as atividades	Resíduos para substituição de matéria prima	Solo contendo carvão mineral, solo contaminado com hidrocarboneto, solo contaminado, cinzas de caldeira, cinzas de madeira, catalisador gasto, brita contaminada, areia de fundição, sílica, telhas sem amianto, alumina contaminada, Adsorvedor Alumino Silicato, carvão ativado.
Todas as atividades, exceto processos de tratamento de superfície	Lodo e borras de ETEs, ETAs e fossas sanitárias	Lodo da ETE, Resíduo da caixa de gordura, Borra de ETE, Lodo da ETE com Caixa de Gordura, Caixa de Gordura, Lodo de Estação de Tratamento de Efluentes, Lodo de ETE com Cinzas de Caldeira, Lodo da ETE com Cinzas de Caldeira e Varrição, Lodo de fossa séptica, Lodo de ETA, Resíduo da caixa separadora de água, areia e óleo,

		Lodo de rampa de lavagem com caixa separadora Água e Óleo, Lodo biológico.
	Borras e lodos de processos	Torta de Filtro, Lodo de decanter, Lodo de Taurina, Resíduo da prensa de lodo, Borra de Destilado, Borra Oleosa, Lodo de fosfatização, Borra de tinta à base de água, Borra de tinta à base de solvente, Borra de Silicone, Lodo industrial, Borra de Adesivo, Borra de Usinagem, Borra de Cola, Borra de Filtro, Borra da água residual, <i>Dregs</i> , Borra Proveniente de Centrifugação de Lodo, Borra de resina/parafina, Borra de Resina, Borra de Retífica, Borra de Licor, Borra Neutralizada, Borra de Grafite, Borra de Fosfatização, Torta de Carbono, Borra de emulsão, Lama de texturização, Borra de usinagem, pintura e fosfatização, borra de fundo de tanque.
Todas as atividades, exceto beneficiamento de minerais metálicos, tratamento de superfície, ind. metalúrgica, de couros, de agrotóxicos, de explosivos,	Resíduos sólidos de produção e varrição	Rejeitos de produção (Sólido), Resíduos não Processáveis – RNP, sólidos fora de especificação, Fibras, Forração, Maravalha, Matéria-prima fora de especificação, Produto fora de especificação, Resíduo Acumulado nos Filtros de Exaustão, Resíduo de varrição, Resíduo de varrição industrial.
Todas as atividades	Resíduos sólidos diversos contaminados com hidrocarbonetos, solventes ou tintas	Contaminado com Tinta, Elementos filtrantes, EPIs contaminados, Espumas contaminadas, Filtro de Óleo Contaminado, IBC Contaminado, Manta Absorvente contaminada, Materiais absorventes, Palito contaminado com parafina, Pano Industrial, Plástico Contaminado, Resíduos contaminados com óleo, Resíduos diversos contaminados para disposição final em aterro industrial classe I, Resíduos plásticos contaminados, Trapos contaminados, Resíduos sólidos contaminados com óleo e/ou graxa, Serragem Contaminada, Trapos contaminados, Trapos contaminados com óleo e resinas, Big Bag Contaminado, mix de resíduos oleosos, Borracha Contaminada, Sacarias Vazias Contaminadas, Resíduos diversos contaminados, exceto plástico, Manta filtrante.
	Óleos, tintas, graxas, resinas, álcool e solventes usados ou contaminados	Óleo De Processo, Óleo, Óleo contaminado com água, Óleos e Graxas, Líquido de Manutenção, Líquidos Inflamáveis, Líquidos Combustíveis, Graxa Contaminada, Solventes, Solvente Contaminado, Resíduo de Tinta, Mix de resíduo gráfico, Fluido refrigerante, Mistura de Resíduos Líquidos e Energéticos, Resíduo de Tinta, Tintas Vencidas, Tinta em pó, Mix de Resíduos oleosos, Óleo lubrificante usado, Óleo BFP, Óleo Contaminado, Mistura de Óleo Usado, Óleo Hidráulico Usado, Óleo Mineral, Óleo mineral contaminado, Resina, Mix de Solvente de Laboratório, óleo de origem animal, óleo vegetal, Óleo vegetal reciclável, Resíduos Oleosos, Resina endurecida, Tinta em pó, Cola de breu, Álcool contaminado.
	Resíduos plásticos, de papel, papelão, borrachas, tecidos e de embalagens, exceto metálicas e de agrotóxicos	Resíduos plásticos não contaminados, Plástico não contaminado, Embalagens plásticas vazias não limpas, Plástico Mole, Materiais diversos – Plásticos, Ráfia de big bag, refis de tapetes, Resíduos de Poliuretano, Ráfia e outros plásticos, Plástico Duro, Estireno Polimerizado, Mangueiras de Polietileno, Ribbon, Plástico Fitílio, Sacos plásticos, IBC Não Contaminado, Garrafeiras, Embalagens fora de especificação, Materiais diversos – borrachas, Pó de borracha, Materiais diversos – Tecidos, Toalhas Industriais, Embalagens de papelão não lavadas e não contaminadas, Embalagens, Embalagens vazias não limpas, Rejeito

		de Aparas, Papel / Papelão, Papel impregnado, Papel Melamínico, Materiais diversos – Papéis, Refilo do papel.
	Resíduos de madeira	Fibras, pó e partículas de madeira, Madeira, Materiais diversos – Madeiras, Resíduos de Madeira de MDF e MDP, Pallets de Madeira, Casca picador, Mistura de Resíduos Sólidos de Indústrias Moveleiras, Serragem.
	Outros resíduos	Borracha, EPI não contaminado, Espuma, Materiais diversos não contaminados para disposição final em aterro industrial classe II, mix de resíduos oleosos, Penas, Resíduo de Massa e Adesivo, Resíduos diversos não contaminados para disposição final em aterro industrial classe II, Resíduos diversos não contaminados, exceto plástico, Resíduos Sólidos Recicláveis, Telas e Feltros, Xisto Retornado, Mistura de Resíduos Líquidos e Energéticos, Parafina

FONTE: O autor (2023).

QUADRO 8 -RELAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O GRUPO V – RESÍDUOS PARA RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA

Proveniência dos resíduos	Resíduo	Resíduo específico
Processos petroquímicos, distribuidores de combustíveis, gráficas, fabricação e recuperação de tintas, vernizes, adesivos, selantes, biocombustíveis, solventes, álcool.	Borras de fundo de tanques de combustíveis e de produtos inflamáveis	Resíduo sólido de limpeza de tanque, Borra de fundo de tanque, Resíduo do Tanque de Contenção, Borra oleosa, borra de tinta a base de solvente, borra de tinta a base de água, borra de resina/parafina.
Todas as atividades	Elementos filtrantes de filtros de combustíveis e lubrificantes	Filtro de Óleo Contaminado, elementos filtrantes.
Todas atividades	Solo contaminado com combustíveis ou com qualquer um dos componentes acima identificados	Solo contaminado, Solo contaminado com hidrocarboneto.
Todas as atividades	Lodo de caixa separadora de óleo com mais de 5% de hidrocarbonetos derivados de petróleo ou mais 70% de umidade	Borra Oleosa, Resíduos Oleosos, Mix de Resíduos oleosos, Emulsão Oleosa.

