



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E MATERIAIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

Thiago Boimer Correia

Desenvolvimento de aplicativo para cruzamento de dados entre geradores e potenciais consumidores de resíduos sólidos no Estado de Santa Catarina

Florianópolis
2023

Thiago Boimer Correia

Desenvolvimento de aplicativo para cruzamento de dados entre geradores e potenciais consumidores de resíduos sólidos no Estado de Santa Catarina

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.
Orientador: Prof. Dachamir Hotza, Dr.

Florianópolis
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Correia, Thiago Boimer

Desenvolvimento de aplicativo para cruzamento de dados entre geradores e potenciais consumidores de resíduos sólidos no Estado de Santa Catarina / Thiago Boimer Correia ; orientador, Dachamir Hotza, 2023.

55 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Materiais, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Materiais. 2. Resíduos Sólidos Industriais. 3. Manifesto de Transporte de Resíduos. 4. Aplicativo web. 5. Cruzamento de dados. I. Hotza, Dachamir . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Materiais. III. Título.

Thiago Boimer Correia

Desenvolvimento de aplicativo para cruzamento de dados entre geradores e potenciais consumidores de resíduos sólidos no Estado de Santa Catarina

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia de Materiais” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Materiais.

Florianópolis, 15 de Dezembro de 2023.

Prof. Celso Peres Fernandes, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dachamir Hotza, Dr.
Orientador

Prof.(a) Sergio Yesid Gomez, Dr(a).
Avaliador(a)
Departamento de Engenharia Química
(EQA/UFSC)

Cristine Carraro, Dr(a).
Avaliador(a)
Departamento de Engenharia Mecânica e
Materiais (EMC/UFSC)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Sivaldo Leite e Verônica Boimer, por todo suporte e incentivo ao longo da minha formação, provendo mais do que o necessário para me dar uma educação de qualidade.

À Tayná Moraes, pela companhia nos momentos mais difíceis e mais felizes, por acreditar em mim e na ideia do trabalho.

Aos amigos que fiz em sala de aula e em laboratórios, em especial no LINDEN, pois tornaram todo processo mais divertido, interessante e enriquecedor.

Ao Dachamir Hotza, por ser uma pessoa acolhedora, atenciosa e um orientador exemplar, por todas orientações e oportunidades, não apenas durante o trabalho, mas ao longo de todo o curso.

À UFSC, por ser uma instituição que abraça a diversidade e dá suporte à formação de pessoas conscientes e preocupadas com a sociedade e o planeta.

*“Nunca duvide que um pequeno grupo de pessoas conscientes e engajadas possa mudar o mundo.
De fato, foi sempre assim que o mundo mudou.
(Margaret Mead)*

RESUMO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), criada pela Lei 12.305 de 12 de Fevereiro de 2010, dispõe uma série de diretrizes relacionadas à gestão de resíduos sólidos. A partir disso, ferramentas que permitam a captação de dados sobre todas as etapas do descarte de resíduos vêm sendo criadas, um exemplo disso é o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), documento para rastreabilidade dos resíduos a ser preenchido por todos englobados dentro do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), disponível digitalmente a nível nacional. Este instrumento tem também o pretexto de servir como uma base de dados mais completa e unificada sobre a geração, armazenamento, transporte e destinação de resíduos no Brasil. Assim, as informações contidas no MTR podem ser valiosas, abrindo oportunidade para a movimentação de uma economia de aproveitamento de resíduos. Com esse intuito, o presente trabalho propõe a criação de um aplicativo web reunindo os dados de MTR a fim de conectar geradores a potenciais consumidores de resíduos no âmbito industrial em Santa Catarina (SC). Estudam-se os conceitos para tal sistema, faz-se o tratamento e análise dos dados de MTR e desenvolve-se um protótipo de aplicação.

Palavras-chave: Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR). Redirecionamento de resíduos sólidos. Aplicação Web.

ABSTRACT

The National Solid Waste Policy (PNRS), created by Law 12.305 on February 12, 2010, establishes a series of guidelines related to the management of solid waste. After this, tools that allow the collection of data on all stages of waste disposal have been created, an example of which is the Waste Transport Manifest (MTR), a document for the traceability of waste to be filled out by all those included in the Solid Waste Management Plan (PGRS), it is digitally available nationwide. This instrument also aims to serve as a more comprehensive and unified database on the generation, storage, transport, and disposal of waste in Brazil. Thus, the information contained in the MTR can be valuable, opening up opportunities for the development of a waste recovery economy. With this intention, the present work proposes the creation of a web application gathering MTR data to connect generators to potential consumers of waste in the industrial field in Santa Catarina (SC). Concepts for such a system are studied, and the treatment and analysis of MTR data are carried out, leading then to the development of a prototype application.

Keywords: Waste Transport Manifest (MTR). Waste redirection. Web application.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tratamento e Disposição Final de Resíduos no Brasil.	19
Figura 2 – Tratamento e Disposição Final de Resíduos em SC.	19
Figura 3 – Exemplo de construção do código de identificação de resíduo do IBAMA	23
Figura 4 – VTI por grupo da Indústria de Transformação em SC	24
Figura 5 – VTI por grupo da Indústria Extrativa em SC	25
Figura 6 – Janela de cadastro de MTR do IMA/SC	26
Figura 7 – Mapa interativo de Gestão de Resíduos Sólidos do SINIR+	28
Figura 8 – Esquema do projeto do aplicativo web	32
Figura 9 – Fluxo do usuário no app	33
Figura 10 – Fluxo do aplicativo - Conceito I	34
Figura 11 – Fluxo do Aplicativo - Conceito II	35
Figura 12 – Fluxograma simplificado do processo de fabricação de revestimento cerâmico	36
Figura 13 – Fluxograma da janela de aquisição com a adição do módulo de “Com- binação por fluxo”	37
Figura 14 – Página inicial da aplicação	39
Figura 15 – Janelas de cadastro e entrada	40
Figura 16 – Página do usuário	41
Figura 17 – Módulo de localização de resíduos	41
Figura 18 – Painel de resultados	42
Figura 19 – Histograma da geração de resíduos sólidos em SC (2020 e 2021)	44
Figura 20 – Geração de resíduos sólidos classificados por capítulo em SC (2020 e 2021)	45
Figura 21 – Mapa da geração de resíduos sólidos por município	48
Figura 22 – Destinação de resíduos sólidos por tecnologia	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de Resíduos Sólidos de acordo com a ABNT NBR 10004:2004	22
Quadro 2 – Classificação de Resíduos Sólidos de acordo com a CONAMA	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Amostra da estrutura de dados pós limpeza.	44
Tabela 2 – Amostra da estrutura de dados pós cruzamento.	45
Tabela 3 – Resíduos sólidos predominantes por capítulo	47
Tabela 4 – Geração de resíduos sólidos superior a 50 mil <i>t</i> por município	49
Tabela 5 – Classificação de Resíduos Sólidos por Capítulos do IBAMA	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABETRE	Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes
API	Interface de Programação de Aplicação (Application Programming Interface)
CAPTCHA	Teste de Turing Público Completamente Automatizado para distinguir entre Computadores e Pessoas (Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart)
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
CPF	Cadastro de Pessoa Física
CSS	Folhas de Estilo em Cascata (Cascading Style Sheets)
CSV	Valores Separados por Vírgula (Comma-separated values)
CTF/APP	Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Naturais
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
HTML	Linguagem de Marcação de Hipertexto (Hyper Text Markup Language)
HTTP	Protocolo de Transferência de Hipertexto (HyperText Transfer Protocol)
IA	Inteligência Artificial
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMA	Instituto do Meio Ambiente
IMA/SC	Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina
JSON	Objeto de Notação de Javascript (JavaScript Object Notation)
LLM	Large Language Model (Grande Modelo de Linguagem)
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
MTR	Manifesto de Transporte de Resíduos
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OLUC	Óleo Lubrificante Usado ou Contaminado
ONU	Organização das Nações Unidas
PDF	Documento de Formato Portátil (Portable Document Format)
PGRS	Plano de Gestão do dos Resíduos Sólidos
PIA	Pesquisa Industrial Anual
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RAM	Memória de Acesso Aleatório (Random Access Memory)

RAPP	Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais
RSI	Resíduos Sólidos Industriais
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SC	Santa Catarina
SINIR	Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
SNIS	Sistema Nacional de Saneamento Básico
SQL	Linguagem de Consulta Estruturada (Structured Query Language)
SSD	Unidade de Estado Sólido (Solid State Drive)
SSL	Secure Sockets Layer
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UF	Unidade Federativa
URI	Identificador Uniforme de Recurso (Uniform Resource Identifier)
VTI	Valor da Transformação Industrial

LISTA DE SÍMBOLOS

d	Distância
P	Pegada de Carbono
S	Custo do Transporte
Q	Quantidade disponível
q	Quantidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	DEFINIÇÕES	18
2.1.1	Resíduos Sólidos Industriais	18
2.1.2	Direcionamento de resíduos sólidos	18
2.1.2.1	Aterro	20
2.1.2.2	Tratamentos térmicos	20
2.1.2.3	Blendagem e coprocessamento	20
2.1.2.4	Compostagem	20
2.1.2.5	Descontaminação de lâmpadas	20
2.1.2.6	Fins Didáticos	21
2.1.2.7	Reciclagem	21
2.1.2.8	Recuperação Energética	21
2.1.2.9	Rerrefino	21
2.1.2.10	Tratamento de Efluentes	21
2.1.2.11	Uso Agrícola	21
2.2	CLASSIFICAÇÕES DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS	22
2.2.1	ABNT NBR 10004:2004	22
2.2.2	CONAMA	22
2.2.3	IBAMA	22
2.3	PRINCIPAIS ATIVIDADES INDUSTRIAIS DE SC	24
2.4	COLETA DE DADOS SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS NO BRASIL	25
2.4.1	MTR	25
2.4.2	RAPP	27
2.4.3	Programa Nacional Lixão Zero	27
2.4.4	SINIR	27
2.5	ECONOMIA CIRCULAR	29
2.6	ESTADO DA ARTE	29
3	METODOLOGIA	30
3.1	FONTES DE DADOS	30
3.1.1	MTR	30
3.1.2	IBGE	30
3.1.3	Portal de Dados Abertos	30

3.2	EXTRAÇÃO, PROCESSAMENTO, ARMAZENAMENTO E ANÁLISE DE DADOS	30
3.3	DESENVOLVIMENTO WEB	31
4	DESENVOLVIMENTO	32
4.1	APLICATIVO WEB	32
4.1.1	Público-alvo	33
4.1.2	Conceito I	33
4.1.3	Conceito II	34
4.1.4	Métricas para a combinação (“match”)	37
4.1.5	Pontuação e estimativas para o resultado	38
4.2	PROTÓTIPO	39
4.2.1	Limitações	42
4.2.2	Possíveis adições e melhorias	43
4.3	CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS	43
4.3.1	Limpeza	43
4.3.2	Cruzamento	44
4.4	ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS	45
4.4.1	Geração	45
4.4.2	Destinação	49
5	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS	52
	ANEXO A – CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS POR CAPÍTULOS DO IBAMA	55

1 INTRODUÇÃO

A discussão acerca do gerenciamento de resíduos sólidos adquiriu notoriedade em meados de 1970, acompanhando os tópicos das conferências como na de Estocolmo (1972), Tbilisi (1977) e ECO 92 (1992). De 1993 a 2013 a produção científica no mundo relacionada ao tópico triplicou e seguiu duplicando nos anos de 2003 a 2013 (DEUS; BATTISTELLE; SILVA, 2015). Após 30 anos, podemos ver nas bases de dados de produções científicas que essa tendência continua.

Ainda que amplo seja o estudo e debate acerca das questões ambientais, observa-se que na visão popular os resíduos ainda são associados a uma imagem negativa — restos, sujeira, incômodo —, o que pode dificultar a criação de estratégias pelo governo para uma destinação sustentável desses resíduos (SANTIAGO; PUGLIESI, 2016).

No Brasil, seguindo as legislações europeias 1999/31/CE (EUROPA, 1999) e 2008/98/EC (EUROPA, 2008), foi publicada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que conforme descrito no Art 1º:

Esta lei institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. (BRASIL, 2010, Art. 1º).

Em 2022, o DECRETO Nº 10.936 (BRASIL, 2022) avançou nas definições de responsabilidades compartilhadas dos envolvidos no ciclo de vida do produto — fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos — mencionando majoritariamente Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

No que tange aos Resíduos Sólidos Industriais (RSI), observa-se que apesar da existência de bases de dados descentralizadas pertinentes à geração dos resíduos, ainda carece de um fluxo claro, objetivo e unificado para lidar com a problemática.

Com isso, entende-se a importância do desenvolvimento de alternativas para a questão do direcionamento dos RSIs, e na tentativa de preencher uma lacuna na cadeia produtiva baseada no descarte inconsciente e irresponsável, este trabalho propõe uma aplicação que reúna dados disponíveis sobre RSIs a fim de conectar geradores de resíduos e potenciais consumidores de resíduos no âmbito industrial. Isso segue as diretrizes do PNRS sobre logística reversa e economia circular.

Como Santa Catarina (SC) tem sido destaque na destinação de resíduos sólidos (CREA-SC, 2013), considerou-se válido o foco do trabalho para o estado. Contou-se com a ajuda do Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA/SC) para obtenção dos dados de Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) em SC para o desenvolvimento do projeto.

1.1 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um aplicativo para cruzamento de dados entre geradores e potenciais consumidores de resíduos sólidos no Estado de Santa Catarina.

A proposta está vinculada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), em particular com o ODS 9 — Indústria Inovação e Infraestrutura. Entrando no escopo deste projeto os itens 9.4, 9.5 e 9.c (ONU, 2023), que dizem respeito a:

9.4 Até 2030, modernizar a infraestrutura e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente corretos; com todos os países atuando de acordo com suas respectivas capacidades.

