

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUIZ FELIPE YUITI KAWAHARA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO
MUNICÍPIO DE TOLEDO, PARANÁ**

CAMPO MOURÃO

2023

LUIZ FELIPE YUITI KAWAHARA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO
MUNICÍPIO DE TOLEDO, PARANÁ**

**Physical characterization of Urban Solid Waste from the municipality of Toledo,
Paraná**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Thiago Morais de Castro

CAMPO MOURÃO

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LUIZ FELIPE YUITI KAWAHARA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO
MUNICÍPIO DE TOLEDO, PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Ambiental da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 14/junho/2023

Vanessa Medeiros Corneli
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Maria Cleide Baldo
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Thiago Morais de Castro
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO
2023

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que faz, fez e ainda fará por mim, por ter me guiado e permitido que chegasse até aqui.

Aos meus pais, Luiz Carlos e Cinthia por terem priorizado meus estudos e não mediram esforços para chegar até onde cheguei.

A minha irmã Isabela, que juntamente com meus pais, me incentivaram e apoiaram a todo momento.

A minha namorada, Stéfany Kiara, que mesmo quando nada estava conforme o planejado, me apoiou, incentivou e ainda me auxiliou no desenvolvimento da parte prática, certamente uma das maiores demonstrações de apoio, pois não foi fácil.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Thiago Morais de Castro pela paciência e conhecimento transmitido. A todos os professores do curso de Engenharia Ambiental pelos ensinamentos.

À Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Toledo - PR pela autorização e apoio de todos os servidores, Maria Veroneze em especial, por ter me ajudado incansavelmente no desenvolvimento prático do trabalho.

A um grupo especial de amigos e familiares, que mesmo em momentos de dificuldades, estiveram presentes e tornaram de alguma maneira para que tudo ocorresse da melhor forma possível, muito obrigado pelo carinho e amizade.

Enfim, a todos os amigos, colegas e aqueles que colaboraram de alguma forma para a realização deste trabalho. A todos que acreditaram em mim, muito obrigado!

RESUMO

Este trabalho objetivou caracterizar fisicamente os resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados no município de Toledo, Paraná. Foram realizados trabalhos práticos a fim de descrever o atual sistema de coleta, transporte e destinação final dos resíduos. Após isso, estes foram caracterizados quanto a composição gravimétrica, geração *per capita*, densidade e índice de compressividade. Esta caracterização é fundamental para o planejamento e otimização dos recursos utilizados pela administração pública na gestão e gerenciamento da limpeza urbana. Para a obtenção de dados necessários para o estudo, foi realizado o monitoramento entre os meses de janeiro de 2022 a abril de 2022, a fim de realizar análises quantitativas e qualitativas a partir da técnica do quarteamento dos resíduos gerados em Toledo. Após o monitoramento, foi possível obter a geração *per capita* de RSU do município que resultou em 0,698 kg/(hab.d). Com a caracterização gravimétrica, constatou que 45% dos RSU gerados são classificados como orgânicos, já os resíduos potencialmente recicláveis totalizaram 23,5%, em média, e os rejeitos, cerca de 28%. Em Toledo, o bairro que apresentou maior percentual de geração de orgânicos foi o bairro Centro, com cerca de 52,5%, já os distritos, foram os que apresentaram o menor percentual, 31,0%. A densidade dos RSU foi de 235 kg/m³ antes da compactação e de 436 kg/m³ após a compactação e a compressividade indicou um índice de 1/1,85. Os resultados obtidos possibilitarão estudos futuros de viabilidade econômica para instalações de usinas de reciclagem, compostagem, além de subsidiar a atualização do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) e no dimensionamento da frota de veículos e equipe atuante nos serviços de limpeza urbana.

Palavras-chave: compressividade; densidade de RSU; geração *per capita*; gerenciamento de resíduos.