Todas as atividades	Panos, estopas, serragem, EPIs, elementos filtrantes e absorventes contaminados com óleos lubrificantes, solventes ou combustíveis (álcool, gasolina, óleo diesel, etc.)	EPIs contaminados, Espumas contaminadas, Manta Absorvente contaminada, Materiais Absorventes, Pano Industrial, Serragem Contaminada, Trapos contaminados, Trapos contaminados com óleo e resinas.
Todas as atividades	Solventes e borras de solventes, Borras de tintas à base de solventes e ceras contendo solventes.	Borra de tinta à base de solvente, Solventes, Solvente Contaminado, Mix de Solvente de Laboratório.
Processos petroquímicos	Borras e lodos de processos.	Torta de Filtro, Lodo de decanter, Lodo de Taurina, Resíduo da prensa de lodo, Borra de Destilado, Lodo de fosfatização, Borra de tinta à base de água, Borra de Silicone, Lodo industrial, Borra de Adesivo, Borra de Usinagem, Borra de Cola, Borra de Filtro, Borra da água residual, Dregs, Borra Proveniente de Centrifugação de Lodo, Borra de resina/parafina, Borra de Resina, Borra de Retífica, Borra de Licor, Borra Neutralizada, Borra de Grafite, Borra de Fosfatização, Torta de Carbono, Borra de emulsão, Lama de texturização, Borra de usinagem, pintura e fosfatização.

FONTE: O autor (2023).

APÊNDICE 2 – ATIVIDADES INDUSTRIAIS

Alimentos	Abatedouro de Aves; Abatedouro de bovinos; Abatedouro de Outros Animais; Abatedouro de ovinos; Abatedouro de suínos; Cogeração de energia; Ervateira; Fab. de adoçantes naturais e artificiais; Fab. de alimentos dietéticos e complementos alimentares; Fab. de alimentos e pratos prontos; Fab. de alimentos para fins nutricionais; Fab. de amidos e féculas de vegetais; Fab. de conservas; compotas; doces e concentrados de frutas; Fab. de Conservas de Frutas; Fab. de Conservas de Legumes e Outros Vegetais; Fab. de conservas de legumes e outros vegetais; exceto palmito; Fab. de conservas de palmito; Fab. de conservas de peixes; crustáceos e moluscos; Fab. de conservas salgadas; Fab. de derivados do cacau e de chocolates; Fab. de doce de leite; Fab. de doces de matérias primas diferentes do leite e de frutas; Fab. de especiarias; molhos; temperos e condimentos; Fab. de Farinha de Milho e Derivados; Exceto Óleos de Milho; Fab. de fermentos e leveduras; Fab. de frutas cristalizadas; balas e semelhantes; Fab. de laticínios; Fab. de margarina e outras gorduras vegetais e de óleos não comestíveis de animais; Fab. de massas alimentícias; Fab. de molhos em conserva; Fab. de óleo de milho em bruto; Fab. de Óleo de Milho Refinado; Fab. de óleos vegetais em bruto; exceto óleo de milho; Fab. de óleos vegetais refinados; exceto óleo de milho; Fab. de outros produtos alimentícios não especificados anteriormente; Fab. de pós alimentícios; Fab. de produtos à base de café; Fab. de Produtos de Carne não Integrados ao Abate; Fab. de produtos de padaria e confeitaria com predominância de Prod. própria; Fab. de produtos de panificação Ind.l.; Fab. de produtos e subprodutos do milho; Fab. de produtos para infusão (chá; mate; etc.); Fab. de queijo e manteiga; Fab. de queijo; manteiga; iogurte e outros; Fab. de rações balanceadas e de alimentos preparados para animais; Fab. de salgadinhos; Fab. de sorvetes e outros gelados comestíveis; Fábrica de Embutidos e Defumados; Fábrica de gelo; Incubatório; Indústria de biscoitos e bolachas; Indústria de farinha de mandioca; Indústria de farinha de milho; Moagem e Fab. de produtos de origem vegetal não especificados anteriormente; Preparação de Subprodutos do Abate; Preparação do Leite; Prod. de café solúvel; Prod. de pintos de um dia; Prod. de Sucos; Prod. de vinagre; Resfriamento e envase do leite; Unidade de Classificação de Ovos; Unidade de processamento de mel e Unidade de Processamento de Peixes; Moluscos; Anfíbios e Crustáceos.
Bebidas	Engarrafamento e gaseificação de água mineral; Fab. de Aguardentes e Outras Bebidas Destiladas; Fab. de águas envasadas; Fab. de bebidas isotônicas; Fab. de chá mate e outros chás prontos para consumo; Fab. de Malte; Cervejas e Chopes; Fab. de outras bebidas não-alcoólicas não especificadas anteriormente; Fab. de refrescos; xaropes e pós para refrescos; exceto refrescos de frutas; Fab. de Refrigerantes e Outras Bebidas não Alcoólicas e Fab. de vinho
Beneficiamento de mandioca	Fab. de farinha de mandioca e derivados; Fab. de farinha de mandioca e derivados sem segregação de efluente; Farinha de Mandioca Bijú; Fecularia e Fecularia sem segregação de efluente
Beneficiamento de minerais não metálicos	Aparelhamento; Britamento e Outros Trabalhos em Pedras; Granito e Mármore; Fab. de artigos de vidro; Fab. de cal e gesso; Fab. de embalagens de vidro; Fab. de outros produtos de minerais não-metálicos não especificados anteriormente; Fab. de Produtos Cerâmicos Não-refratários não Especificados Anteriormente; Fab. de Produtos Cerâmicos não Refratários Para uso Estrutural na Construção; Fab. de produtos cerâmicos refratários; Fab. de vidro plano e de segurança; Prod. de cal e calcário; Prod. de cimento e Prod. de Outros Produtos de Minerais não Metálicos
Beneficiamento e armazenamento de produtos agrícolas	Atividades de pós colheita e beneficiamento de produtos agrícolas, exceto moagem de trigo e Fab. de derivados e cultivo de cereais, Beneficiamento de arroz e Fab. de produtos do arroz, Beneficiamento de café, Beneficiamento de outros grãos, moinho de trigo, sementes, Beneficiamento de plantas condimentares, Moagem de trigo e Fab. de derivados, Torrefação e empacotamento de café, Torrefação e empacotamento de chá, Transbordo e armazenamento de cereais e Tratamento fitossanitário