9.5 Fortalecer a pesquisa científica, melhorar as capacidades tecnológicas de setores industriais em todos os países, particularmente os países em desenvolvimento, inclusive, até 2030, incentivando a inovação e aumentando substancialmente o número de trabalhadores de pesquisa e desenvolvimento por milhão de pessoas e os gastos público e privado em pesquisa e desenvolvimento

9.c Aumentar significativamente o acesso às tecnologias de informação e comunicação e se empenhar para oferecer acesso universal e a preços acessíveis à internet nos países menos desenvolvidos, até 2020

1.1.2 Objetivos Específicos

Particularmente, neste trabalho pretende-se alcançar os seguintes objetivos:

1. Levantar a viabilidade e/ou potencial de um produto de software destinado ao redirecionamento de RSIs em SC;
2. Coletar, analisar e tratar os dados de geração de resíduos sólidos de relatórios de MTR providos pelo IMA/SC;
3. Propor conceitos de um sistema que conecta potenciais consumidores de RSI aos respectivos geradores em SC;
4. Desenvolver um protótipo de aplicativo web com mínimas funcionalidades utilizando tecnologias de código aberto;
5. Promover uma reflexão sobre o direcionamento de resíduos sólidos no estado e a reinserção dos mesmos no ciclo produtivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÕES

No intuito de esclarecer termos e conceitos utilizados neste trabalho, dedica-se esta seção.

2.1.1 Resíduos Sólidos Industriais

De acordo com o PNRS, resíduos sólidos são todo:

"Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isto soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (BRASIL, 2010, Art. 3º, item XVI)"

No contexto deste trabalho, considera-se em especial RSIs, conforme mencionado no website do Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) como: resíduos gerados nos processos produtivos e instalações industriais (SINIR, 2023).

2.1.2 Direcionamento de resíduos sólidos

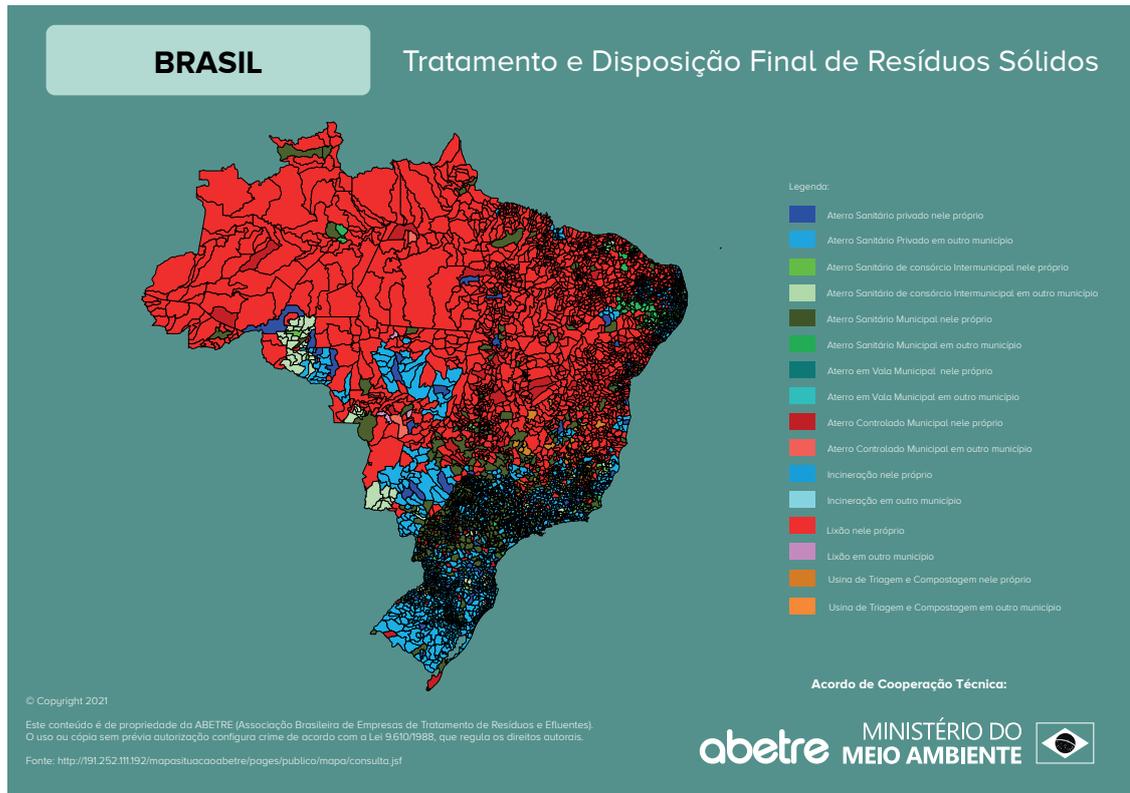
Em consonância com a seção V do PNRS que responsabiliza os geradores de resíduos enquadrados nas alíneas “e”, “f”, “g” e “k” do inciso I do art. 13 — sendo “f” relativa aos geradores de RSIs — a elaborarem o Plano de Gestão dos Resíduos Sólidos (PGRS), o qual aponta e descreve as ações realizadas para minimizar a geração de resíduos na fonte e procedimentos relacionados à movimentação dos resíduos até que cheguem à destinação ambientalmente adequada.

Através da Figura 1, é possível entender a problemática da questão de resíduos sólidos no Brasil, pode-se ver que a maior porção do país destina os resíduos para lixões, os quais não possuem qualquer controle sanitário, sendo prejudiciais à saúde humana e do meio-ambiente.

A Figura 2 ilustra as principais destinações finais de resíduos em SC por município. É possível observar a ausência de lixões em todo estado, bem como a vasta quantidade de aterros sanitários, ambos indicativos de uma boa condução no que tange a descarte de resíduos.

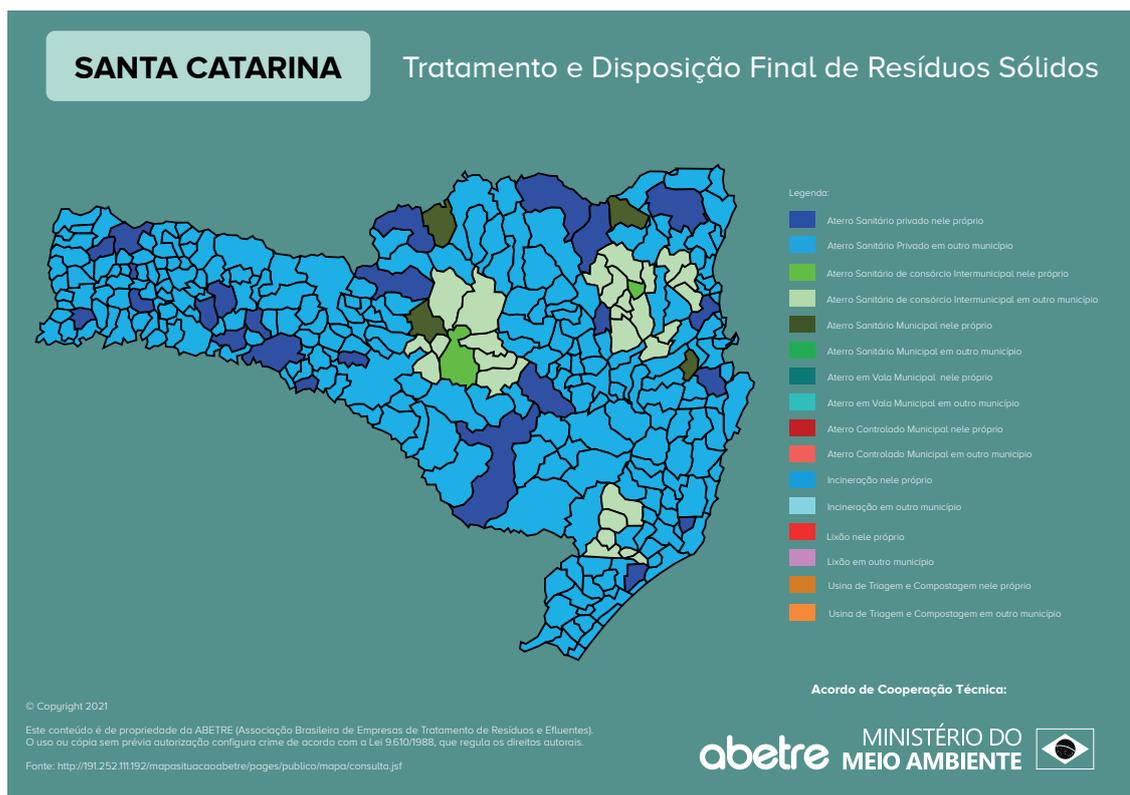
Apesar de não termos lixões no estado, entende-se que devem ser traçadas alternativas que reincorporem parte desses resíduos na cadeia produtiva. Nas próximas seções, descrevem-se, além das mencionadas na Figura 2, outras tecnologias de destinação dos resíduos sólidos para conhecimento.

Figura 1 – Tratamento e Disposição Final de Resíduos no Brasil.



Fonte: ABETRE

Figura 2 – Tratamento e Disposição Final de Resíduos em SC.



Fonte: ABETRE

2.1.2.1 Aterro

Uma das destinações mais comuns no país, são áreas de armazenamento de resíduos (GRASSELLI, 2023):

- **Lixão:** a céu aberto;
- **Aterros Controlados:** em locais sem impermeabilização do solo;
- **Aterros Sanitários:** em espaço com engenharia dedicada à maior compactação dos resíduos e menor dano possível ao meio ambiente;

2.1.2.2 Tratamentos térmicos

Bastante utilizados no ramo da saúde (GRASSELLI, 2023):

- **Autoclave:** consiste na desinfecção dos resíduos através do aquecimento a uma temperatura elevada em contato com o vapor de água superaquecido;
- **Incineração:** queima dos resíduos a temperaturas superiores a 1000 °C numa atmosfera com oxigênio;
- **Micro-ondas:** exposição dos resíduos à radiação eletromagnética de alta frequência;
- **Pirólise:** realiza-se o aquecimento dos materiais acima de 1000 °C numa atmosfera sem oxigênio;

2.1.2.3 Blendagem e coprocessamento

A **blendagem** é um processo de mistura de resíduos ("*blends*") a fim de gerar um produto alternativo ou matéria prima. Geralmente são misturados resíduos específicos para substituir ou reduzir o uso de uma matéria prima, barateando o processo.

O **coprocessamento** utiliza os "*blends*" de alto poder calorífico para destruição térmica dos resíduos em fornos de cimento resultando numa economia energética e de matéria prima (INTERAÇÃO, 2023)

2.1.2.4 Compostagem

Trata-se de um método aeróbio de reciclagem e tratamento de resíduos orgânicos que busca reproduzir as condições observadas no processo natural de degradação da matéria orgânica (GRASSELLI, 2023).

2.1.2.5 Descontaminação de lâmpadas

Está relacionado à logística reversa das lâmpadas que contém mercúrio em sua composição. Consiste normalmente em pontos de entrega em estabelecimentos comerciais

do país. As lampadas coletadas são transportadas e destinadas a recicladores homologados (RECICLUS, 2023).

2.1.2.6 Fins Didáticos

Trata da disposição de resíduos para utilização em unidades organizacionais. Por se tratar de uma movimentação de bem móvel entre organizações e órgãos da União fica regido pelo DECRETO Nº 10.340, 2020 (BRASIL, 2020)

2.1.2.7 Reciclagem

De acordo com a PNRS, reciclagem é o “processo de transformação dos resíduos sólidos que não seriam aproveitados, com mudanças em seus estados físico, físico-químico ou biológico, de modo a atribuir características ao resíduo para que ele se torne novamente matéria-prima ou novos produtos [...]” (BRASIL, 2010, Art 3º, ítem XIV).

2.1.2.8 Recuperação Energética

A recuperação energética é um processo que utiliza a energia contida nos resíduos sólidos para gerar eletricidade, calor ou combustíveis alternativos através da digestão anaeróbia, recuperação de gás de aterro sanitário, incineração e coprocessamento (ABREN, 2021)

2.1.2.9 Rerrefino

É o processo relacionado a recolhimento, coleta e destinação final de Óleo Lubrificante Usado ou Contaminado (OLUC) de modo a aproveitar ao máximo seus constituintes e não causar danos ambientais (GRASSELLI, 2023).

2.1.2.10 Tratamento de Efluentes

Diz respeito à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), que são: “unidades operacionais do sistema de esgotamento sanitário que através de processos físicos, químicos ou biológicos removem as cargas poluentes do esgoto, devolvendo ao ambiente o produto final, efluente tratado, em conformidade com os padrões exigidos pela legislação ambiental.” (CASAN, 2023)

2.1.2.11 Uso Agrícola

É pertinente à utilização de resíduos como fertilizantes, sejam de origem agropecuária, urbana ou industrial. O uso de resíduos como fertilizantes atende requisitos da economia circular, economia verde e resíduo zero. (GRASSELLI, 2023)

2.2 CLASSIFICAÇÕES DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

A classificação de resíduos sólidos industriais é um processo fundamental que visa identificar suas características, riscos potenciais e formas apropriadas de tratamento e destinação.

2.2.1 ABNT NBR 10004:2004

Para efeitos da norma ABNT NBR 10004:2004 Resíduos Sólidos — Classificação (ABNT, 2004), os resíduos são classificados com base no seu risco ao meio ambiente e à saúde. Os códigos possuem uma letra e três números. A classificação pode ser encontrada no Quadro 1

Quadro 1 – Classificação de Resíduos Sólidos de acordo com a ABNT NBR 10004:2004

Resíduos classe I — Perigosos	São aqueles que em detrimento das características físicas, químicas e biológicas apresentam riscos a saúde e meio ambiente.
Resíduos classe II — Não perigosos	São resíduos que não apresentam periculosidade aparente, exemplos são: sucatas, madeira, papel e papelão, borracha, areia de fundição, bagaço de cana.
Resíduos classe II A — Não inertes	São os resíduos que não se encaixam na classe II B.
Resíduos classe II B — Inertes	Quaisquer resíduos que, segundo normas auxiliares (ABNT NBR 10007 e ABNT NBR 10006) não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados e concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Fonte: ABNT (2004).

2.2.2 CONAMA

A RESOLUÇÃO CONAMA nº 358, 2005 (CONAMA, 2005) com vistas a preservar a saúde pública e a qualidade do meio ambiente, dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências, como a classificação dos resíduos em cinco grupos (A, B, C, D e E), conforme Quadro 2

2.2.3 IBAMA

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) por meio da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 13, 2012 (IBAMA, 2012) define que “A classificação de resíduos sólidos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.”