ABSTRACT

This research aimed to physically characterize the urban solid waste (MSW) generated in the city of Toledo, Paraná. Field work was carried out in order to describe the current system of collection, transport and final destination of waste. After that, these were characterized in terms of gravimetric composition, *per capita* generation, density and compressibility index. This kind of characterization is fundamental for planning and optimizing the resources used by public administration in the management of urban cleaning. In order to obtain the necessary data for the study, was performed the monitoring between the months of January 2022 and April 2022, as a way to carry out quantitative and qualitative analyzes based on the technique of quartering the waste generated in Toledo. After monitoring, it was possible to obtain the municipality *per capita* generation of MSW, which resulted in 0,698 kg/(inhab.d). With the gravimetric characterization, it was found that 45% of the MSW generated are classified as organic, while potentially recyclable waste totaled 23.5%, on average, and rejects, around 28%. In Toledo, the neighborhood which presented the highest percentage of organic generation was the downtown, with about 52.5%, while the districts were the ones with the lowest percentage, 31.0%. The density of MSW was 235 kg/m³ before compaction and 436 kg/m³ after compaction and the compressibility indicated an index of 1/1,85. The results obtained will enable future studies of economic viability for installations of recycling plants, composting, in addition to subsidizing the update of the Municipal Plan for Integrated Solid Waste Management (MPISWM) and the sizing of the fleet of vehicles and staff working in urban cleaning services.

Keywords: compressibility; MSW density; generation *per capita*; Waste management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de processo e balanço de massa dos resíduos sólidos urbanos	26
Figura 2 – Exemplo da estrutura presente em um Aterro Sanitário	27
Figura 3 – Mapa de localização do município de Toledo, Paraná	28
Figura 4 – Etapas do processo de quarteamento para a composição gravimétrica dos RSU	33

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Vista lateral do caminhão compactador coletor dos RSU	29
Fotografia 2 – Caminhão de coleta de RSU sendo pesado na balança rodoviária	30
Fotografia 3 – Amostras de RSU dispostos sobre lona durante o quarteamento	31
Fotografia 4 – Ferramentas utilizadas para homogeneizar a amostra durante o quarteamento	32
Fotografia 5 – Ferramenta utilizada para homogeneizar a amostra durante o quarteamento	32
Fotografia 6 – Processo de quarteamento dos RSU gerados em Toledo.	33
Fotografia 7 – Balança paleteira	34
Fotografia 8 – Recipientes utilizados durante o estudo para obtenção da densidade dos RSU	35
Fotografia 9 – Vista aérea do atual aterro sanitário do município de Toledo.	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Geração de RSU no Brasil	21
Gráfico 2 – Geração de RSU no Brasil por região	21
Gráfico 3 – Geração <i>per capita</i> mensal de RSU em Toledo em 2022.....	40
Gráfico 4 – Geração <i>per capita</i> de resíduos potencialmente recicláveis em Toledo em 2022	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dias de coleta pública de rejeitos e resíduos orgânicos conforme bairros atendidos no município de Toledo	36
Quadro 2 – Dias de coleta de resíduos recicláveis em função dos bairros atendidos no município de Toledo	39
Quadro 3 – Taxa de geração <i>per capita</i> de RSU, por faixa populacional, adotada para a população urbana dos municípios paranaenses	40
Quadro 4 – Composição de RSU estimada para o estado do Paraná	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição grávimétrica dos RSU do município de Toledo em 2022	41
Tabela 2 – Composição da comparação gravimétrica de Toledo com outros municípios do estado do Paraná	43
Tabela 3 – Massas das amostras de RSU, com e sem compactação, do município de Toledo, utilizadas para os cálculos de densidade.....	44
Tabela 4 – Densidade dos RSU, com e sem compactação, do município de Toledo	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Normas Brasileiras
PERS-PR	Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCC	Resíduos de Construção Civil
RSS	Resíduos Sólidos de Saúde
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3 JUSTIFICATIVA.....	17
4 REVISÃO DE LITERATURA	18
4.1 Resíduos Sólidos Urbanos.....	18
4.2 A gestão e o gerenciamento de RSU	19
5 METODOLOGIA	28
5.1 Área de estudo	28
5.2 Descrição do atual sistema de coleta de RSU	28
5.3 Caracterização quantitativa dos RSU	29
5.4 Caracterização qualitativa dos RSU	30
5.5 Determinação da densidade e da compressividade dos RSU.....	34
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
6.1 Sistema atual de coleta, transporte e disposição final dos RSU de Toledo, Paraná	36
6.2 Caracterização quantitativa dos RSU	39
6.3 Caracterização qualitativa dos RSU	41
6.4 Determinação da densidade e compressividade dos RSU.....	44
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