Fabricação de instrumentos e materiais para uso médico e odontológico e de artigos ópticos	Fab. de aparelhos e utensílios para correção de defeitos físicos e aparelhos ortopédicos em geral, exceto sob encomenda, Fab. de aparelhos e utensílios para correção de defeitos físicos e aparelhos ortopédicos em geral sob encomenda, Fab. de artigos ópticos, Fab. de equipamentos e instrumentos ópticos, peças e acessórios, Fab. de instrumentos não-eletrônicos e utensílios para uso médico, cirúrgico, odontológico e de laboratório, Fab. de materiais para medicina e odontologia e Fab. de mobiliário para uso médico, cirúrgico, odontológico e de laboratório
Fabricação de máquinas e equipamentos	Fab. de Aparelhos e Equipamentos de ar Condicionado Para uso Ind.I, Fab. de aparelhos e equipamentos de ar condicionado para uso não Ind.I, Fab. de aparelhos e equipamentos de medida, teste e controle, Fab. de aparelhos e equipamentos para instalações térmicas, Fab. de aparelhos eletromédicos e eletroterapêuticos e equipamentos de irradiação, Fab. de artefatos de material plástico para outros usos não especificados anteriormente, Fab. de Artigos de Cutelaria, Fab. de chassis com motor para automóveis, camionetas e utilitários, Fab. de compressores para uso Ind.I, peças e acessórios, Fab. de compressores para uso não-Ind.I, peças e acessórios, Fab. de equipamentos de transmissão para fins Ind.is, exceto rolamentos, Fab. de equipamentos hidráulicos e pneumáticos, peças e acessórios, exceto válvulas, Fab. de equipamentos para irrigação agrícola, peças e acessórios, Fab. de estufas e fornos elétricos para fins Ind.is, peças e acessórios, Fab. de fogões, refrigeradores e máquinas de lavar e secar para uso doméstico, peças e acessórios, Fab. de fornos Ind.is, aparelhos e equipamentos não-elétricos para instalações térmicas, peças e acessórios, Fab. de instrumentos não-eletrônicos e utensílios para uso médico, cirúrgico, odontológico e de laboratório, Fab. de jogos eletrônicos, Fab. de máquinas de escrever, calcular e outros equipamentos não-eletrônicos para escritório, peças e acessórios, Fab. de máquinas e aparelhos de refrigeração e ventilação para uso Ind.I e comercial, peças e acessórios, Fab. de máquinas e equipamentos para a agricultura e pecuária, peças e acessórios, exceto para irrigação, Fab. de máquinas e equipamentos para a indústria do plástico, peças e acessórios, Fab. de máquinas e equipamentos para a indústria têxtil, peças e acessórios, Fab. de máquinas e equipamentos para a prospecção e extração de petróleo, peças e acessórios, Fab. de máquinas e equipamentos para as Ind. de alimentos, bebidas e fumo, peças e acessórios, Fab. de máquinas e equipamentos para as Ind. de celulose, papel e papelão e artefatos, peças e acessórios, Fab. de máquinas e equipamentos para as Ind. do vestuário, do couro e de calçados, peças e acessórios, Fab. de máquinas e equipamentos para saneamento básico e ambiental, peças e acessórios, Fab. de máquinas e equipamentos para terraplenagem, pavimentação e construção, peças e acessórios, exceto tratores, Fab. de máquinas e equipamentos para uso Ind.I específico não especificados anteriormente, peças e acessórios, Fab. de máquinas, equipamentos e aparelhos para transporte e elevação de cargas, peças e acessórios, Fab. de máquinas, equipamentos e aparelhos para transporte e elevação de pessoas, peças e acessórios, Fab. de Máquinas-ferramenta, Peças e Acessórios, Fab. de máquinas para a indústria metalúrgica, peças e acessórios, exceto máquinas-ferramenta, Fab. de motores elétricos, peças e acessórios, Fab. de motores e turbinas, peças e acessórios, exceto para aviões e veículos rodoviários, Fab. de motores para caminhões e ônibus, Fab. de outras máquinas e equipamentos de uso geral não especificados anteriormente, peças e acessórios, Fab. de outras máquinas e equipamentos para uso na extração mineral, peças e acessórios, exceto na extração de petróleo, Fab. de peças e acessórios para motocicletas, Fab. de peças e acessórios para o sistema de direção e suspensão de veículos automotores, Fab. de peças e acessórios para o sistema de freios de veículos automotores, Fab. de peças e acessórios para o sistema motor de veículos automotores, Fab. de peças e acessórios para os sistemas de marcha e transmissão de veículos automotores, Fab. de rolamentos para fins Ind.is, Fab. de tratores agrícolas, peças e acessórios, Fab. de tratores, peças e acessórios, exceto agrícolas, Fab. de turbinas, motores e outros componentes e peças para aeronaves, Fab. de válvulas, registros e dispositivos semelhantes, peças e acessórios e Recondicionamento e recuperação de motores para veículos automotores

Fabricação de produtos farmacológicos e farmacêuticos	Fab. de aditivos de uso Ind.I, Fab. de medicamentos alopáticos para uso humano, Fab. de medicamentos fitoterápicos para uso humano, Fab. de medicamentos homeopáticos para uso humano, Fab. de microrganismos para diversos fins, Fab. de preparações farmacêuticas, Fab. de produtos farmacêuticos, Fab. de produtos farmacológicos e Fab. de produtos farmoquímicos
Ind. da borracha	Beneficiamento de borracha natural, Fab. de artefatos de borracha não especificados anteriormente, Fab. de espuma de borracha e de artefatos de espuma de borracha, inclusive látex, Fab. de laminados e fios de borracha, Fab. de pneumáticos e de câmaras-de-ar, Fab. e acondicionamento de pneumático e Reforma de pneumáticos usados
Ind. da madeira	Beneficiamento de madeira (serrada, reserrada, etc.), Fab. de Artefatos de Tanoaria e de Embalagens de Madeira, Fab. de artefatos diversos de cortiça, bambu, palha, vime e outros materiais trançados, exceto móveis, Fab. de artefatos diversos de madeira, exceto móveis, Fab. de briquetes de resíduos de madeira, casca de coco ou outras fibras vegetais (carvão ecológico), Fab. de casas de madeira pré-fabricadas, Fab. de Cavacos de Madeira, Fab. de chapas, placas de madeira aglomerada, prensada e compensada, Fab. de esquadrias de madeira e de peças de madeira para instalações Ind.is e comerciais, Fab. de estruturas de madeira e de móveis, Fab. de Farinha de Madeira, Fab. de Madeira Laminada e de Chapas de Madeira Compensada, Prensada e Aglomerada, Fab. de madeira polissintética, Fab. de móveis com predominância de madeira, Fornos Para Prod. de Carvão, Laminadora de Madeira, Lápis, Palitos e Outros, Preservação e Tratamento da Madeira e Serraria
Ind. de material de transporte	Construção de Embarcações Para Esporte e Lazer com Linha de Galvanoplastia, Construção de embarcações para esporte e lazer sem linha de galvanoplastia, Contrução de Embarcações e Estruturas Flutuantes com Galvanoplastia, Contrução de Embarcações e Estruturas Flutuantes sem Galvanoplastia, Fab. de aeronaves, Fab. de automóveis, camionetas e utilitários, Fab. de bicicletas e triciclos não-motorizados, peças e acessórios, Fab. de Carrocerias Para Ônibus, Fab. de equipamentos de transporte não especificados anteriormente, Fab. de locomotivas, vagões e outros materiais rodantes, Fab. de motocicletas, Fab. de motores para automóveis, camionetas e utilitários, Fab. de Outras Peças e Acessórios Para Veículos Automotores não Especificadas Anteriormente, Fab. de Peças e Acessórios com Galvanoplastia, Fab. de peças e acessórios para veículos ferroviários, Fab. de Peças e Acessórios sem Galvanoplastia, Fab. de veículos militares de combate, Fab. e Montagem de Veículos Rodoviários com Linha de Galvanoplastia, Fab. e Montagem de Veículos Rodoviários sem Linha de Galvanoplastia, Reparo de Embarcações e Estruturas Flutuantes com Galvanoplastia e Reparo de Embarcações e Estruturas Flutuantes sem Galvanoplastia
Ind. de material elétrico, eletrônicos e de comunicação	Fab. de aparelhos de recepção, reProd., gravação e amplificação de áudio e vídeo, Fab. de aparelhos e equipamentos para distribuição e controle de energia elétrica, Fab. de Aparelhos Elétricos de uso Pessoal, Peças e Acessórios, Fab. de Aparelhos Elétricos e Eletrodomésticos com Linha de Galvanoplastia, Fab. de Aparelhos Elétricos e Eletrodomésticos sem Linha de Galvanoplastia, Fab. de aparelhos fotográficos e cinematográficos, peças e acessórios, Fab. de aparelhos telefônicos e de outros equipamentos de comunicação, peças e acessórios, Fab. de baterias e acumuladores para veículos automotores, Fab. de componentes eletrônicos, Fab. de cronômetros e relógios, Fab. de eletrodos, contatos e outros artigos de carvão e grafita para uso elétrico, eletroímãs e isoladores, Fab. de Equipamentos de Informática com Linha de Galvanoplastia, Fab. de equipamentos de informática sem linha de galvanoplastia, Fab. de equipamentos para sinalização e alarme, Fab. de Equipamentos Transmissores de Comunicação com Linha de Galvanoplastia, Fab. de equipamentos transmissores de comunicação sem linha de galvanoplastia, Fab. de fios, cabos e condutores elétricos isolados, Fab. de geradores de corrente contínua e alternada, peças e acessórios, Fab. de lâmpadas, Fab. de luminárias e outros equipamentos de iluminação, Fab. de magnéticas e ópticas, Fab. de material elétrico e eletrônico para veículos automotores, exceto baterias, Fab. de material elétrico para instalações em circuito de consumo, Fab. de outros aparelhos eletrodomésticos não especificados anteriormente, peças e acessórios, Fab. de outros equipamentos e aparelhos elétricos