Trata-se da classificação mais completa no Brasil até o momento de publicação desse trabalho, é também a referência para o MTR. A estrutura segue um padrão de capítulo, subcapítulo, indicador de periculosidade e resíduo, consolidando no fim o código

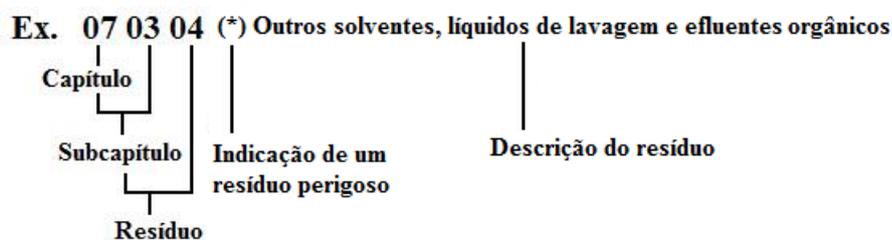
Quadro 2 – Classificação de Resíduos Sólidos de acordo com a CONAMA

I — Grupo A	Resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características de maior virulência ou concentração, podem apresentar risco de infecção.
II — Grupo B	Resíduos contendo substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade
III — Grupo C	Quaisquer materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de eliminação especificados nas normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e para os quais a reutilização é imprópria ou não prevista.
IV — Grupo D	Resíduos que não apresentem risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares.
V — Grupo E	Materiais perfurocortantes ou escarificantes, tais como: lâminas de barbear, agulhas, escalpes, ampolas de vidro, brocas, limas endodônticas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas; tubos capilares micropipetas; lâminas e lamínulas; espátulas; e todos os utensílios de vidro quebrados no laboratório (pipetas, tubos de coleta sanguínea e placas de Petri) e outros similares.

Fonte: CONAMA (2005).

do resíduo, conforme Figura 3. Atualmente, existe um total de 878 códigos classificando os resíduos sólidos; existe uma lista disponível no **site do IBAMA** nos formatos **.xls** e **.doc**

Figura 3 – Exemplo de construção do código de identificação de resíduo do IBAMA



Fonte: IBAMA

2.3 PRINCIPAIS ATIVIDADES INDUSTRIAIS DE SC

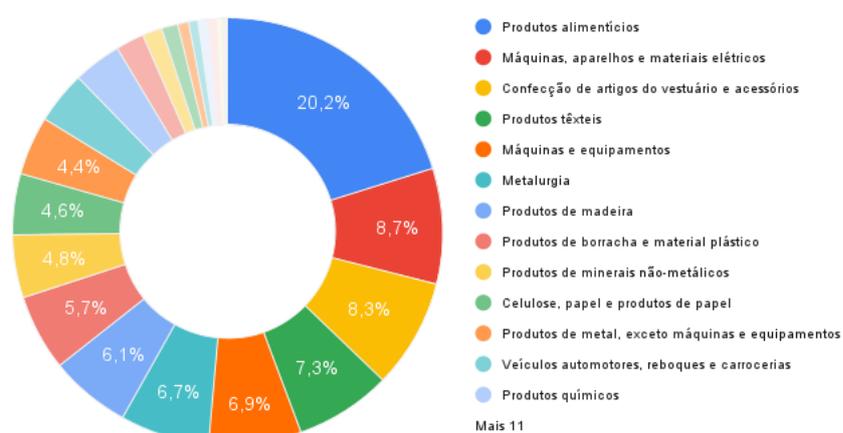
Para se obter um panorama sobre as atividades industriais que mais contribuem economicamente para o estado foi utilizado a Pesquisa Industrial Anual (PIA) - Empresa, o qual é elaborado uma vez por ano pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e investiga informações sobre as características estruturais básicas do segmento empresarial da atividade industrial no País, tendo como unidade de investigação a empresa industrial formalmente constituída cuja principal fonte de receita seja a atividade industrial (IBGE, 2021).

A pesquisa realiza o levantamento de diversas informações econômico-financeiras, como: receitas bruta e líquida; valor da transformação industrial; número de empresas e de unidades locais; pessoal ocupado; gastos com pessoal; custos de operação industrial, entre outros aspectos.

Para os fins deste tópico, considerou-se dados gerais de empresas industriais com 5 ou mais pessoas ocupadas em SC em 2021, e no momento o PIA abrange apenas os Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) que compreendem as Indústrias Extrativas e Indústrias de Transformação.

Na Figura 4 é possível observar a predominância da indústria de fabricação de “Produtos alimentícios”, que em conjunto com as indústrias de “Máquinas, aparelhos e materiais elétricos”, “Confecção de artigos de vestuário e acessórios”, “Produtos têxteis”, “Máquinas e Equipamentos” e “Metalurgia” compõem mais de 60% do Valor da Transformação Industrial (VTI) das Indústrias de Transformação, o restante se divide em diversos outros setores, com destaque para os pontuados no gráfico.

Figura 4 – VTI por grupo da Indústria de Transformação em SC

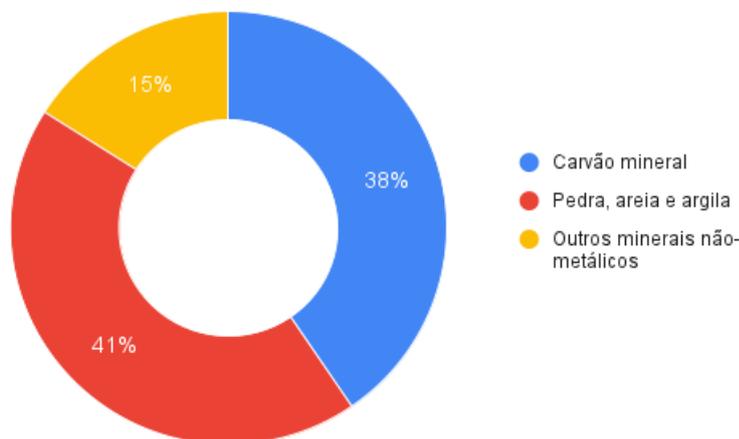


Fonte: Adaptado das tabelas do IBGE (2021)

A Indústria Extrativa divide aproximadamente 1,5% do VTI com a Indústria de Transformação, sendo majoritariamente composta pelas indústrias de “Carvão Mineral”,

“Pedra, areia e argila” e “Outros minerais não-metálicos”, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – VTI por grupo da Indústria Extrativa em SC



Fonte: Adaptado das tabelas do IBGE (2021)

2.4 COLETA DE DADOS SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS NO BRASIL

Na Era da Informação, já somos uma sociedade movida a dados, onde as tomadas de decisões são fundamentadas em evidências e informações coletadas por meio de análises e processamento de uma grande quantidade de dados (Big Data) (CASTELLS; MANUEL, 2010).

É notável que uma boa gestão de dados permite que tenhamos um melhor entendimento dos processos, e diante disso, reconhece-se a importância da coleta de dados sobre os resíduos sólidos no país para criação de políticas, práticas e ações que promovam o desenvolvimento sustentável, proteção do meio ambiente e melhoria da qualidade de vida da população, sendo um fator imprescindível nos dias atuais na tomada de decisão orientada a dados.

No Brasil, tem-se conhecimento de três principais fontes de dados sobre a geração e destinação de resíduos sólidos, estas são abordadas nas subseções.

2.4.1 MTR

Instituído pela portaria Portaria nº 280, de 29 de junho de 2020 (MMA, 2020), o MTR é uma ferramenta de gestão e documento de declaração nacional de implantação e operacionalização do PGRS; a portaria dispõe que:

A utilização do MTR é obrigatória em todo o território nacional, para todos os geradores de resíduos sujeitos à elaboração de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, conforme disposto no art. 20 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, como ferramenta online capaz de rastrear a massa de resíduos, controlando a geração, armazenamento temporário, transporte e destinação dos resíduos sólidos no Brasil. (MMA, 2020, Art. 2º)

É base mais completa em nível de informações de rastreamento de resíduos sólidos no âmbito nacional, e utiliza a lista de códigos de resíduos sólidos do IBAMA para identificação dos resíduos.

O sistema é englobado ao SINIR e requer um cadastro para que os envolvidos possam publicar o MTR, sendo possível cadastrar tanto com o Cadastro de Pessoa Física (CPF) quanto com o Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ). Como uma prática estadual estão sendo incorporados ao sistema do Instituto do Meio Ambiente (IMA) de cada Unidade Federativa (UF), requerendo também um cadastro para prosseguir. Na Figura 6, ilustra-se a aba de cadastro de manifesto no **site de MTR** do IMA/SC.

Figura 6 – Janela de cadastro de MTR do IMA/SC

Manifesto de Transporte de Resíduos e Rejeitos - MTR

* Campos de preenchimento obrigatório

Armazenamento Temporário

* Utilizará Armazenamento Temporário ? : Sim Não

Identificação dos Resíduos

Inserir Resíduo

Código IBAMA e Denominação	Estado Físico	Classe	Acondic.	Qtde.	Unidade	Tecnologia	Número ONU	Classe Risco	Nome para Embarque	Grupo de Embalagem	Excluir
----------------------------	---------------	--------	----------	-------	---------	------------	------------	--------------	--------------------	--------------------	---------

Identificação do Gerador

Nome/Razão Social: Testando CPF/CNPJ: 000.101.300-47 * Data Emissão: 25/11/2023

Telefone: Fax/Tel:

* Resp. Emissão: Cargo:

Identificação do Transportador

* Entrar com: CNPJ CPF

* CNPJ: Razão Social: Data Transporte:

Endereço: n°: Telefone:

Estado: Seleccione Municipio: Seleccione o Estado Fax/Tel:

Motorista: Placa Veículo:

Identificação do Destinatador

* Entrar com: CNPJ CPF

* CNPJ: Razão Social:

Endereço: n°: Telefone:

Estado: Seleccione Municipio: Seleccione o Estado Fax/Tel:

Observações:

Salvar

Fonte: Captura de tela gerada pelo Autor (2023)

Para efeitos deste trabalho, foram feitas buscas pelos dados nas plataformas de

dados abertos do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), IBAMA, IMA/SC e do Governo Federal, mas infelizmente os dados não estão acessíveis publicamente até o momento da publicação deste trabalho. Fez-se necessário contactar o IMA/SC para solicitação dos dados.

2.4.2 RAPP

O Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (RAPP) faz parte do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Naturais (CTF/APP), no qual todas as pessoas jurídicas cadastradas, isolada ou cumulativamente, nas atividades constantes da Lei 6.938/1981 para as quais é obrigatório o preenchimento do formulário do RAPP, conforme expresso nos Anexos I a XXVI da Instrução Normativa IBAMA nº06/2014.

O relatório apresenta a relação de geradores de resíduos sólidos por Município/UF e por atividade cadastrada, descrição do resíduo gerado, quantidade, ano de geração e classificação de periculosidade. É a base mais completa no que diz respeito à quantidade de dados, contudo a classificação de resíduos é bastante ampla, por ex.: “Resíduos domiciliares”, “Resíduos Industriais”, “Resíduos da Construção Civil”.

Os dados estão acessíveis publicamente na plataforma de dados abertos do **IBAMA** e também na do **Governo Federal**.

2.4.3 Programa Nacional Lixão Zero

O Programa Nacional Lixão Zero é uma iniciativa da Secretaria de Qualidade Ambiental para implementar a PNRS, integrando-se à Agenda Nacional de Qualidade Ambiental Urbana. O objetivo principal é apoiar estados e municípios na gestão adequada dos resíduos sólidos urbanos, com ênfase na disposição final ambientalmente correta. (MMA, 2019)

O programa dispõe **painéis interativos no site** que permitem a visualização de mapas, gráficos e indicadores relacionados à gestão de resíduos sólidos urbanos e logística reversa. No que tange aos dados, trata-se de uma base bastante completa em termos de informações, identificação dos resíduos e quantidade de dados; já utiliza os códigos de resíduos sólidos do IBAMA.

2.4.4 SINIR

O SINIR é um instrumento da PNRS sob a responsabilidade do Governo Federal, por meio do MMA. Com objetivo de unificar os dados sobre resíduos sólidos provenientes de diversas fontes, como o MTR, RAPP, Sistema Nacional de Saneamento Básico (SNIS), IBGE. No intuito de criar uma visualização integrada dessas bases o SINIR+ compõe uma plataforma tecnológica para apoio à formulação de políticas públicas, em nível nacional,

estadual e municipal, permitindo a gestão continuada de resíduos sólidos, além da criação de estratégias e oportunidades de negócios (SINIR, 2023).

A plataforma é composta de mapas, painéis e relatórios que sistematizam os dados das fontes envolvidas e disponibilizam estatísticas e indicadores referentes à gestão de resíduos sólidos no Brasil. Apesar da plataforma do SINIR+ integrar os dados em mapas e relatórios, e conforme mencionado no site que “[...] Professores e estudantes podem navegar em busca de informações gerais sobre os territórios em estudo, comparando regiões e entendendo os diferentes modelos de gestão empregados [...]” não foram encontrados arquivos de dados abertos em formatos que possibilitam uma análise mais específica da situação, por exemplo em Valores Separados por Vírgula (Comma-separated values) (CSV) ou Objeto de Notação de Javascript (JavaScript Object Notation) (JSON).

A Figura 7 ilustra a visualização de mapa interativo disponibilizado pelo SINIR+ que permite a aplicação de camadas sob o mapa, permitindo visualizar correlações entre a geração/destinação de resíduos e infraestrutura urbana, por exemplo.

Figura 7 – Mapa interativo de Gestão de Resíduos Sólidos do SINIR+



Fonte: Captura de tela gerada pelo Autor (2023)

2.5 ECONOMIA CIRCULAR

A economia circular é um conceito que visa transformar o modelo econômico tradicional linear, baseado na extração, produção, consumo e descarte, em um modelo mais sustentável, que permita repensar as práticas econômicas da sociedade atual e que se inspira no funcionamento da própria Natureza (LEITÃO, 2015). Neste quadro de desenvolvimento, os produtos possuem um ciclo fechado, protegendo e provendo ao meio ambiente, enquanto trabalha em paralelo com a intenção de compra e valor de mercado.

Neste cenário, englobando o pensamento de berço-a-berço (“*Cradle to Cradle*”) (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2009), há a oportunidade de fomentar o surgimento de novas dinâmicas entre as empresas, que passam de geradoras de resíduos numa cadeia produtiva, para consumidoras e fornecedoras de materiais num ciclo produtivo.