A geração dos resíduos sólidos e consequente destinação inadequada dos mesmos são considerados um dos principais problemas das sociedades atuais, principalmente em áreas urbanas (IACIA, 2014). A preocupação com a geração e o destino dos resíduos sólidos não é recente. Existe a tendência de haver uma geração de volume de resíduos sólidos cada vez maior com o aumento de consumo de produtos e o gerenciamento inadequado dos materiais (KUHN *et al.*, 2018).

Segundo Cherubini (2008), diversos resíduos sólidos possuem potencial para serem reciclados ou até mesmo reaproveitados, como diversos papéis, plásticos, metais, vidros, alumínio, papelões, entre outros.

Por sua natureza heterogênea, os resíduos sólidos podem causar impactos sanitário, ambiental, econômico e estético durante seu ciclo de vida, principalmente em sua etapa de destinação final, podendo causar poluição do ar, do solo, do lençol freático e dos ecossistemas em geral (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Em relação os resíduos sólidos urbanos (RSU) de acordo com Soares (2011), para instituir os melhores procedimentos para coleta, transporte, tratamento e destinação final, é fundamental conhecer as características dos mesmos. A gestão e o gerenciamento são instrumentos importantes para que os possíveis impactos ambientais causados pelos RSU sejam cada vez menores.

Segundo Poli *et al.* (2014), foi criado um importante mecanismo que trata dos resíduos sólidos no Brasil, a Lei Federal nº 12.305 de 2010 (BRASIL, 2010), que estabelece as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos e refere-se a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Um dos instrumentos da PNRS é a logística reversa, que busca implementar o princípio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Diante disso, diversos setores devem planejar ações para a realização de sistemas de logística reversa de produtos e embalagens após o consumo, no intuito de priorizar seu retorno para um novo ciclo de aproveitamento. Além disso, no art. 9º da PNRS está expressa que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

A composição gravimétrica dos RSU, entre outras características físicas, difere de uma região para outra, de acordo com o local da fonte geradora, sazonalidade, estilo de vida, parâmetros socioeconômicos, ainda apontam os parâmetros que são eficazes nas tomadas de decisões sobre gestão de resíduos sólidos (OZCAN *et al.*, 2016). A caracterização é de suma importância para subsidiar de forma eficiente, planos de gestão dos RSU, elaboração de novos projetos tendo em vista a otimização do gerenciamento pela administração pública.

O presente trabalho teve como objetivo geral caracterizar fisicamente os resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados no município de Toledo, Paraná, quanto a composição gravimétrica, geração *per capita*, densidade e índice de compressibilidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar a caracterização física dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados no município de Toledo, Paraná, quanto a composição gravimétrica, geração *per capita*, densidade e índice de compressibilidade.

2.2 Objetivos específicos

- Compreender e apresentar as principais informações relacionadas ao atual sistema de coleta, transporte e disposição final dos RSU adotado no município de Toledo, Paraná;
- Determinar os dados quantitativos referentes à geração *per capita* e a composição gravimétrica dos RSU gerados no município de Toledo, Paraná, comparando bairros e distritos do município com características socioeconômicas diferentes;
- Determinar a densidade e o índice de compressibilidade dos RSU gerados no município de Toledo, Paraná.

3 JUSTIFICATIVA

Segundo Abrelpe (2022), a quantidade de RSU disposta em aterro sanitário no Brasil aumentou quase 13 milhões de toneladas entre 2010 e 2022, de 33 milhões para 46 milhões de toneladas por ano, entretanto, houve aumento significativo também na disposição final inadequada, passando de 25 milhões de toneladas para 30 milhões de toneladas por ano no mesmo período (2010 a 2022).