	não especificados anteriormente, Fab. de periféricos para equipamentos de informática sem linha de galvanoplastia, Fab. de Pilhas, Baterias e Outros Acumuladores com Linha de Galvanoplastia, Fab. de pilhas, baterias e outros acumuladores sem linha de galvanoplastia, Fab. de transformadores, indutores, conversores, sincronizadores e semelhantes, peças e acessórios e Recondicionamento de baterias e acumuladores para veículos automotores
Ind. de papel e celulose	Fab. de absorventes higiênicos, Fab. de Cartolina e Papel-cartão, Fab. de celulose e outras pastas para Fab. de papel, Fab. de chapas e de embalagens de papelão ondulado, Fab. de embalagens de cartolina e papel-cartão, Fab. de embalagens de papel, Fab. de formulários contínuos, Fab. de fraldas descartáveis, Fab. de papel, Fab. de produtos de papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado para uso comercial e de escritório, exceto formulário contínuo, Fab. de produtos de papel, cartolina, papel cartão e papelão ondulado para uso Ind.l, comercial e de escritório, Fab. de Produtos de Papel Para uso Doméstico e Higiênico-sanitário não Especificados Anteriormente, Fab. de produtos de papel para usos doméstico e higiênico-sanitário e Fab. de produtos de pastas celulósicas, papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado não especificados anteriormente
Ind. de produtos de matéria plástica	Fab. de Artefatos de Material Plástico não Especificados Anteriormente, Fab. de artefatos de material plástico para uso pessoal e doméstico, Fab. de artefatos de material plástico para usos Ind.is, Fab. de artefatos de para uso na construção, exceto tubos e acessórios, Fab. de blocos de espuma de plástico expandido, Fab. de embalagens de material plástico, Fab. de laminados planos e tubulares de material plástico, Fab. de laminados plásticos, Fab. de tubos e acessórios de material plástico para uso na construção e Recuperação de materiais plásticos
Ind. do açúcar e do álcool	Açúcar mascavo e rapadura, Cogeração de energia elétrica, Fab. de açúcar de cana refinado, Fab. de açúcar de cereais (dextrose) e de beterraba, Fab. de açúcar em bruto, Fab. de cachaça, Usina de açúcar e Usina de álcool

APÊNDICE 3 – MUNICÍPIOS E QUANTIDADES DE RESÍDUOS DISPOSTOS EM ATERRO PARA CADA GRUPO EM RAIO DE 100 KM

**TABELA 10 - QUANTIDADE DE RESÍDUOS DISPOSTOS EM ATERRO - RESÍDUOS
COMPOSTÁVEIS (GRUPO I)**

Município	Quantidade(t./ano)
Municípios no interior de raio de 100 km do Município de Astorga	
Arapongas	303,946
Astorga	30
Cambé	26,111
Jaguapitã	2466,95
Jandaia do Sul	0,05
Mandaguari	3,146
Marialva	30,03
Maringá	478,253
Nova Esperança	9,905
Paçandu	2,008
Prado Ferreira	4,32
Rolândia	5821,633
Santa Fé	525,08
Apucarana	14,23
Municípios no interior de raio de 100 km do Município de Curitiba	
Araucária	1068,47
Campo Largo	140,925
Colombo	1,47
Contenda	0,5
Curitiba	919,696
Fazenda Rio Grande	177,179
Pinhais	70,931
Quatro Barras	57,36
São José dos Pinhais	501,209
Municípios no interior de raio de 100 km do Município de Moreira Sales	
Araruna	0,54
Cianorte	26,04
Farol	0,36
Goioerê	0,54
Janiópolis	0,144
Juranda	0,36
Mamborê	0,06
Moreira Sales	0,54
Quarto Centenário	0,144
Tapejara	126,413
Outros Municípios	
Adrianópolis	23,42

Altamira do Paraná	0,06
Alto Piquiri	0,06
Andirá	3,572
Arapuã	0,36
Bandeirantes	13,52
Barbosa Ferraz	0,36
Bituruna	0,22
Brasilândia do Sul	0,24
Campo Mourão	0,35
Cantagalo	0,36
Cascavel	69,735
Castro	68,865
Chopinzinho	2258,42
Colorado	286,53
Comélio Procópio	68
Cruzmaltina	0,3
Dois Vizinhos	520,27
Engenheiro Beltrão	0,72
Fênix	3,6
Francisco Beltrão	320,81
Guarapuava	135415,66
Ibiporã	200,16
Indianópolis	750
Iretama	0,36
Itaipulândia	1,718
Jaguariaíva	1,05
Jardim Alegre	0,06
Jussara	2,85
Lapa	1,36
Londrina	513,587
Mangueirinha	0,4
Marechal Cândido Rondon	14,85
Marilândia do Sul	0,36
Matelândia	18,33
Mauá da Serra	3,02
Medianeira	149,9
Nova Santa Rosa	0,72
Nova Tebas	0,12
Ortigueira	27402,193
Palmeira	0,5
Paraíso do Norte	2610,31
Paranaguá	19895,11
Paranavaí	623,212
Pato Bragado	0,836
Pato Branco	9,5
Peabiru	0,72