2.6 ESTADO DA ARTE

No contexto do gerenciamento de resíduos, existem muitos produtos surgindo para sanar uma lacuna no mercado e auxiliar empresas a melhorar a gestão da informação. Podemos citar os sistemas de gerenciamento “**meuResíduo**” e “**Resitrack**”, que com propostas bastante semelhantes permitem a unificação do controle de resíduos em um só lugar, substituindo as plataformas do Governo por uma ferramenta mais completa, que automatiza todo o processo de gestão da geração, armazenamento, transporte e destinação integrando com o sistema de MTR.

No que diz respeito a uma plataforma de reinserção ou redirecionamento de resíduos no ciclo produtivo, podemos mencionar a “**Cataki**”, “**Reciclaê**” e “**Coleta Verde**”, todos conectando a pessoas ou empresas geradoras a indústrias de reciclagem associadas. Ainda nesse âmbito, podemos mencionar a startup “**urupê**”, que com uma proposta de gestão e consultoria realiza todo o processo relacionado a resíduos, visando garantir o maior aproveitamento dos resíduos.

Outra proposta, é a “**bubuyog**”, automeada “*Tinder do Aço*”, que com uma plataforma estilo “*marketplace*” auxilia as indústrias do ramo de aço a venderem produtos que, por algum motivo, ficaram parados nos estoques.

3 METODOLOGIA

3.1 FONTES DE DADOS

Para este trabalho foram utilizados majoritariamente dados acessíveis publicamente, com exceção aos dados de MTR, que foi necessário solicitar ao IMA/SC

3.1.1 MTR

Decidiu-se utilizar a base de MTR, pois se trata do banco mais completo em termos de informações, além de que se entende que a mesma será o futuro do rastreamento de resíduos sólidos no país.

Os dados de geração de resíduos sólidos em SC de 2020 a 2021 foram extraídos de relatórios em Documento de Formato Portátil (Portable Document Format) (PDF) fornecidos pelo IMA/SC. Infelizmente os dados foram gerados de maneira agrupada, isto é, no total dos dois anos.

3.1.2 IBGE

Com o objetivo de obter os dados relativos a nome de município e coordenadas geográficas foram utilizados os dados abertos mais recentes (2023) de municípios e de malhas geográficas do IBGE. Ambos disponíveis na **Interface de Programação de Aplicação (Application Programming Interface) (API) de serviço de dados** do instituto.

3.1.3 Portal de Dados Abertos

Para extrair informações relativas a endereço, situação cadastral, CNAE e telefone das empresas foram utilizados os dados mais recentes (2022) de CNPJ disponíveis no **Portal de Dados Abertos do Governo Federal**.

3.2 EXTRAÇÃO, PROCESSAMENTO, ARMAZENAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

A extração dos dados dos relatórios de MTR gerados pelo IMA/SC foi feita utilizando a linguagem de programação **Python**. Foram 13 relatórios contendo no total 294 páginas, das quais os dados foram extraídos utilizando as bibliotecas **tabula** e **Fitz-PyMuPDF**.

Os dados de municípios e coordenadas geográficas foram extraídos através de requisições Protocolo de Transferência de Hipertexto (HyperText Transfer Protocol) (HTTP) direcionadas aos Identificador Uniforme de Recurso (Uniform Resource Identifier) (URI) das APIs disponibilizadas pelo **API de serviço de dados** do IBGE utilizando a biblioteca **requests**.

Já a extração dos dados de CNPJ, devido a oferta desses dados serem escondidos atrás de Teste de Turing Público Completamente Automatizado para distinguir entre Computadores e Pessoas (Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart) (CAPTCHA) ou segregados em arquivos CSV, torna-se bastante onerosa a consulta e carregamento dos dados, por isso foi utilizada a API **MinhaReceita**, que realizou a união de todos os arquivos e os disponibilizou de maneira acessível e gratuita através de requisições HTTP; possibilitou-se então, utilizar a biblioteca **requests** para requisitar ao URI.

Todo processamento dos dados foi feito em máquina pessoal com Processador Intel I7 (8 núcleos), 16GB de Memória de Acesso Aleatório (Random Access Memory) (RAM) e disco Unidade de Estado Sólido (Solid State Drive) (SSD); não foi necessária a utilização de *frameworks* de processamento de dados.

O armazenamento foi feito em máquina virtual disponível em nuvem (*Cloud Computing*) utilizando o banco de dados estruturado **PostgreSQL**.

A limpeza e análise dos dados foi feita utilizando a biblioteca **Pandas** e Linguagem de Consulta Estruturada (Structured Query Language) (SQL).

Os cálculos relativo a rotas e distâncias entre cidades foram feitos utilizando o serviço gratuito **openrouteservice**. A criação de de mapas foi feita utilizando as bibliotecas **Folium** e **Geopandas**

3.3 DESENVOLVIMENTO WEB

O desenvolvimento do aplicativo web foi feito utilizando **Python** com o *framework* **Django** para a lógica de servidor (“*back-end*”) e Linguagem de Marcação de HiperTexto (Hyper Text Markup Language) (HTML), Folhas de Estilo em Cascata (Cascading Style Sheets) (CSS) junto à biblioteca **HTMX** para a interface gráfica (“*front-end*”).

A plataforma foi hospedada em servidor na nuvem numa máquina de 4GB de RAM, 80 GB de SSD e processador Intel com 2 núcleos virtuais. A provedora escolhida foi a **DigitalOcean**, motivando-se pelo custo fixo e crédito estudantil de 200 dólares via **GitHub Pro (benefício cedido a estudantes da UFSC)**, suficiente para manter a máquina ligada por cerca de 6 meses.

Também foram utilizadas as melhores práticas de versionamento de código com **Git**, containerização com **Docker**, balanceamento de carga e proxy com **NGINX** e certificação Secure Sockets Layer (SSL). Todas tecnologias gratuitas.

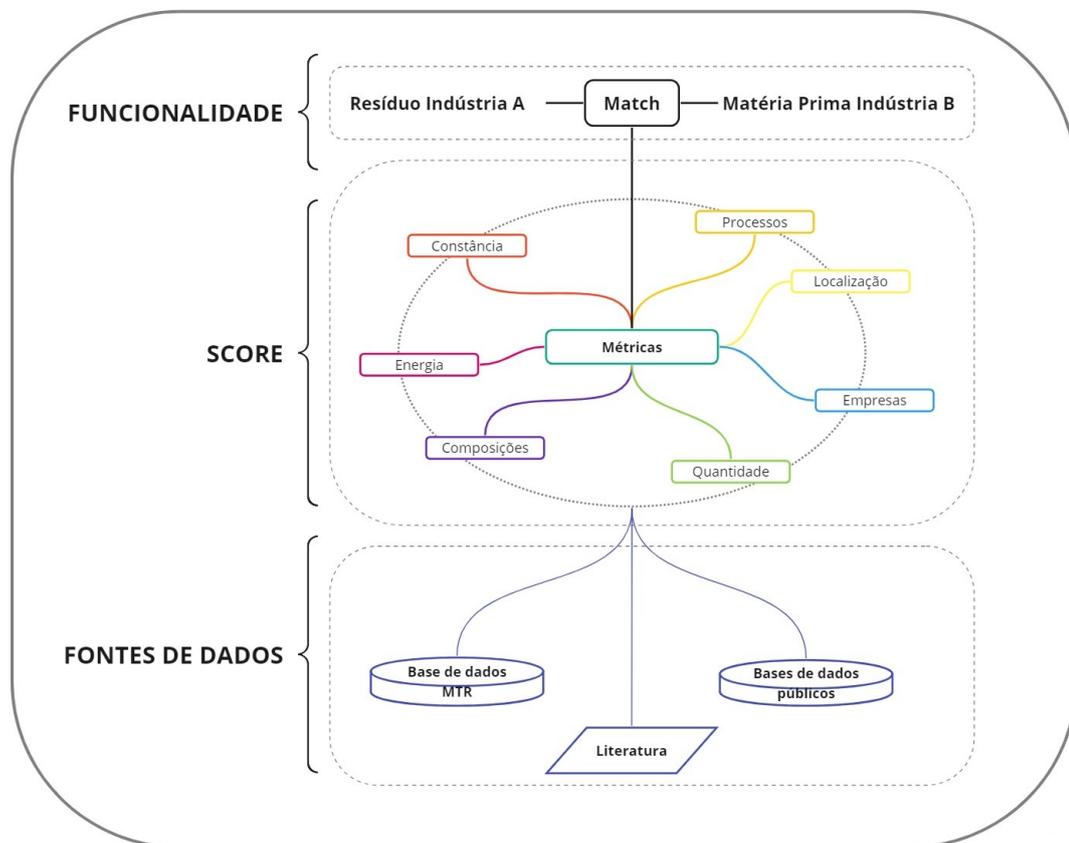
4 DESENVOLVIMENTO

4.1 APLICATIVO WEB

O sistema do aplicativo tem como essência três partes, comentadas abaixo e ilustradas na Figura 8.

- **Funcionalidade:** a função básica do aplicativo é possibilitar que uma **Empresa B**, consumidora de resíduos (matéria-prima), localize uma **Empresa A**, geradora de resíduos, afim de que haja, de alguma forma, uma comuta entre as partes;
- **Pontuação (Score):** para alcançar a funcionalidade é necessário definir métricas que decidam quando uma **Empresa A** é melhor candidata a fornecer resíduos do que uma **Empresa C**. Essas métricas são consolidadas em uma pontuação ou score;
- **Fontes de Dados:** para obtenção das métricas, necessitam-se de bases de dados com a capacidade de fornecer os dados que se necessitam de forma prática, confiável, com facilidade de manuseio e baixo custo.

Figura 8 – Esquema do projeto do aplicativo web

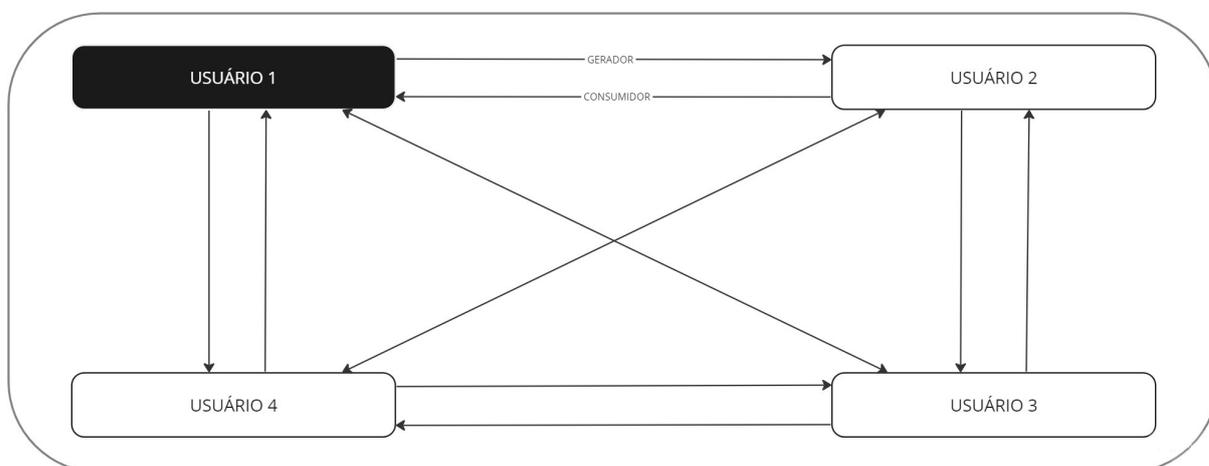


As fontes de dados foram citadas na Seção 3.1 e neste capítulo na Seção 4.3. A funcionalidade (Conceito) e as métricas serão mencionadas nas seções a seguir.

4.1.1 Público-alvo

Com esse aplicativo, tem-se objetivo de alcançar tanto potenciais consumidores de matéria-prima quanto geradores de resíduo, uma vez que se entende que não existe apenas geradores ou consumidores numa economia circular. Esta dinâmica está representada na Figura 9, onde fixado um Usuário 1, este pode atuar como gerador para X Usuários ou consumidor de X Usuários.

Figura 9 – Fluxo do usuário no app



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

4.1.2 Conceito I

Visando amostrar a funcionalidade básica do sistema, esse foi o conceito prototipado e disponibilizado para teste, servindo de base também para o Conceito II. Nesse sentido, o aplicativo é composto por:

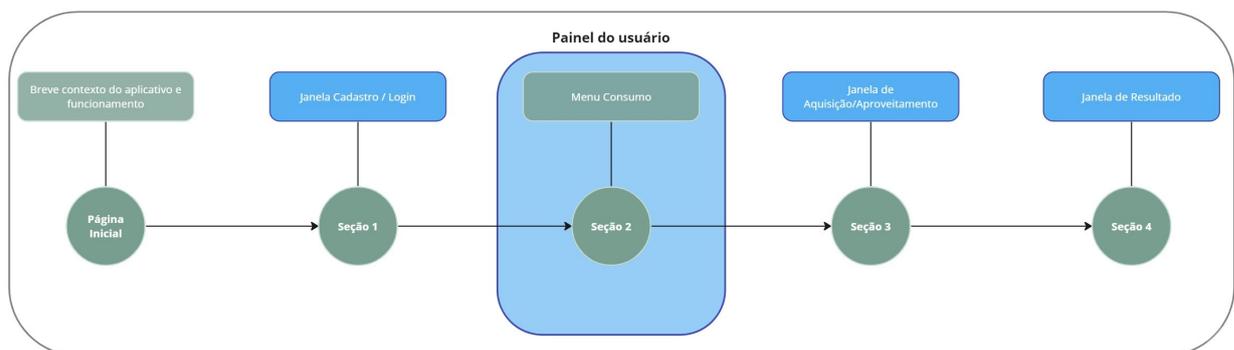
- **Página Inicial:** é a página de boas-vindas, deve conter uma breve explicação do funcionamento e contexto do aplicativo e ter uma estética moderna e atrativa;
- **Janela de Cadastro/Entrada:** entende-se necessário o cadastro, por mais simples que seja, para que se tenha estatísticas de uso do site. Os componentes básicos do cadastro são o e-mail e a senha;
- **Janela de Aquisição/Aproveitamento:** com o cadastro, o usuário é direcionado à um painel com um menu que represente Consumo, nesta opção encontra-se um

módulo “Localizador de Resíduo”. Nessa função está a janela de aquisição ou aproveitamento de resíduos que contém campos em forma de formulário que irão compor o score para a combinação do usuário com outras empresas, neste caso, o Capítulo, Subcapítulo e Código do IBAMA, o Município do usuário/empresa e a Quantidade de resíduo desejada;

- **Janela de resultado** após envio do formulário, segue-se para a janela de resultados, que apresenta uma classificação (“*ranking*”), em forma de lista, da combinação mais recomendada para a menos recomendada com base na pontuação.