Ainda de acordo com Abrelpe (2022), na região Sul do Brasil, houve uma ligeira melhora na porcentagem dos RSU que foram destinados adequadamente, em 2010 era 69,1% e em 2022 foi para 71,2% dos resíduos dispostos em aterro sanitário.

O Ministério do Desenvolvimento Regional destaca que no ano de 2019, a média *per capita* de coleta de resíduos no país foi de 361,4 kg/(hab.ano), e a razão entre o “valor médio da massa *per capita* coletada seletivamente” foi igual a 13,5 kg/(hab.ano), representando somente 3,74% de todo resíduo disponibilizado para a coleta (BRASIL, 2019).

Em função da crescente geração de resíduos sólidos, nota-se uma necessidade de muitos avanços a serem feitos em relação a conscientização, ao consumismo e ao gerenciamento adequado dos resíduos. Devido ao crescimento populacional nos últimos anos e o conseqüentemente aumento da geração dos resíduos sólidos, é de suma importância estudos contínuos para possíveis ampliações ou adequações relacionadas ao sistema de coleta, transporte e destinação final de RSU.

Por meio de dados obtidos na caracterização física dos RSU poderão ser obtidas informações que apontem possíveis adequações ou melhorias relacionadas ao manejo dos RSU, com foco voltado, principalmente, à educação ambiental, à reciclagem, ao possível aproveitamento energético e a compostagem de boa parte dos resíduos, e dispendo em aterros sanitários somente os rejeitos.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Resíduos Sólidos Urbanos

A Lei Federal nº. 12.305, de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010a, p. 3), que determina a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em seu artigo 3º, inciso XVI, define resíduos sólidos como:

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

Já a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da NBR 10.004 (2004, p.1) define que:

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

Os resíduos sólidos podem ser classificados de várias formas, quanto à origem ou natureza, quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente, entre outras (FIRMEZA, 2005). De acordo com a NBR 10.004 da ABNT (2004) os resíduos são classificados por seus riscos potenciais de contaminação do meio ambiente em:

- Classe I ou Perigosos: aqueles que, apresentam periculosidade, que em função de suas características intrínsecas podem apresentar risco a saúde pública ou ao meio ambiente, bem como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
- Classe II A ou Não-Inertes: aqueles que não se enquadram nas classificações entre os resíduos perigosos e inertes, e podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade.

- Classe II B ou Inerte: quaisquer resíduos que entre em contato com a água à temperatura ambiente que não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

4.2 A gestão e o gerenciamento de RSU

Os resíduos gerados aumentaram significativamente junto com o desenvolvimento econômico e industrial, e para minimizar esse problema, é necessário que esses resíduos sejam introduzidos novamente na cadeia de produção na forma de matéria-prima. As políticas de gerenciamento dos resíduos sólidos são de extrema importância para melhorar a qualidade de vida da população e para as cidades crescerem de forma sustentável (SOARES, 2011).

Segundo Ministério do Meio Ambiente (2012), um dos objetivos fundamentais da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que deixou de ser voluntária e passou a ser obrigatória a ordem de prioridade para a gestão dos resíduos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

No Brasil, a responsabilidade de coleta e disposição final do RSU é do município. Isto ocasiona conflitos de interesse político entre os governantes, principalmente quando uma cidade não possui espaço suficiente e precisa realizar disposição final em outra cidade da região (PIMENTEIRA, 2010). Muitas cidades de médio e grande porte terceirizam os serviços de limpeza urbana, até então executados pelas administrações municipais. As empresas contratadas passam a prestar serviços com os seus próprios equipamentos e funcionários, desde a coleta, a limpeza de logradouros, o tratamento e a destinação final dos resíduos. Uma pequena parcela das prefeituras de pequeno e médio porte estão contratando serviços da limpeza urbana com cooperativas ou microempresas, contribuindo também na geração de renda para pessoas de baixa qualificação técnica e escolar (IBAM, 2001).