Piraí do Sul	62,1
Pitanga	0,57
Ponta Grossa	364,575
Primeiro de Maio	0,9
Prudentópolis	0,3
Quedas do Iguaçu	0,73
Quinta do Sol	0,54
Ribeirão Claro	43,72
Roncador	0,024
Santa Tereza do Oeste	10,95
Santa Terezinha de Itaipu	27,69
Santo Inácio	1280,15
São João do Ivaí	0,72
São Jorge do Ivaí	1,08
Sengés	3
Telêmaco Borba	1563,54
Terra Boa	72
Toledo	115,17
Três Barras do Paraná	509,51
Tupãssi	1,08
Turvo	1142,62
Umuarama	306,08
União da Vitória	10,56

TABELA 11 - QUANTIDADE DE RESÍDUOS DISPOSTOS EM ATERRO - RESÍDUOS BIODIGERÍVEIS (GRUPO II)

Município	Quantidade(t./ano)
Municípios no interior de raio de 100 km do Município de Curitiba	
Araucária	1350,328
Campo Largo	59,608
Colombo	25,22
Curitiba	266,51
Fazenda Rio Grande	40,64
Pinhais	67,841
Quatro Barras	17,291
São José dos Pinhais	2578,228
Municípios no interior de raio de 100 km do Município de Arapongas	
Apucarana	510,93
Arapongas	269,692
Astorga	30
Cambé	10,63
Ibiporã	200,16
Jaguapitã	1982,47
Londrina	595,54
Marialva	137,92
Maringá	121,748
Rolândia	206,34
Municípios no interior de raio de 100 km do Município de Indianópolis	
Indianópolis	750
Jussara	0,15
Paraíso do Norte	2610,31
Tapejara	108,84
Outros Municípios	
Cascavel	86,14
Castro	202
Chopinzinho	69
Dois Vizinhos	535,21
Francisco Beltrão	398,18
Guarapuava	135391,71
Jacarezinho	1080,31
Jaguariaíva	0,209
Joaquim Távora	0,2
Marechal Cândido Rondon	9,3
Matelândia	18,33
Medianeira	149,9
Ortigueira	27402,073
Paranaguá	6609,553

Paranavaí	989,991
Pato Bragado	0,836
Piraí do Sul	12,2
Ponta Grossa	862,563
Ribeirão Claro	43,72
Santa Tereza do Oeste	7,3
Santo Inácio	996,38
São Pedro do Ivaí	850,742
Telêmaco Borba	1588,92
Toledo	0,06
Três Barras do Paraná	509,51
Turvo	1142,62

TABELA 12 - QUANTIDADE DE RESÍDUOS DISPOSTOS EM ATERRO - RESÍDUOS RECICLÁVEIS (GRUPO III)

Município	Quantidade(t./ano)
Municípios no interior de raio de 100 km do Município de Nova Esperança	
Maringá	30,97
Nova Esperança	0,01
Paranavaí	652,57
São Carlos do Ivaí	0,29
São Jorge do Ivaí	0,72
Tamboara	0,01
Municípios no interior de raio de 100 km do Município de Arapongas	
Apucarana	9,06
Arapongas	0,30
Cambé	70,00
Jaguapitã	1,70
Londrina	2695,59
Marialva	1265,44
Rolândia	1108,08
Municípios no interior de raio de 100 km do Município de Curitiba	
Almirante Tamandaré	10,00
Araucária	397,42
Colombo	0,03
Curitiba	60,08
Pinhais	63,53
Quatro Barras	5,22
São José dos Pinhais	1283,01
Outros Municípios	
Ampére	0,50
Boa Ventura de São Roque	1,69
Cambará	331,04
Campina do Simão	169,44
Campo Mourão	0,08
Capanema	2,94
Cascavel	278,63
Castro	3,51
Chopinzinho	67,00
Colorado	107,52
Douradina	0,00
Francisco Beltrão	89,64
Guarapuava	210,80
Irati	0,25
Itaipulândia	0,00
Jacarezinho	0,43
Joaquim Távora	262,77
Marechal Cândido Rondon	49,66

Mauá da Serra	0,17
Medianeira	0,01
Palotina	0,25
Paranaguá	32,40
Pato Bragado	0,06
Pato Branco	391,45
Ponta Grossa	100,27
Ribeirão Claro	0,84
Santa Terezinha de Itaipu	0,80
Santo Inácio	2,86
Tapejara	0,17
Telêmaco Borba	75,00
Terra Boa	0,02
Toledo	0,18
Três Barras do Paraná	255,73
Turvo	326,58
Umuarama	40,23
União da Vitória	0,55

**TABELA 13 - QUANTIDADE DE RESÍDUOS DISPOSTOS EM ATERRO - RESÍDUOS
COPROCESSÁVEIS (GRUPO IV)**

Município	Quantidade(t./ano)
Municípios no interior de raio de 100 km do Município de Guarapuava	
Boa Ventura de São Roque	18,39
Campina do Simão	169,44
Guarapuava	136574,51
Pitanga	0,75
Turvo	1469,20
Municípios no interior de raio de 100 km do Município de Curitiba	
Almirante Tamandaré	51,00
Araucária	106581,84
Bocaiúva do Sul	1,93
Campo Largo	139,32
Colombo	1098,22
Curitiba	644,57
Fazenda Rio Grande	195,41
Mandirituba	33,29
Pinhais	109,08
Quatro Barras	76,18
São José dos Pinhais	2364,82
Municípios no interior de raio de 100 km do Município de Cidade Gaúcha	
Cidade Gaúcha	44,80
Douradina	130,76

Indianópolis	750,00
Ivaté	12,40
Paraíso do Norte	2693,19
Rondon	24,83
Santa Isabel do Ivaí	143255,30
Tapejara	113,24
Umuarama	472,76

Outros Municípios

Adrianópolis	115,78
Alto Paraíso	0,20
Ampére	15,00
Andirá	47,93
Ângulo	0,03
Apucarana	560,38
Arapongas	351,19
Arapoti	1,42
Assis Chateaubriand	74,06
Astorga	30,00
Bela Vista do Paraíso	0,01
Cafelândia	297,82
Cambará	331,04
Cambé	80,99
Cambira	0,57
Campina Grande do Sul	33,01
Campo Mourão	1982,92
Capanema	2,94
Capitão Leônidas Marques	20,14
Carambeí	198,71
Cascavel	288,25
Castro	624,02
Centenário do Sul	0,01
Chopinzinho	120,05
Cianorte	835,77
Colorado	259,44
Cruzeiro do Sul	0,05
Dois Vizinhos	1266,04
Floresta	0,06
Formosa do Oeste	0,04
Francisco Beltrão	804,67
Goioerê	2,45
Ibema	0,11
Ibiporã	202,16
Imbituva	2,00
Irati	20,78
Itaipulândia	11,35
Itapejara do Oeste	21,15