Na Figura 10 é possível visualizar os itens mencionados na forma de fluxograma, contudo vale ressaltar que se trata de uma visão genérica e pode diferir do protótipo existente.

Figura 10 – Fluxo do aplicativo - Conceito I



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

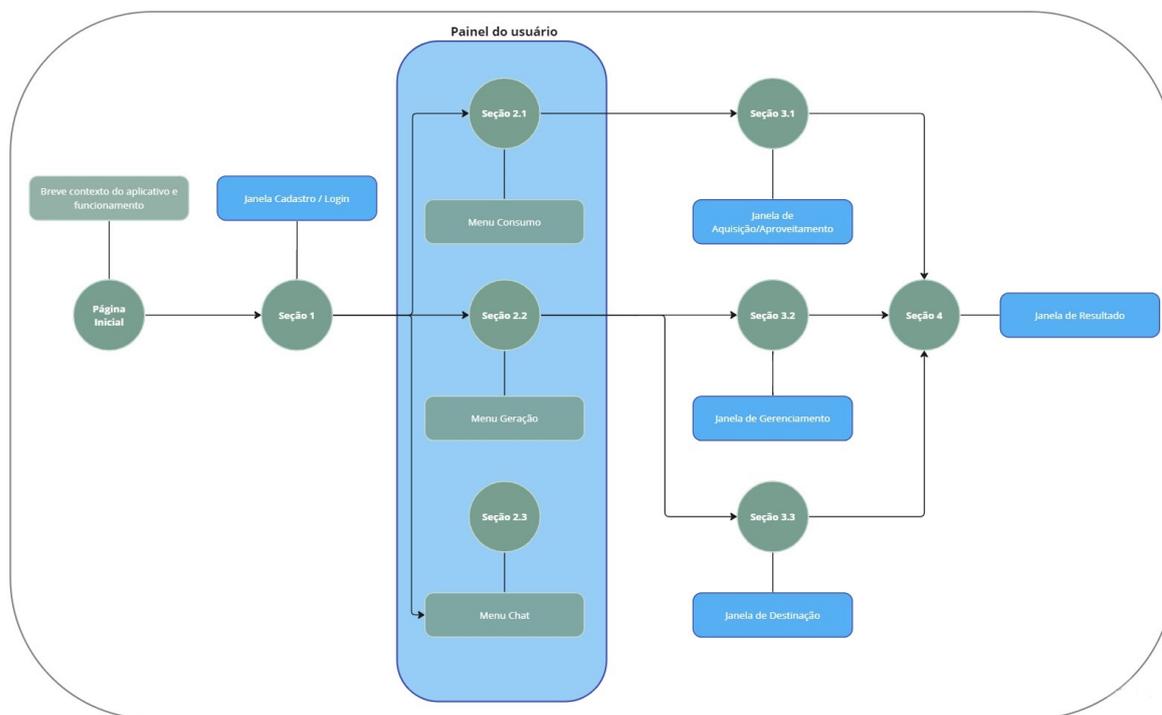
4.1.3 Conceito II

Numa versão mais completa do aplicativo, adiciona-se ao Conceito I, os menus Geração e Chat, além disso, propõe-se uma abordagem para a janela de aquisição que abrange também usuários sem conhecimento prévio do resíduo, mas que entendem bem as etapas dos processos dentro da indústria. Na Figura 11 está ilustrado em formato de fluxograma as adições ao Conceito I.

Sabendo que a comunicação é essencial para qualquer comuta entre os usuários, adiciona-se o recurso de **Chat**, a qual facilitaria o contato entre empresas geradoras e consumidoras cadastradas. Nesse caminho, entende-se que o aplicativo deixa de se voltar apenas ao consumo, mas também à geração, e em vista disso é adicionado o menu **Geração**, o qual abarca as janelas de **Gerenciamento** e **Destinação**, a primeira possibilitaria a empresa gerenciar os resíduos sólidos, organizando as etapas de geração, armazenamento,

transporte e destinação; seria possível também automatizar a geração de MTRs através de integrações por API, como a disponibilizada pelo CETESB (2021); a segunda janela, utiliza-se pelo usuário que deseja destinar ou ofertar o resíduo para outra empresa, seguindo a mesma dinâmica do menu de consumo

Figura 11 – Fluxo do Aplicativo - Conceito II



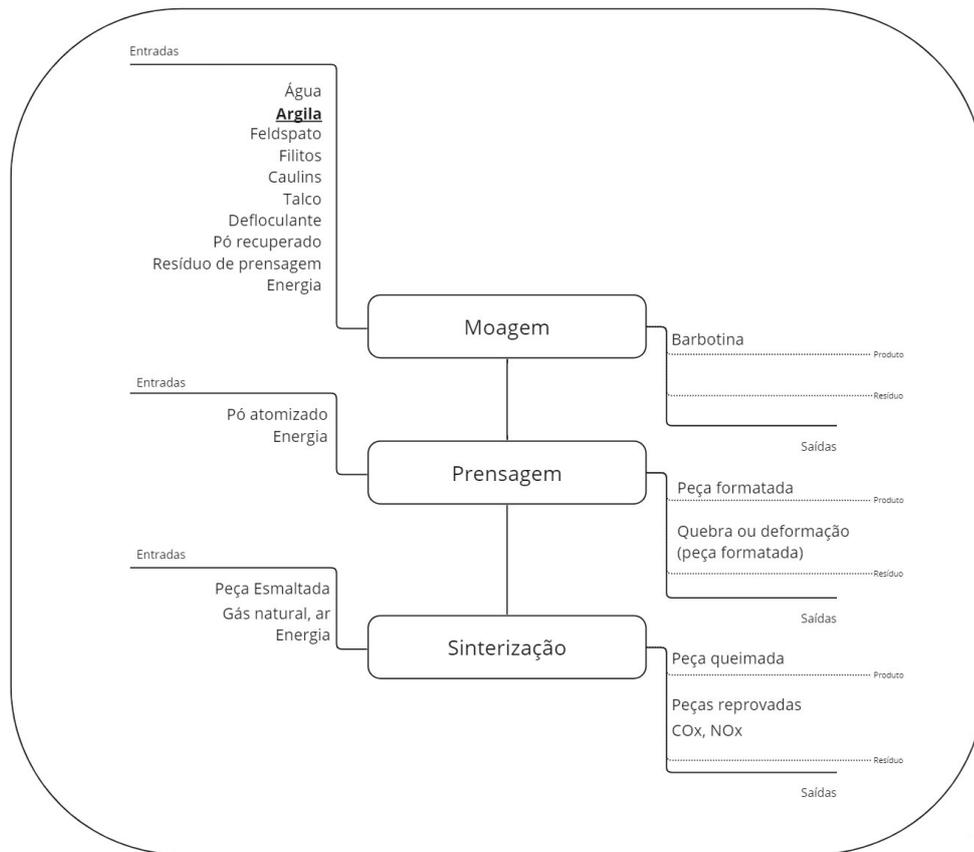
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

A respeito do consumo, para justificar a mudança de abordagem, vale-se citar como exemplo a dissertação de Lima (2002), que discute a utilização da lama gerada pela etapa de lavagem do processo de extração de minério de ferro como complemento à argila da massa de placas cerâmicas.

Nesse cenário, para a Empresa A da indústria de fabricação de revestimento cerâmico, sem conhecimento que esse resíduo pode ter valor, apresenta-se um módulo de “Combinação por fluxo”, em que a empresa seleciona o ramo da indústria (Cerâmica) e o processo deste ramo que deseja navegar (Fabricação de Revestimento Cerâmico), abre-se então um painel com um fluxo simplificado do processo selecionado¹ indicando as entradas e saídas de cada etapa, conforme ilustrado na Figura 12. Ao selecionar o componente da etapa que se interessa (Argila) é exibido um painel com possíveis resíduos que podem complementar ou substituir o componente selecionado.

¹ Várias etapas do processo de Fabricação de revestimento cerâmico foram omitidas, como a atomização, secagem e esmaltação, além disso, sabe-se que o fluxo não é linear.

Figura 12 – Fluxograma simplificado do processo de fabricação de revestimento cerâmico

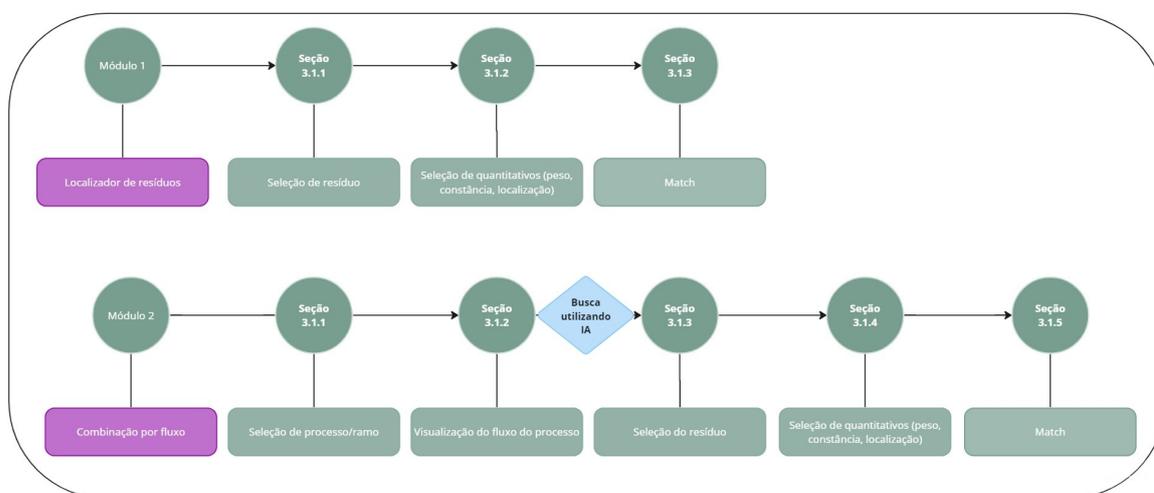


Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

O painel de resíduos é a fase a mais importante e desafiadora do ponto de vista técnico, para prover as opções de resíduos, faz-se necessário uma busca em artigos, dissertações, teses por estudos de utilização de resíduos em processos industriais. Na visão deste trabalho, sugere-se o treinamento de um Large Language Model (Grande Modelo de Linguagem) (LLM) com uma base de trabalhos acadêmicos direcionado ao tema, diga-se uma Inteligência Artificial (IA) de Ciência de Materiais ou utilização de IAs existentes com foco em ciência, como a **Galactica** (TAYLOR *et al.*, 2022). Outro ponto, é que até o momento da pesquisa realizada, a maioria dos trabalhos relacionados ao aproveitamento de resíduos sólidos no Brasil sequer mencionam uma classificação de resíduos, logo também seria necessário classificar o resíduo em estudo de acordo com a lista de resíduos do IBAMA

No contexto, ao prosseguir com a seleção do resíduo seriam preenchidos os dados relativos à quantidade desejada e a localização da empresa, finalizando com os resultados da mesma forma que no Conceito I. Na Figura 13 estão representados os módulos da janela de aquisição que compõe o Conceito II.

Figura 13 – Fluxograma da janela de aquisição com a adição do módulo de “Combinação por fluxo”



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

4.1.4 Métricas para a combinação (“match”)

As métricas expostas aqui são variáveis que tentam aproximar a real necessidade das indústrias, para que os resultados da combinação estejam de acordo com as expectativas mínimas da empresa. Reconhece-se que existem mais parâmetros a se considerar, às vezes específicos para determinado processo de produção, porém na tentativa de generalizar foram comentadas as variáveis abaixo.

- **Distância:** fator que afeta a energia gasta para mover o resíduo do ponto A para o B, influenciando diretamente o custo da operação. Deve considerar a malha rodoviária ideal para o transporte, não apenas a menor distância;
- **Quantidade:** para inserir um resíduo numa etapa do processo, deve existir material suficiente para suprir as demandas de ambas as indústrias;
- **Constância:** a geração deve possuir uma frequência, de modo que seja possível um planejamento pela indústria consumidora de quanto em quanto tempo esse resíduo pode ser obtido;
- **Composição química:** é evidente que a consumidora preza por manter a qualidade dos produtos, e uma mudança de material base pode impactar negativamente se não forem conhecidas as substâncias que constituem o resíduo;
- **Estado:** para a consumidora conseguir utilizar o resíduo talvez sejam necessárias etapas de preparação, pois o resíduo pode estar em forma de cacos, pó, pellets, pasta etc. Isso também pode impactar a possibilidade de uso do resíduo.

Das métricas citadas, foram utilizadas para o protótipo apenas a Distância e a Quantidade, pois a Constância e o Estado são dados que não se conseguiu obter junto ao IMA/SC devido a dificuldades no sistema interno, o primeiro depende de que os dados estejam em uma granularidade pelo menos mensal, o segundo é algo que consta nos MTRs porém não foi incluso nos relatórios. A composição química não consta nos campos do MTR, e por se tratarem de resíduos bastante específicos a cada ramo da indústria, pensa-se que seria preciso uma generalização com base na classificação do IBAMA, o que é um desafio fora do escopo deste trabalho.

4.1.5 Pontuação e estimativas para o resultado

Para os presentes cálculos, apenas as métricas de distância (d) e quantidade são consideradas, tais grandezas estão diretamente relacionadas ao gasto de combustível para o transporte, o qual influencia tanto no custo quanto na pegada de carbono, ambos são estimados no resultado da combinação. No Brasil, em 2019, 64,9% de toda a carga transportada no Brasil usou o sistema modal rodoviário (CNT, 2019), por essa razão esse foi o modo de transporte avaliado para esse trabalho.

Assumindo que o transporte do resíduo será feito através de um caminhão a diesel de até 16 t , segundo Bartholomeu (2006), podemos definir as constantes:

- Fator de emissão de CO_2 do diesel: $2,7 kgCO_2/L$;
- Consumo médio de combustível: $3,4 \cdot 10^{-1} L/km$.