As principais etapas de um gerenciamento de resíduos são a caracterização, acondicionamento, coleta e transporte, segregação e tratamento (GASQUES, 2013).

4.2.1 Caracterização dos RSU

Cada localidade possui características próprias em relação aos resíduos sólidos gerados, por vários motivos, em função de aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos, ou seja, os mesmos fatores que também diferenciam as comunidades entre si e as próprias cidades (IBAM, 2001).

Segundo Consoni *et al.* (2010), a gestão e o gerenciamento devem começar pela caracterização dos RSU, diante disso vários fatores influenciam neste aspecto:

- número de habitantes do município;
- poder aquisitivo da população;
- condições climáticas;
- hábitos e costumes da população;
- nível educacional.

Biodegradabilidade, densidade, composição gravimétrica, grau de compressibilidade, umidade e poder calorífico são características dos resíduos sólidos importantes de se conhecer quanto da definição dos procedimentos do tipo de coleta e de disposição final. A diferença das características dos resíduos verifica-se entre os municípios e os seus bairros, bem como em diferentes períodos do ano (CHERUBINI, 2008).

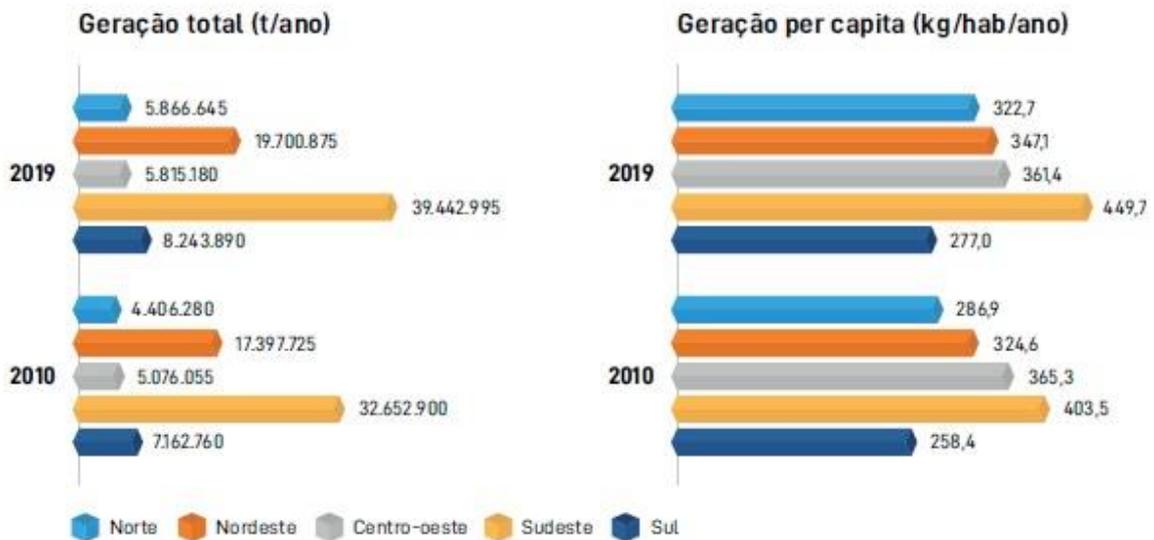
De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020), entre 2010 e 2019, a geração de resíduos sólidos urbanos aumentou significativamente no Brasil, dos 67 milhões passou para 79 milhões de toneladas por ano. Entretanto a geração *per capita* teve aumento de 31 kg/ano, passando de 348 kg/ano para 379 kg/ano (Gráfico 1). Na região Sul, houve um aumento na geração *per capita* de 18,6 kg/ano, porém foi abaixo da média nacional, 258,4 kg/ano em 2010 e 449,7 kg/ano em 2019 (Gráfico 2).