Jacarezinho	1196,54
Jaguapitã	2446,85
Jaguariaíva	16,68
Japurá	0,32
Jesuítas	0,01
Joaquim Távora	1395,40
Jussara	1,24
Lapa	2389,53
Londrina	3670,06
Mandaguaçu	0,32
Mandaguari	560,24
Marechal Cândido Rondon	249,59
Marialva	1806,85
Maringá	16629,69
Matelândia	49,87
Mauá da Serra	2,77
Medianeira	2406,09
Nova Aurora	46,78
Nova Esperança	10,28
Ortigueira	27402,37
Paiçandu	10,42
Palmas	109,50
Palmeira	51,84
Palotina	4,75
Paranacity	17,26
Paranaguá	31754,68
Paranavaí	641,95
Pato Bragado	0,99
Pato Branco	159,64
Pinhão	18,54
Piraí do Sul	28,44
Pitangueiras	0,02
Ponta Grossa	26138,01
Prado Ferreira	87,88
Primeiro de Maio	0,95
Quedas do Iguaçu	650,10
Rebouças	4,66
Ribeirão Claro	10135,13
Rio Azul	11,30
Rolândia	1578,34
Santa Fé	23,26
Santa Tereza do Oeste	7,30
Santa Terezinha de Itaipu	5,70
Santo Inácio	1050,81
São Carlos do Ivaí	163,08
São Jorge do Ivaí	1,84

São Miguel do Iguaçu	2,71
São Pedro do Ivaí	1580,90
São Sebastião da Amoreira	0,49
Sertanópolis	0,22
Tamboara	1,74
Telêmaco Borba	2277,67
Terra Boa	0,04
Terra Rica	21,14
Tibagi	8,06
Toledo	99817,37
Três Barras do Paraná	509,51
Tupãssi	0,02
Ubiratã	468,86
União da Vitória	1,50
Ventania	239,88

TABELA 14 - QUANTIDADE DE RESÍDUOS DISPOSTOS EM ATERRO - RESÍDUOS PARA RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA (GRUPO V)

Município	Quantidade(t./ano)
Municípios no interior de raio de 100 km do Município de Curitiba	
Araucária	39765,13
Campo Largo	4,00
Colombo	3,87
Quatro Barras	47,81
Municípios no interior de raio de 100 km do Município de Cidade Gaúcha	
Cidade Gaúcha	9,42
Douradina	47,11
Ivaté	1,62
Rondon	6,40
Santa Isabel do Ivaí	5,30
Tapejara	2,93
Umuarama	5,00
Municípios no interior de raio de 100 km do Município de Mandaguari	
Apucarana	1,41
Cambé	1,00
Jaguapitã	20,23
Londrina	27,31
Mandaguari	113,96
Marialva	53,27
Maringá	52,07
Rolândia	12,82
Outros Municípios	
Arapoti	1,42
Cafelândia	0,12

Capitão Leônidas Marques	16,12
Cascavel	0,11
Castro	318,10
Colorado	107,52
Formosa do Oeste	0,04
Goioerê	0,09
Guarapuava	0,72
Irati	1,20
Itapejara do Oeste	0,32
Jesuítas	0,01
Jussara	0,00
Lapa	1,49
Marechal Cândido Rondon	1,37
Medianeira	48,80
Nova Aurora	0,05
Nova Esperança	0,25
Palotina	1,00
Paranacity	2,06
Pato Bragado	0,08
Ponta Grossa	23,04
Santa Terezinha de Itaipu	3,40
Tamboara	0,12
Telêmaco Borba	0,01
Terra Rica	4,20
Toledo	0,98
Tupãssi	0,02
Ventania	5,68

ANEXO 1 – RESÍDUOS ESPECÍFICOS CONSTANTES NO SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL – IAT

Aditivo Sólido	Enchimento de Torres de Resfriamento	Mix de Solvente de Laboratório	Resíduos contaminados com óleo
Adsorvedor Alumino Silicato	EPI não contaminado	Óleo	Resíduos da construção civil
Água Ácida	EPIs contaminados	Óleo BFP	Resíduos de embalagens vazias não lavadas e embalagens contendo agrotóxicos
Água com óleo	Escória de Chumbo	Óleo Contaminado	Resíduos de Madeira de MDF e MDP
Água com resina	Escória de Fundição	Óleo contaminado com água	Resíduos de polimento do alumínio
Água contaminada com óleo	Espuma	Óleo contaminado com PCB	Resíduos de serviço de saúde - Infectantes
Água contaminada com tintas e solventes	Espumas contaminadas	Óleo de origem animal	Resíduos de serviço de saúde - Infectantes e Perfurocortante
Água contaminada de Fábrica	Esterco animal	Óleo De Processo	Resíduos de serviço de saúde - Químico
Água de Lavagem	Estireno Polimerizado	Óleo Hidráulico Usado	Resíduos diversos contaminados para disposição final em aterro industrial classe I
Álcool contaminado	Fécula de Mandioca	Óleo lubrificante usado	Resíduos diversos contaminados, exceto plástico
Alumina contaminada	Fibra Impregnada	Óleo Mineral	Resíduos diversos não contaminados para disposição final em aterro industrial classe II
Areia Contaminada	Fibras	Óleo mineral contaminado	Resíduos diversos não contaminados, exceto plástico
Areia de corte	Fibras, pó e partículas de madeira	Óleo Vegetal	Resíduos líquidos de laboratório
Areia de fundição	Filtro de Óleo Contaminado	Óleo vegetal reciclável	Resíduos não Processáveis - RNP
Argila contaminada	Filtro Manga	Óleos e Graxas	Resíduos Oleosos
Asfalto e resíduo de manta asfáltica	Filtro Membrana	Óxido de Chumbo	Resíduos Orgânicos
Bagaço de Cevada	Fino de Polimento	Óxido de Ferro	Resíduos plásticos contaminados
Bateria Chumbo Ácido com Esgotamento Energético	Finos de Pó	Palito contaminado com parafina	Resíduos plásticos não contaminados
Baterias	Finos de xisto	Pallets de Madeira	Resíduos proveniente da manutenção e reparação de veículos automotores
Baterias em desuso proveniente da	Fixador	Pano Industrial	Resíduos sanitários

Logística Reversa (CONAMA 401/2008)			
Big Bag Contaminado	Fluido refrigerante	Papel / Papelão	Resíduos sólidos contaminados com óleo e/ou graxa
Biomassa oriunda do processo de fermentação de enzimas	Formol	Papel impregnado	Resíduos Sólidos Recicláveis
Borra da água residual	Forração	Papel Melamínico	Resíduos sólidos urbanos
Borra da Lapidadora	Garrafeiras	Papel sanitário	Resíduos sólidos urbanos e equiparados
Borra de Adesivo	Graxa Contaminada	Parafina	Resina
Borra de Cal	Grits	Pedra Brita Contaminada	Resina Catiônica
Borra de Chumbo	Guarnição filtrante	Penas	Resina endurecida
Borra de Cola	Herbicida	Pilhas	Resina líquida
Borra de Desengraxante	IBC Contaminado	Pilhas e Baterias	Revelador
Borra de Destilado	IBC Não Contaminado	Plástico Contaminado	Ribbon
Borra de emulsão	Isolador	Plástico Duro	Sacarias Vazias Contaminadas
Borra de ETE	Isolamento térmico	Plástico Fítilio	Sacos plásticos
Borra de Filtro	Lã de Rocha	Plástico Mole	Sebo de origem animal
Borra de Fosfatização	Lã de Vidro	Plástico não contaminado	Sedimento argiloso
Borra de fundo de tanque	Lama de texturização	Pneumáticos Inservíveis	Semente tratada
Borra de Grafite	Lâmpadas Diversas	Pneus de empilhadeiras e veículos em geral	Serragem
Borra de Licor	Levedura	Pó de Alumínio	Serragem Contaminada
Borra de Limpeza de Ralo	Licor Negro Concentrado	Pó de Borracha	Sílica
Borra de Resina	Líquido de Manutenção	Pó de Exaustão	Sólidos contaminados com óxido de ferro
Borra de resina/parafina	Líquidos Combustíveis	Pó de Ferro	Sólidos fora de especificação
Borra de Retífica	Líquidos Inflamáveis	Pó de Fumo	Solo contaminado
Borra de Silicone	Lixas	Pó de laser	Solo contaminado com hidrocarboneto
Borra de tinta a base de água	lodo biológico	Pó de Malte	Solução de Ácido Sulfúrico de Baterias Eletrolíticas Usadas
Borra de tinta a base de solvente	Lodo da Bacia de Contenção	Pó de varrição	Solução de Limpeza
Borra de Usinagem	Lodo da ETE	Porcelana	Solvente Contaminado
Borra de usinagem, pintura e fosfatização	Lodo da ETE com Caixa de Gordura	Produto fora de especificação	Solventes
Borra Metálica	Lodo da ETE com Cinzas de Caldeira e Varrição	Produtos Químicos	Sucata de Aço Carbono
Borra Neutralizada	Lodo de decanter	Ráfia de big bag	Sucata de Alumínio