Assim, temos as variáveis:

- Pegada de carbono (P):

$$P = 9,2 \cdot 10^{-1} \cdot d \quad (kg CO_2/km) \quad (1)$$

- Custo do transporte² (S):

$$S = 2,1 \cdot d \quad (R\$/km) \quad (2)$$

Para o cálculo da pontuação será utilizada a equação abaixo, lendo-se que se a quantidade disponível (Q) for 80% inferior à solicitada pelo usuário for 80% superior à quantidade solicitada pelo usuário (q), considera-se que a quantidade não terá impacto na pontuação.

$$\mathbf{score} = \begin{cases} \frac{q}{Q} \cdot \frac{10^2}{x^2+10^{-1}}, & \text{se } \frac{q}{Q} \leq 0,8 \\ \frac{10^2}{x^2+10^{-1}}, & \text{senão} \end{cases} \quad (3)$$

² Como exemplo, foi utilizado o preço médio do diesel S10 em Santa Catarina no mês de Novembro de 2023 ($R\$,08/L$), contudo esse valor deve ser atualizado dinamicamente no app.

4.2 PROTÓTIPO

Como mencionado anteriormente, foi utilizado o Conceito I para elaboração do protótipo e para colocá-lo disponível na internet foi dado o nome de “**residuose**”, um jogo de palavras entre “resíduos” e “simbiose” para remeter ao tema central do sistema, que é fazer com que as empresas trabalhem em sinergia aproveitando os resíduos gerados entre si.

A previsão é que o website esteja online até Abril de 2024 no domínio <https://residuose.tech>, contudo o cadastro de usuários será limitado, pois ainda não se tem a confirmação junto ao IMA/SC para liberação dos dados de MTR, como a razão social da empresa e o telefone, por exemplo.

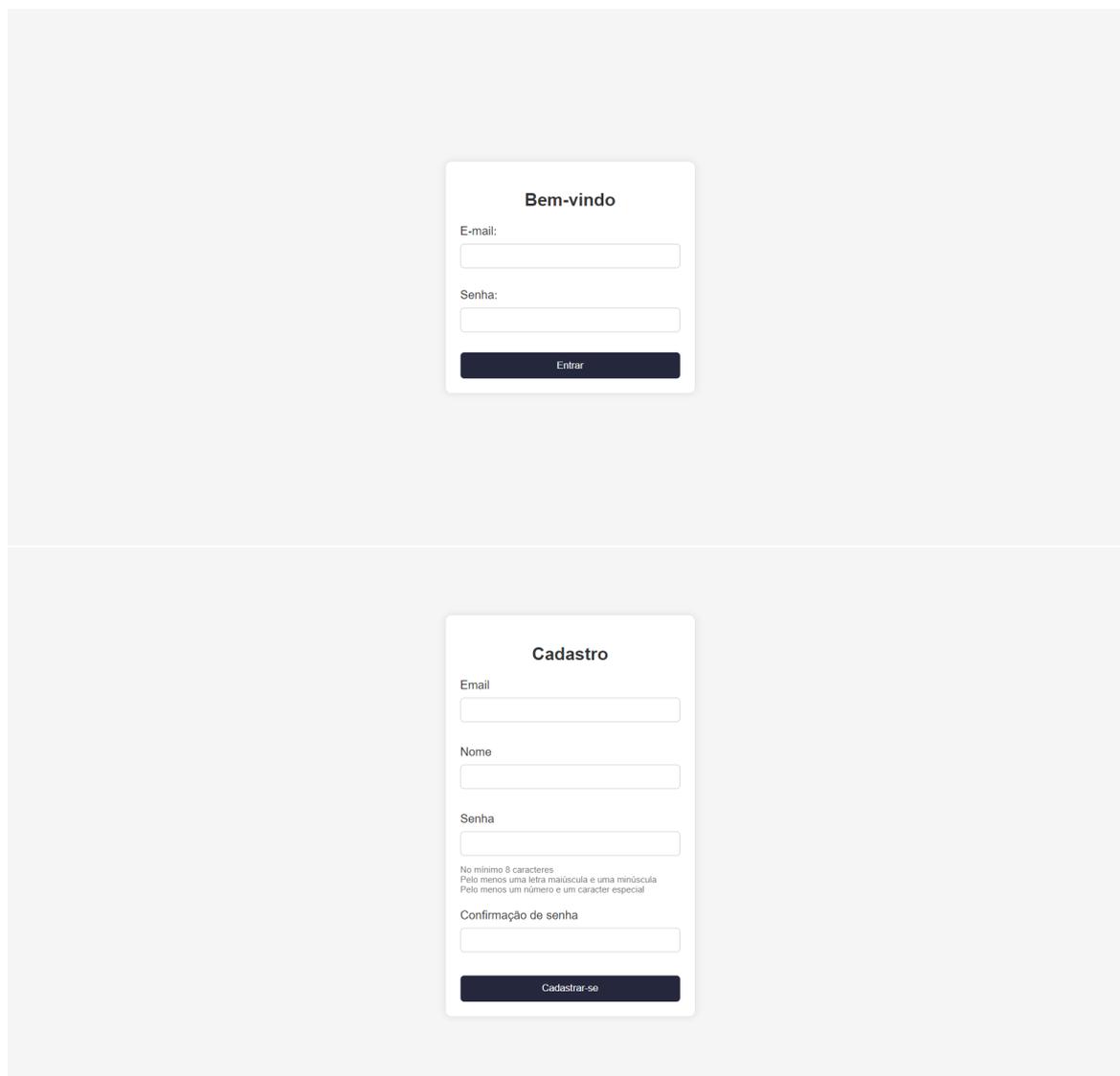
Na Figura 14 e Figura 15 estão ilustradas as páginas de entrada para o aplicativo, nota-se que o cadastro requer apenas o e-mail, o nome e uma senha.

Figura 14 – Página inicial da aplicação



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Figura 15 – Janelas de cadastro e entrada



The figure displays two screenshots of a mobile application interface. The top screenshot, titled "Bem-vindo", shows a login form with fields for "E-mail:" and "Senha:" (Password), and a dark "Entrar" (Login) button. The bottom screenshot, titled "Cadastro", shows a registration form with fields for "Email", "Nome" (Name), "Senha" (Password), and "Confirmação de senha" (Confirm password). Below the password field, there are password requirements: "No mínimo 8 caracteres", "Pelo menos uma letra maiúscula e uma minúscula", and "Pelo menos um número e um caracter especial". A dark "Cadastrar-se" (Register) button is at the bottom.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

A primeira visão do usuário ao entrar no aplicativo está apresentada na Figura 16, nesta página é possível visualizar todos os módulos disponíveis, para este protótipo apenas o “Localizador de Resíduos”.

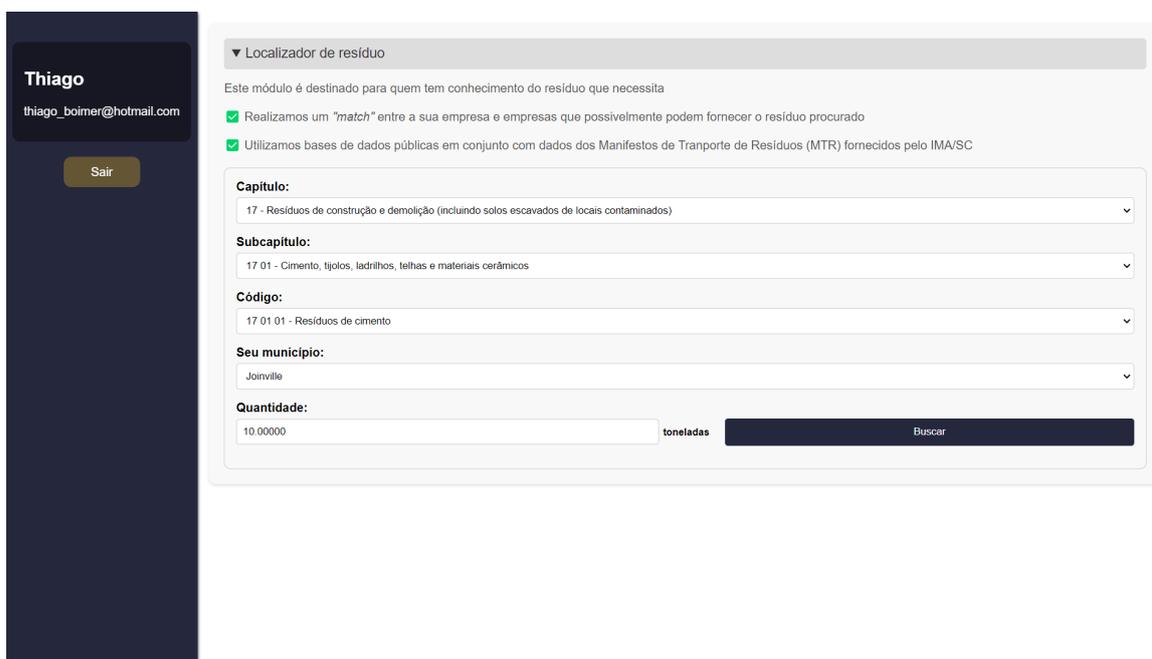
Figura 16 – Página do usuário



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Ao expandir o módulo, podemos observar na Figura 17 uma breve descrição e a estruturação dos campos necessários para a combinação, sendo eles: Capítulo, Subcapítulo e Código do IBAMA, o Município e a quantidade de resíduo necessária.

Figura 17 – Módulo de localização de resíduos

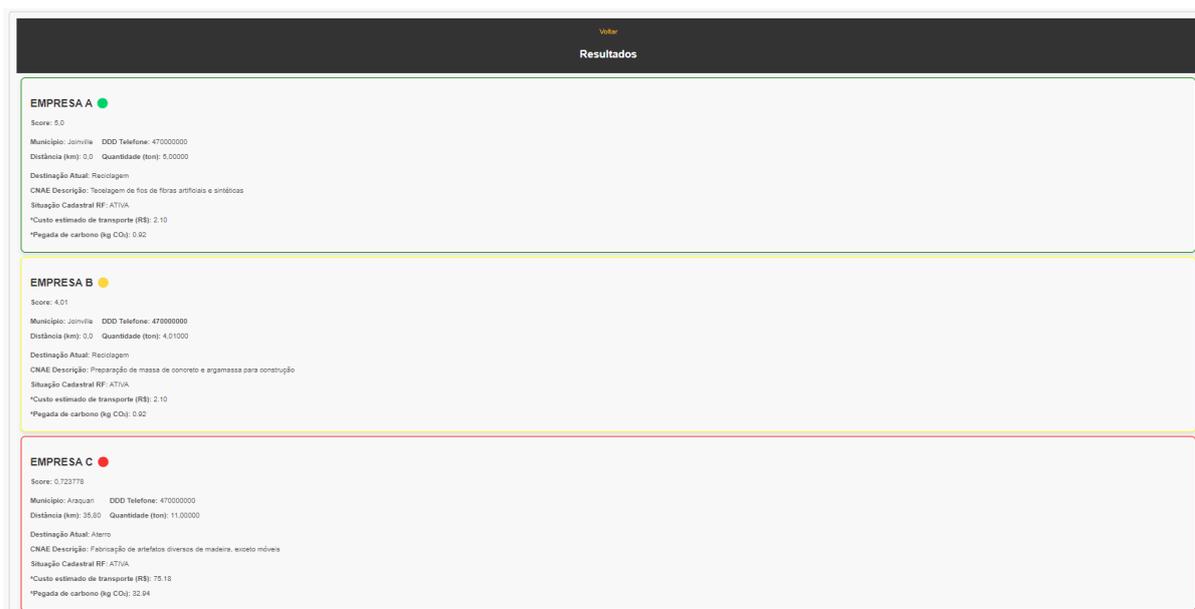


Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Ao finalizar o preenchimento e clicar em buscar, o usuário recebe os resultados em

forma de lista decrescente de empresas de acordo com o respectivo score. Cada empresa contém informações relevantes ao match registradas em uma caixa. As caixas possuem cores para melhorar a visualização do score, o “Verde” representando um candidato recomendado (score de 5 a 10), “Amarelo” parcialmente recomendado (score de 1 a 4) e “Vermelho” pouco ou não recomendado.

Figura 18 – Painel de resultados



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

4.2.1 Limitações

Ainda que esteja funcional, o protótipo possui muitas limitações, algumas citadas abaixo:

- A localização das empresas foi considerada estar no centroide do município, não devido à falta do endereço completo, mas aos recursos disponíveis no IBGE, no ano em que se escreve esse trabalho, apenas a malha de municípios está disponível. Em vista disso, a distância de empresas na mesma cidade do usuário será 0, e o score terá valor máximo se a empresa possuir 80% da quantidade solicitada;
- A distância entre empresas é calculada a partir da melhor rota, contudo o serviço utilizado é gratuito e por isso possui limites de uso, logo se houverem muitas solicitações, o aplicativo deixará de exibir resultados ou simplesmente irá travar;
- Não há paginação nos resultados, logo se houverem 1000 combinações, todas serão exibidas, o que pode causar lentidão no navegador do usuário;

- O score visual não é dinâmico, de modo que uma busca que apresente apenas valores abaixo de 1, por exemplo, sejam considerados não recomendados, quando na verdade, deveriam estar em formato decrescente de recomendação;
- Os dados de MTR compreendem a uma geração de dois anos, logo o dado de quantidade disponível de uma empresa não remete à realidade.

4.2.2 Possíveis adições e melhorias

Além das propostas do Conceito II, podem-se elencar as seguintes melhorias ao aplicativo em questão:

- Aumentar a precisão da localização. Existem outras formas de alcançar uma maior precisão, por métodos simples e pagos ou mais complexos e gratuitos.
- Montar um banco de dados com todas as distâncias das melhores rotas entre cidades de SC, de modo a agilizar a busca e não depender do uso de um serviço externo;
- Criar a paginação dos resultados para melhor performance e interface;
- Desenvolver um score visual que mude dinamicamente com os resultados exibidos;
- Obter dados de MTR numa menor granularidade (mensal, pelo menos) e exibir os resultados de acordo;
- Incluir o mapa com o trajeto até a empresa, o qual está sendo salvo, porém não exibido;
- Adicionar a opção de salvar ou exportar os resultados.