Borra Oleosa	Lodo de Estação de Tratamento de Efluentes	Ráfia e outros plásticos	Sucata de Bateria Chumbo Ácido
Borra Proveniente de Centrifugação de Lodo	Lodo de ETA	Refíles de tapetes	Sucata de Cobre
Borracha	Lodo de ETE com Cinzas de Caldeira	Refilo do papel	Sucata de Inox
Borracha Contaminada	Lodo de fosfatização	Refratário Usado	Sucata Metálica
CACO3	Lodo de fossa séptica	Rejeito da triagem da coleta seletiva	Sucata metálica Contaminada
Caixa de Gordura	Lodo de rampa de lavagem	Rejeito de Aparas	Sucata não Metálica
Carepa	Lodo de rampa de lavagem com caixa separadora Água e Óleo	Rejeito de coque	Sucatas Ferrosas
Cartucho e toners de impressora	Lodo de Taurina	Rejeito de placas de chumbo	Sucatas Não Ferrosas
Carvão Ativado	Lodo Galvânico	Rejeitos de produção (Líquido)	Talco isolante
Casca picador	Lodo industrial	Rejeitos de produção (Sólido)	Tambores metálicos
Catalisador Gasto	Lona de freio	Resíduo Acumulado nos Filtros de Exaustão	Tambores não metálicos
Cerveja de retorno	Madeira	Resíduo da caixa de gordura	Telas e feltros
Cerveja destinada a tratamento externo	Mangueiras de Polietileno	Resíduo da caixa separadora de água, areia e óleo	Telha sem amianto
Cinza de caldeira	Manta Absorvente contaminada	Resíduo da prensa de lodo	Telhas de Amianto
Cinza de Madeira	Manta Filtrante	Resíduo da Suspensão Aquosa da Limpeza de Tanques, Filtros e Embalagens	Terra de Produção
Cola de Breu	Maravalha	Resíduo de areia	Terra Diatomácea
Contaminado com Tinta	Massa de Vedação	Resíduo de ecoat	Tijolos Refratários
Contêiner 1000L	Matéria Prima vencida	Resíduo de Granalha	Tinta de Spray
Corpos de Animais	Materiais Absorventes	Resíduo de Jardinagem	Tinta em pó
Dregs	Materiais diversos - Borrachas	Resíduo de limpeza de canaletas	Tintas Vencidas
Efluente Alcalino	Materiais diversos - Madeiras	Resíduo de limpeza de canaletas	Toalhas industriais
Efluente Emulsificante	Materiais diversos - Papéis	Resíduo de Massa e Adesivo	Toners de impressão
Efluente Líquido Industrial	Materiais diversos - Plásticos	Resíduo de Peróxido de Hidrogênio	Torta de Carbono
Efluentes gráficos	Materiais diversos - Tecidos	Resíduo de Poliuretano	Torta de Filtro
Elementos Filtrantes	Materiais diversos - Vidros	Resíduo de Soda Cáustica	Transformadores Elétricos Contaminados por Bifelinas Policloradas - PCB
Eletrônicos em Geral	Materiais diversos não contaminados para disposição final em	Resíduo de Sulfato de Sódio	Trapos contaminados

	aterro industrial classe II		
Embalagens	Material de origem vegetal	Resíduo de Tinta	Trapos contaminados com óleo e resinas
Embalagens de papelão não lavadas e não contaminadas	Matéria-prima fora de especificação	Resíduo de varrição	Trub
Embalagens fora de especificação	mercúrio Hg	Resíduo de varrição industrial	Tubete
Embalagens plásticas vazias não limpas	Mistura de Óleo Usado	Resíduo do Tanque de Contenção	utilização agrícola de lama de cal
Embalagens vazias de agrotóxicos não lavadas	Mistura de Resíduos Líquidos e Enérgicos	Resíduo geral de laboratório (Sólido)	Vermiculita contaminada
Embalagens vazias de agrotóxicos tríplice lavadas	Mistura de Resíduos Sólidos de Ind. Moveleiras	Resíduo Líquido Industrial	Vernizes
Embalagens vazias não limpas	Mix de resíduo gráfico	Resíduo Orgânico Domestico	Vidraria Contaminada
Emulsão Oleosa	Mix de Resíduos oleosos	Resíduo sólido de limpeza de tanque	Vidro quebrado
		Resíduos Asfálticos	Xisto retornado

ANEXO 2 – RELAÇÃO DE MUNICÍPIOS POR ÁREA DE ABRANGÊNCIA

Curitiba - Municípios de abrangência: Adrianópolis, Agudos do Sul, Almirante Tamandaré, Araucária, Balsa Nova, Bocaiúva do Sul, Campina Grande do Sul, Campo Largo, Campo Magro, Campo do Tenente, Cerro Azul, Colombo, Contenda, Dr. Ulysses, Fazenda Rio Grande, Itaperuçu, Lapa, Mandirituba, Piên, Pinhais, Piraquara, Quatro Barras, Quitandinha, Rio Branco do Sul, Rio Negro, São José dos Pinhais, Tijucas do Sul e Tunas do Paraná.

Campo Mourão - Municípios de abrangência: Altamira do Paraná, Araruna, Barbosa Ferraz, Boa Esperança, Campina da Lagoa, Corumbataí do Sul, Engenheiro Beltrão, Farol, Fênix, Goioerê, Iretama, Janiópolis, Juranda, Luiziana, Mamborê, Moreira Sales, Nova Cantú, Peabiru, Quarto Centenário, Quinta do Sol, Rancho Alegre D'Oeste, Roncador e Ubatã.

Cascavel - Municípios de abrangência: Anahy, Boa Vista da Aparecida, Braganey, Cafelândia, Campo Bonito, Capitão Leônidas Marques, Catanduvas, Corbélia, Diamante do Sul, Guaraniaçu, Ibema, Iguatu, Lindoeste, Santa Lúcia, Santa Tereza do Oeste, Três Barras do Paraná, Céu Azul e Vera Cruz do Oeste.

Cianorte - Municípios de abrangência: Cidade Gaúcha, Guaporema, Indianópolis, Japurá, Jussara, Rondon, São Manoel do Paraná, São Tomé, Tapejara, Terra Boa e Tuneiras do Oeste.

Cornélio Procopio - Municípios de abrangência: Abatiá, Andirá, Assaí, Bandeirantes, Congonhinhas, Itambaracá, Jataizinho, Leopólis, Nova América da Colina, Nova Fátima, Nova Santa Bárbara, Rancho Alegre, Ribeirão do Pinhal, Santa Amélia, Santa Cecília do Pavão, Santa Mariana, Santo Antônio do Paraíso, São Jerônimo da Serra, São Sebastião da Amoreira, Sapopema, Sertaneja e Uraí.

Foz do Iguaçu - Municípios de abrangência: Itaipulândia, Matelândia, Medianeira, Missal, Ramilândia, Santa Terezinha de Itaipu, Serranópolis do Iguaçu e São Miguel do Iguaçu.

Francisco Beltrão - Municípios de abrangência: Ampére, Barracão, Bela Vista da Caroba, Boa Esperança do Iguaçu, Bom Jesus do Sul, Capanema, Cruzeiro do Iguaçu, Dois Vizinhos, Enéas Marques, Flor da Serra do Sul, Manfrinópolis, Marmeleiro, Nova Esperança do Sudoeste, Nova Prata do Iguaçu, Pérola D'Oeste, Pinhal de São Bento, Planalto, Pranchita, Realeza, Renascença, Salgado Filho, Salto do Lontra, Santa Izabel do Oeste, Santo Antônio do Sudoeste, São Jorge D'Oeste e Verê.

Guarapuava - Municípios de abrangência: Campina do Simão, Candói, Cantagalo, Espigão Alto do Iguaçu, Foz do Jordão, Goioxim, Laranjeiras do Sul, Marquinho, Pinhão, Porto Barreiro, Prudentópolis, Quedas do Iguaçu, Reserva do Iguaçu, Turvo, Virmond, Nova Laranjeiras e Rio Bonito do Iguaçu.

Irati - Municípios de abrangência: Fernandes Pinheiro, Guamiranga, Imbituva, Mallet, Rebouças, Rio Azul, Teixeira Soares e Inácio Martins.

Ivaiporã - Municípios de abrangência: Ariranha do Ivaí, Arapuã, Borrazópolis, Cândido de Abreu, Cruzmaltina, Faxinal, Godoy Moreira, Grandes Rios, Jardim Alegre, Kaloré, Lidianópolis,

Lunardelli, Manoel Ribas, Marilândia do Sul, Marumbi, Mauá da Serra, Novo Itacolomi, Rio Bom, Rio Branco do Ivaí, Rosário do Ivaí, São João do Ivaí e São Pedro do Ivaí.

Jacarezinho - Municípios de abrangência: Barra do Jacaré, Cambará, Carlópolis, Conselheiro Mairinck, Curiúva, Figueira, Guapirama, Ibaiti, Jaboti, Japira, Joaquim Távora, Jundiá do Sul, Pinhalão, Quatiguá, Ribeirão Claro, Salto do Itararé, Santana do Itararé, Santo Antônio da Platina, São José da Boa Vista, Siqueira Campos, Tomazina e Wenceslau Braz.

Londrina - Municípios de abrangência, Alvorada do Sul, Apucarana, Arapongas, Bela Vista do Paraíso, Bom Sucesso, Cafeara, Califórnia, Cambé, Centenário do Sul, Florestópolis, Guaraci, Iporã, Jaguapitã, Jandaia do Sul, Lupionópolis, Miraselva, Pitangueiras, Porecatú, Prado Ferreira, Primeiro de Maio, Rolândia, Sabáudia, Sertãoópolis, Tamarana e Cambira.

Maringá - Municípios de abrangência: Ângulo, Astorga, Atalaia, Colorado, Doutor Camargo, Floraí, Floresta, Flórida, Iguaçu, Itaguajé, Itambé, Ivatuba, Lobato, Mandaguari, Mandaguaçu, Marialva, Munhoz de Mello, Nossa Senhora das Graças, Nova Esperança, Ourizona, Paçandu, Presidente Castelo Branco, Santa Fé, Santa Inês, Santo Inácio, São Jorge do Ivaí, Sarandi e Uniflor.

Paranaguá - Municípios de abrangência: Antonina, Guaraqueçaba, Guaratuba, Matinhos, Morretes e Pontal do Paraná.

Paranavaí - Municípios de abrangência: Alto Paraná, Amaporã, Cruzeiro do Sul, Diamante do Norte, Guairaçá, Inajá, Itaúna do Sul, Jardim Olinda, Loanda, Marilena, Mirador, Nova Aliança do Ivaí, Nova Londrina, Paraíso do Norte, Paranacity, Paranapoema, Planaltina do Paraná, Porto Rico, Querência do Norte, Santa Cruz de Monte Castelo, Santa Isabel do Ivaí, Santa Mônica, Santo Antônio do Caiuá, São Carlos do Ivaí, São João do Caiuá, São Pedro do Paraná, Tamboara e Terra Rica.

Pato Branco - Municípios de abrangência: Bom Sucesso do Sul, Chopinzinho, Clevelândia, Coronel Domingos Soares, Coronel Vivida, Honório Serpa, Itapejara D'Oeste, Mangueirinha, Mariópolis, Palmas, Saudade do Iguaçu, São João, Sulina e Vitorino.

Pitanga - Municípios de abrangência: Boa Ventura de São Roque, Mato Rico, Nova Tebas, Laranjal, Palmital e Santa Maria do Oeste.

Ponta Grossa - Municípios de abrangência: Arapoti, Carambeí, Castro, Imbaú, Ipiranga, Ivaí, Jaguariaíva, Ortigueira, Palmeira, Piraí do Sul, Porto Amazonas, Reserva, São João do Triunfo, Sengés, Telêmaco Borba, Ventania e Tibagi.

Toledo - Municípios de abrangência: Assis Chateaubriand, Diamante D'Oeste, Entre Rios do Oeste, Formosa do Oeste, Guaíra, Iracema do Oeste, Jesuítas, Marechal Cândido Rondon, Maripá, Mercedes, Nova Aurora, Nova Santa Rosa, Ouro Verde do Oeste, Palotina, Pato Bragado, Quatro Pontes, Santa Helena, São José das Palmeiras, São Pedro do Iguaçu, Terra Roxa e Tupãssi.

Umuarama - Municípios de abrangência: Alto Piquiri, Altônia, Brasilândia do Sul, Cafezal do Sul, Cruzeiro do Oeste, Douradina, Esperança Nova, Francisco Alves, Icaraíma, Iporã, Ivaté,

Maria Helena, Mariluz, Nova Olímpia, Perobal, Pérola, São Jorge do Patrocínio, Tapira, Alto Paraíso e Xambrê.

União da Vitória - Municípios de abrangência: Antônio Olinto, Bituruna, Cruz Machado, General Carneiro, Paula Freitas, Paulo Frontin, Porto Vitória e São Mateus do Sul.