4.3 CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS

4.3.1 Limpeza

Antes de realizar o cruzamento das diferentes fontes de dados — MTR, IBGE e CNPJ —, na base de MTR, foi feita a remoção de registros duplicados e nulos provenientes dos arquivos originais e gerados durante extração dos relatórios PDF.

Também foi feita a remoção de dados com CPF e situação cadastral baixada, pois não se tem publicamente a informação de localização para CPF, e se a situação cadastral não está ativa, provavelmente a empresa não está em funcionamento. Além disso, durante o cruzamento foi observado que algumas empresas estavam com cadastro vinculado a cidades fora do estado, tais empresas foram removidas. Essas ações previnem que erros sejam multiplicados para as próximas etapas e prejudiquem a análise. A tabela resultante tem a estrutura demonstrada na Tabela 1.

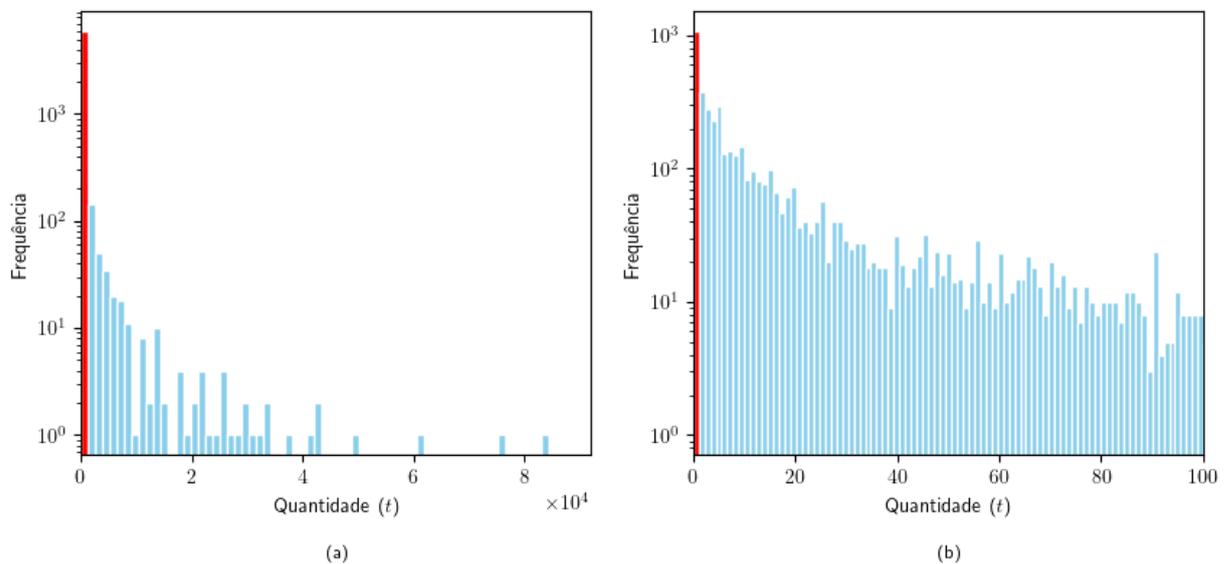
Tabela 1 – Amostra da estrutura de dados pós limpeza.

Razão Social	CNPJ	Código do Resíduo	Destinação	Quantidade (t)
Empresa A	CNPJ A	190805	Tratamento de Efluentes	0,00018
Empresa B	CNPJ B	170202	Reciclagem	0.00020
Empresa C	CNPJ C	200102	Reciclagem	0.00200

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Nos histogramas da Figura 19, podemos observar no gráfico (a) a distribuição da massa de resíduos gerados ao longo de dois anos (2020 a 2021); destacado em vermelho está a faixa de aproximadamente $10\text{ g} - 1000\text{ t}$, a qual abrange a maior parte das empresas geradoras. No gráfico (b) o intervalo em (a) está aumentado e dividido em 1000 vezes, destaca-se a faixa de $10\text{ g} - 1\text{ t}$, e considerando que a massa está dividida no total de dois anos, é provável que durante o ano a geração seja muito pequena, inviabilizando a inserção em etapas de um processo produtivo, então decidiu-se por filtrar quantidades de resíduo inferiores a 500 kg .

Figura 19 – Histograma da geração de resíduos sólidos em SC (2020 e 2021)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

4.3.2 Cruzamento

Esta etapa consiste na ligação entre as bases restantes, através dos dados de CNPJ podemos identificar a localização da empresa no Portal de Dados Abertos, e com essa informação obtém-se as coordenadas geográficas do município através dos dados do IBGE. Dessa forma, temos todas as variáveis necessárias para listar as empresas que podem atuar

como fornecedoras da matéria-prima que outra empresa deseja; a tabela final para realizar a conexão entre as empresas está amostrada na Tabela 2.

Tabela 2 – Amostra da estrutura de dados pós cruzamento.

Razão Social	CNPJ	CNAE	Município	Longitude	Latitude	Código do Resíduo	Destinação	Quantidade (t)
Empresa A	CNPJ A	Fabricação de esquadrias de metal	Joinville	-26.2443	-48.9514	190805	Tratamento de Efluentes	0,00018
Empresa B	CNPJ B	Fundição de ferro e aço	Criciúma	-28.7157	-49.3797	170202	Reciclagem	0.00020
Empresa C	CNPJ C	Laboratórios clínicos	Florianópolis	-27.5788	-48.5091	200102	Reciclagem	0.00200

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

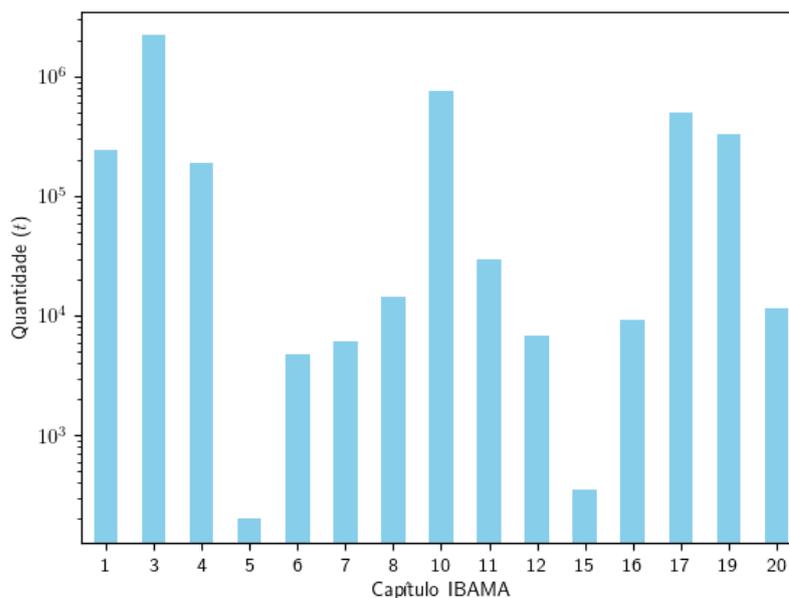
4.4 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

No momento em que se escreve esse relatório, não se encontram informações disponíveis publicamente sobre os MTRs, logo considera-se válido realizar uma análise para se obter um panorama geral da Geração e Destinação de RSIs em SC.

4.4.1 Geração

Dentre os 877 resíduos da classificação do IBAMA, de acordo com os relatórios de MTR, 135 estão em circulação no estado. Na Figura 20, mostra-se a distribuição da quantidade t de geração de resíduos sólidos por capítulo, na Tabela 5 do Anexo A — Classificação de Resíduos Sólidos por Capítulos do IBAMA, tem-se a referência para a descrição dos Capítulos.

Figura 20 – Geração de resíduos sólidos classificados por capítulo em SC (2020 e 2021)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Os capítulos com maiores gerações são os 3, 10, 17, 19, 1 e 4, em ordem decrescente de quantidade, correspondendo acerca de 90% da massa de resíduos gerada em dois anos. Na Tabela 3 estão representados os resíduos com maior geração por capítulo.

Tabela 3 – Resíduos sólidos predominantes por capítulo

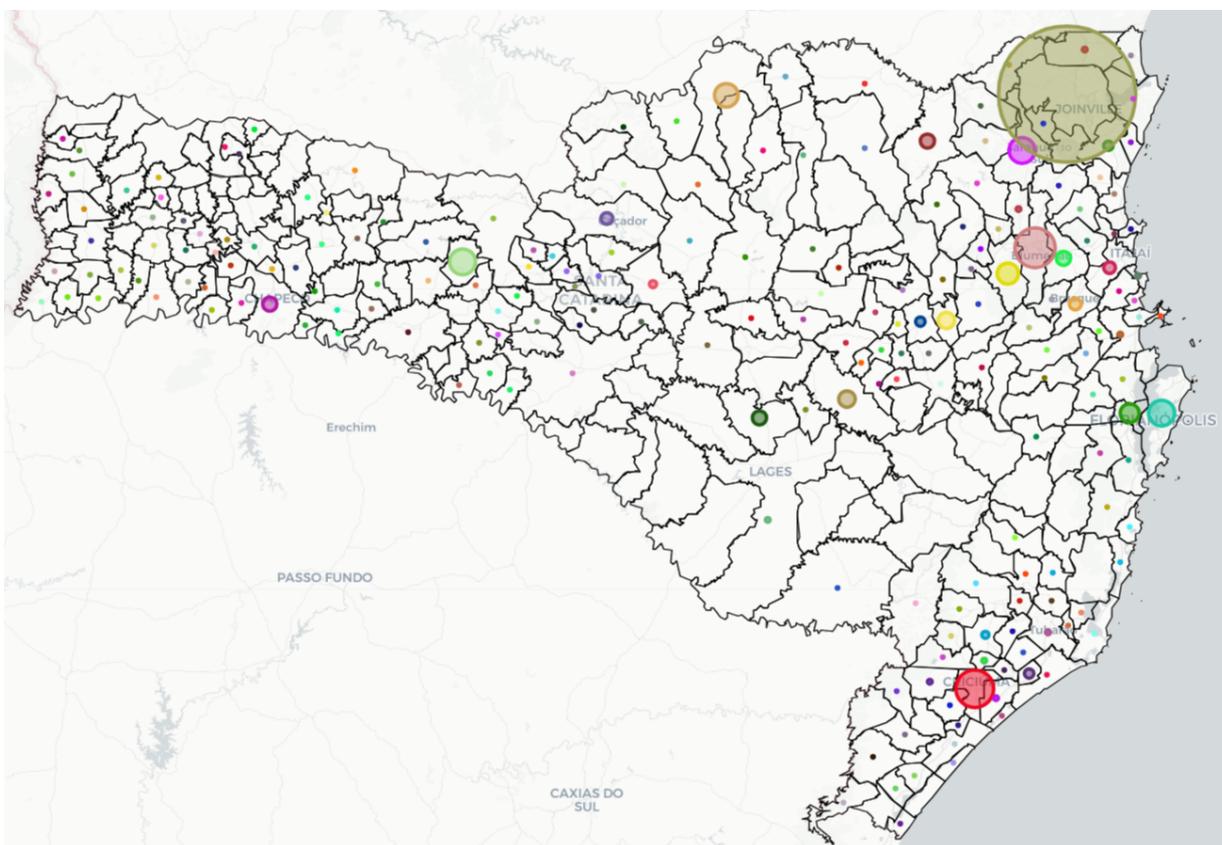
Capítulo	Descrição Capítulo	Código Resíduo	Descrição Resíduo	Qtd (t) 10 ³
3	Resíduos do processamento de madeira e da fabricação de painéis, mobiliário, papel e celulose	030308	Resíduos da triagem de papel e papelão destinado a reciclagem	513
1	Resíduos da prospecção e exploração de minas e pedreiras, bem como de tratamentos físicos e químicos das matérias extraídas	010409	Areias e argilas	226
17	Resíduos de construção e demolição (incluindo solos escavados de locais contaminados)	170504	Solos e rochas não abrangidos em 17 05 03	196
10	Resíduos de processos térmicos	100101	Cinzas, escórias e poeiras de caldeiras (excluída as poeiras de caldeiras abrangidas em 10 01 04)	152
19	Resíduos de instalações de gestão de resíduos, de estações de tratamento de águas residuais e da preparação de água para consumo humano e água para consumo industrial	190805	Lodos do tratamento de efluentes urbanos	139
4	Resíduos da indústria do couro e produtos de couro e da indústria têxtil	040215	Resíduos dos acabamentos não abrangidos em 04 02	86

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Na Figura 21, pode-se ter uma visão macro da geração de resíduos por município em SC. Por questões estéticas nem todos nomes estão exibidos, porém é possível acessar o mapa de forma interativa no site: <https://residuose.tech/mapa-geracao-sc>. A Tabela 4 lista os municípios com geração acima de 50 mil toneladas.

É notável o destaque para o município de Joinville, com 5% da geração de resíduos sólidos do estado, sendo 65% dos resíduos: 170504 - Solos e rochas não abrangidos em 17 05 03³. (167 mil t), 010409 - Areias e argilas (118 mil t), 100903 - Escórias do forno (88 mil t).

Figura 21 – Mapa da geração de resíduos sólidos por município



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

³ 17 05 03 - (*) Solos e rochas contendo outras substâncias perigosas

Tabela 4 – Geração de resíduos sólidos superior a 50 mil *t* por município

Município	Quantidade (<i>t</i>) 10³
Joinville	581,41
Blumenau	165,89
Criciúma	158,95
Jaraguá do Sul	114,99
Florianópolis	111,45
Vargem Bonita	106,61
Canoinhas	99,73
Indaial	91,13
São José	79,10
Guaramirim	77,14
Lontras	66,93
Otaclio Costa	66,57
Rio Negrinho	63,10
Chapecó	61,98
Gaspar	61,19
Correia Pinto	58,74
Itajaí	52,52
Brusque	51,43

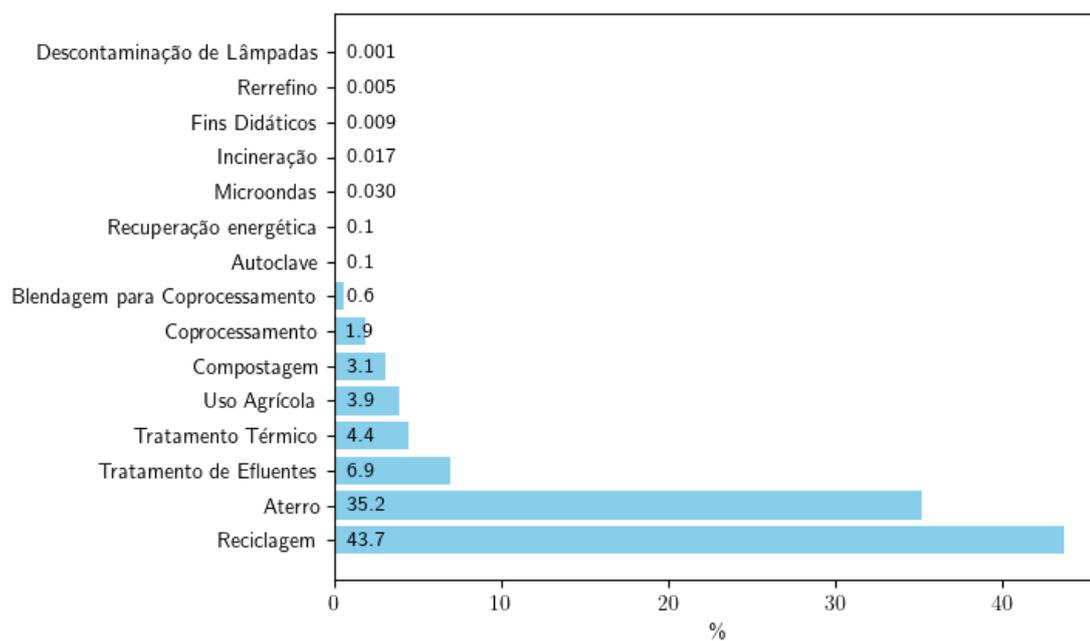
Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

4.4.2 Destinação

Com base nos dados de geração, uma vez que o capítulo 03 (Resíduos do processamento de madeira e da fabricação de painéis, mobiliário, papel e celulose) é o predominante no estado, espera-se que a destinação mais praticada seja a de Reciclagem, conforme ilustrado na Figura 22, deste valor 45% é proveniente do cap. 03, 24% do 17 e 22% do 10. Para o Aterro, representando 35% da destinação de resíduos, tem-se 25% do cap. 10, 17% do 01 e 19, 16% do 17 e 13% do 03.

Considerando que o rastreamento de MTRs está sendo efetivo, podemos pontuar que ainda que seja expressiva a destinação tradicional para aterro, SC tem explorado as tecnologias alternativas de destinação de resíduos, como podemos ver a utilização de Tratamento Térmico, Uso Agrícola, Coprocessamento e Compostagem. Diante disso, mostra-se um perfil de mercado que, possuindo uma ferramenta que auxilie as indústrias a encontrarem possíveis matérias-primas no meio de tantos resíduos, tem potencial para prover um retorno econômico e ambiental para o estado.

Figura 22 – Destinação de resíduos sólidos por tecnologia



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

5 CONCLUSÃO

No decorrer deste trabalho, entendeu-se que nos últimos 10 anos o poder público investiu em instrumentos que coletam informações sobre resíduos industriais, como o RAPP, o Inventário de Resíduos Sólidos Industriais, as Declarações Anuais de Resíduos Sólidos, o programa Lixão Zero, o desenvolvimento do SINIR com intuito de agregar todos esses dados, e então o sistema MTR.

Diante disso, a concepção de um produto voltado ao aproveitamento de resíduos sólidos possui inúmeros desafios, pois para alcançar às necessidades de um mercado cada vez mais acelerado as informações devem estar claras, breves e concisas. Nesse sentido, a adoção do MTR como base para o sistema aqui discutido prevê que maiores esforços sejam colocados pelos governos estaduais para a disseminação do preenchimento responsável dos manifestos, a acessibilidade dos dados para todos e o estímulo ao empreendedorismo dentro deste mercado.

A proposta do aplicativo web, nomeado “Residuose”, abrangiu dois conceitos, o primeiro para se ter um protótipo funcional disponível para conhecer as dificuldades relacionadas a construção de um sistema desse tipo. Já o segundo foi o resultado do amadurecimento de ideias e expectativas anteriores ao desenvolvimento, considerando-se como uma próxima etapa, mas que ainda depende de maior disponibilidade de acesso aos dados de MTR, recursos financeiros, pessoas capacitadas e tempo para o trabalho. De qualquer forma, viu-se através da análise dos dados a existência de uma preocupação notável em SC com a destinação dos resíduos, o que é um indicativo de que um sistema facilitador e incremental às indústrias seja bem-vindo. Para futuros trabalhos, sugere-se:

- A elaboração de pesquisas direcionadas à caracterização de resíduos sólidos de acordo com as classificações do IBAMA, para que se tenham maiores informações sobre o material, tornando-o mais visível para empresas interessadas;
- O estudo da utilização de LLMs no âmbito da Ciência de Materiais para o levantamento, através de artigos acadêmicos, dos potenciais resíduos substitutos de matérias-primas na indústria e como eles se relacionam com as classificações existentes de RSIs;
- A busca por fundos de fomento ao empreendedorismo acadêmico para que o projeto tenha recursos, orientação empresarial, levando à capacidade de crescimento das pessoas envolvidas e do produto;
- Um melhor alinhamento com o IMA/SC para obtenção de dados numa menor granularidade e com maior riqueza de informações;
- Um estudo de caso de uma combinação entre duas empresas para que o aplicativo lide com uma situação real revelando problemáticas não abordadas neste documento.

REFERÊNCIAS

ABNT. **ABNT NBR 10004:2004 Resíduos sólidos - Classificação.** [*S.l.: s.n.*], 2004. Disponível em: <https://www.abntcolegao.com.br/normavw.aspx?Q=T0pJNTgyRndVYVcwS1FFSy91R1RVaGRYN3JCZGJGcTE=>. Acesso em: 24 nov. 2023.

ABREN. **ABREN.** pt-BR. [*S.l.: s.n.*], mai. 2021. Disponível em: <https://abren.org.br/>. Acesso em: 24 nov. 2023.

BARTHOLOMEU, Daniela Bacchi. **Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras.** BR. [*S.l.: s.n.*], 2006. Disponível em: <https://esalqlog.esalq.usp.br/bartholomeu-d-b-quantificacao-dos-impactos-economicos-e-ambientais-decorrentes-do-estado-de-conservacao-das-rodovias-brasileiras-2006>. Acesso em: 6 dez. 2023.

BRASIL. **DECRETO Nº 10.340, 2020.** [*S.l.: s.n.*], 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Decreto/D10340.htm#art1. Acesso em: 24 nov. 2023.

BRASIL. **DECRETO Nº 10.936, DE 12 DE JANEIRO DE 2022.** [*S.l.: s.n.*], 2022. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D10936.htm. Acesso em: 23 nov. 2023.

_____. **LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010.** pt. [*S.l.: s.n.*], 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.

BRAUNGART, Michael; MCDONOUGH, William. **Cradle to Cradle.** [*S.l.*]: Random House, jan. 2009. Google-Books-ID: 13hfHzBstcEC. ISBN 978-1-4070-2132-4.

CASAN. **ETE - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS.** [*S.l.: s.n.*], 2023. Disponível em: <https://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/ete-estacao-de-tratamento-de-esgotos-sanitarios#0>. Acesso em: 24 nov. 2023.

CASTELLS; MANUEL. **The information age: economy, society, and culture. 1, The rise of the network society.** 2nd ed., with a new pref. [*S.l.*]: Wiley-Blackwell, 2010. ISBN 978-1-4051-9686-4. Disponível em: <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=804717D766310A502A159C4FD7203E4D>. Acesso em: 25 nov. 2023.

CETESB. **Web Service » Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos - SIGOR - Módulo MTR.** pt-BR. [*S.l.: s.n.*], mar. 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/sigor-mtr/web-service/>. Acesso em: 5 dez. 2023.

CNT. **O Transporte Move o Brasil - RESUMO DAS PROPOSTAS DA CNT AO PAÍS**. pt-br. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <https://cnt.org.br/propostas-cnt-transporte>. Acesso em: 6 dez. 2023.

CONAMA. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005**. pt-BR. [S.l.: s.n.], jun. 2005. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=453. Acesso em: 24 nov. 2023.

CREA-SC. **Destino de resíduos sólidos de Santa Catarina é referência no Brasil**. pt-BR. [S.l.: s.n.], mai. 2013. Disponível em: <https://portal.crea-sc.org.br/destino-de-residuos-solidos-de-santa-catarina-e-referencia-no-brasil/>. Acesso em: 23 nov. 2023.

DEUS, Rafael Mattos; BATTISTELLE, Rosane Aparecida Gomes; SILVA, Gustavo Henrique Ribeiro. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 685–698, dez. 2015. ISSN 1413-4152. DOI: 10.1590/S1413-41522015020040129347. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522015000400685&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 23 nov. 2023.

EUROPA. **Directiva 1999/31/CE do Conselho, de 26 de Abril de 1999, relativa à deposição de resíduos em aterros**. pt. v. 182. [S.l.: s.n.], abr. 1999. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/dir/1999/31/oj/por>. Acesso em: 23 nov. 2023.

_____. **Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance)**. en. [S.l.: s.n.], jul. 2008. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/2018-07-05/eng>. Acesso em: 23 nov. 2023.

GRASSELLI, Cristine. Diagnóstico de resíduos sólidos industriais em Santa Catarina a partir de Manifestos de Transporte de Resíduos visando sua reutilização ou reciclagem. *In*: [S.l.: s.n.], 2023.

IBAMA. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 13, DE 18 DE DEZEMBRO DE 2012**. pt-BR. [S.l.: s.n.], 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/residuos/arquivos/ibama-lista-brasileira-de-residuos-solidos.doc>. Acesso em: 24 nov. 2023.

IBGE. **PIA-Empresa | IBGE**. [S.l.: s.n.], 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9042-pesquisa-industrial-anual.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 25 nov. 2023.

INTERAÇÃO, Grupo. **Destinação Final de Resíduos - Grupo Interação - Soluções Ambientais**. pt-BR. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://grupo->

interacao.com/solucoes-para-sua-empresa/destinacao-final-de-residuos/. Acesso em: 24 nov. 2023.

LEITÃO, Alexandra. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. por. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**, v. 1, n. 2, p. 149–171, set. 2015. Accepted: 2016-12-20T17:43:27Z Publisher: Instituto Superior de Entre Douro e Vouga. ISSN 2183-3826. Disponível em: <https://repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/21110>. Acesso em: 26 nov. 2023.

LIMA, José Francisco deB. **Aproveitamento da lama de lavagem do minério de ferro: estudo de caso na Mineração Urucum - Corumbá/MS**. pt-BR. [S.l.: s.n.], 2002. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82774>. Acesso em: 5 dez. 2023.

MMA. **PORTARIA Nº 280, DE 29 DE JUNHO DE 2020**. pt-BR. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou>. Acesso em: 25 nov. 2023.

_____. **Programa Nacional Lixão Zero**. pt-br. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/agendaambientalurbana/lixao-zero/lixao-zero>. Acesso em: 25 nov. 2023.

ONU. **Sustainable Development Goal 9: Indústria, inovação e infraestrutura | As Nações Unidas no Brasil**. pt-br. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/9>. Acesso em: 24 nov. 2023.

RECICLUS. **Legislação | Reciclus**. pt-BR. [S.l.: s.n.], jun. 2023. Disponível em: <https://reciclus.org.br/legislacao/>. Acesso em: 24 nov. 2023.

SANTIAGO, Cristine; PUGLIESI, Erica. Gestão de Resíduos Sólidos no Brasil: histórico, diretrizes nacionais e perspectivas para os municípios. *In*: [S.l.: s.n.], jan. 2016. P. 111–134. ISBN 978-607-8459-30-8.

SINIR. **SINIR+ | Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: <https://sinir.gov.br/>. Acesso em: 24 nov. 2023.

TAYLOR, Ross *et al.* **Galactica: A Large Language Model for Science**. [S.l.]: arXiv, nov. 2022. arXiv:2211.09085 [cs, stat]. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2211.09085>. Acesso em: 5 dez. 2023.

ANEXO A – CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS POR CAPÍTULOS DO IBAMA

De acordo com a Instrução Normativa nº 13 do IBAMA (2012)

Tabela 5 – Classificação de Resíduos Sólidos por Capítulos do IBAMA

Capítulo	Descrição
1	Resíduos da prospecção e exploração de minas e pedreiras, bem como de tratamentos físicos e químicos das matérias extraídas
2	Resíduos da agricultura, horticultura, aquicultura, silvicultura, caça e pesca, e da preparação e processamento de produtos alimentares
3	Resíduos do processamento de madeira e da fabricação de painéis, mobiliário, papel e celulose
4	Resíduos da indústria do couro e produtos de couro e da indústria têxtil
5	Resíduos da refinação de petróleo, da purificação de gás natural e do tratamento pirolítico do carvão
6	Resíduos de processos químicos inorgânicos
7	Resíduos de processos químicos orgânicos
8	Resíduos da fabricação, formulação, distribuição e utilização de revestimentos (tintas, vernizes e esmaltes vítreos), colas, vedantes e tintas de impressão
9	Resíduos da indústria fotográfica
10	Resíduos de processos térmicos
11	Resíduos de tratamentos químicos e revestimentos de metais e outros materiais; resíduos da hidrometalurgia de metais não ferrosos
12	Resíduos da moldagem e do tratamento físico e mecânico de superfície de metais e plásticos
13	Óleos usados e resíduos de combustíveis líquidos (exceto óleos alimentares e capítulos 05, 12 e 19)
14	Resíduos de solventes, fluidos de refrigeração e gases propulsores orgânicos (exceto 07 e 08)
15	Resíduos de embalagens; absorventes, panos de limpeza, materiais filtrantes e vestuário de proteção não anteriormente especificados
16	Resíduos não especificados em outros capítulos desta Lista
17	Resíduos de construção e demolição (incluindo solos escavados de locais contaminados)
18	Resíduos dos serviços de saúde
19	Resíduos de instalações de gestão de resíduos, de estações de tratamento de águas residuais e da preparação de água para consumo humano e água para consumo industrial
20	Resíduos sólidos urbanos e equiparados (resíduos domésticos, do comércio, indústria e serviços), incluindo as frações provenientes da coleta seletiva

Fonte: Elaborado pelo Autor, de acordo com o IBAMA (2012)