Gráfico 1 – Geração de RSU no Brasil
 Geração total (t/ano) Geração per capita (kg/hab/ano)



Fonte: Abrelpe (2020)

Gráfico 2 – Geração de RSU no Brasil por região



Fonte: Abrelpe (2020)

4.2.2 Acondicionamento

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1993) a definição de acondicionamento é o ato de preparar os RSU para o transporte. Nessa etapa a população tem um papel determinante na forma do seu resíduo ser acondicionado e armazenado adequadamente, para evitar acidentes, proliferação de

vetores, minimizar o impacto visual, o mal odor, reduzir a heterogeneidade dos resíduos (no caso de haver coleta seletiva) e facilitar a coleta do resíduo.

Segundo a classificação de Parra *et al.* (2018), os coletores urbanos podem ser pequenos e médios, grandes e para coleta seletiva. Os coletores pequenos podem ser fixos ou móveis, não podem permitir o vazamento, mas deve haver um compartimento que facilite a lavagem, deve ser discreta esteticamente por permanecer em áreas públicas e ter em quantidades que facilitem o uso. Já os coletores grandes, são chamados também de coletores comunitários, por ter a finalidade de uso coletivo, devem permanecer perto de conjuntos habitacionais e próximos ao percurso do caminhão coletor. Finalizando, os coletores de coleta seletiva podem dividir em três coletores diferentes, os orgânicos, não recicláveis e recicláveis, ou ainda, separados por matérias, onde cada um possui uma cor para sinalizar o resíduo, entre tanto essa última forma é menos eficiente e mais custoso.

Para facilitar a segregação dos resíduos recicláveis, o Ministério do Meio Ambiente, através da resolução CONAMA nº 275 de 25 de maio de 2001 (CONAMA 2001) estabeleceu o código de cores para os diferentes tipos de materiais e determinou que municípios, estados, órgãos federais e entidades paraestatais devem seguir o padrão. E recomendou a empresas privadas, cooperativas, organizações não-governamentais a adotarem o padrão de cores.

4.2.3 Coleta e transporte

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1993), por meio da NBR 12.980/93 classifica os diferentes tipos e define as atividades de coleta em:

- Coleta ambulatorial: coleta regular dos resíduos produzidos nas farmácias, centros de saúde, laboratórios, ambulatórios, clínicas veterinárias e estabelecimentos congêneres, executada por veículos apropriados.
- Coleta domiciliar: coleta dos resíduos domiciliares, formado por resíduos gerados em residências e estabelecimentos comerciais, industriais, públicos e de prestação de serviços, cujos volumes e características sejam compatíveis com a legislação municipal vigente.
- Coleta especial: coleta destinada a remover e transportar resíduos especiais não recolhidos pela coleta regular, em virtude de suas características

próprias, tais como: origem, volume, peso e quantidade. Enquadram-se neste caso: móveis velhos; monturos; restos de limpeza e de poda de canteiros, praças e jardins; entulhos; animais mortos de pequeno, médio e grande porte e similares.

- Coleta hospitalar externa: coleta dos resíduos de serviços de saúde gerados em estabelecimentos hospitalares. Esta coleta é executada por veículos exclusivos, de forma a não ocorrerem problemas de espalhamento de resíduos e derramamento de líquidos nas vias públicas ou problemas de contato manual.
- Coleta particular: coleta de qualquer tipo de resíduo sólido urbano pela qual pessoas físicas ou empresas, individualmente ou em grupos limitados, executam-na ou pagam a terceiros para executá-la.
- Coleta de resíduos de feiras, praias e calçadas: coleta regular dos resíduos oriundos da limpeza e varrição de feiras, praias e calçadas.
- Coleta de resíduos com riscos para saúde: coleta regular que remove resíduo proveniente de estabelecimentos que apresentam riscos de contaminação, tais como: presídios, portos, aeroportos internacionais e similares.
- Coleta seletiva: coleta que remove os resíduos previamente separados pelo gerador, tais como: papéis, latas, vidros e outros.
- Coleta de varredura: coleta regular dos resíduos oriundos da varrição de vias e logradouros públicos.

Os veículos podem ser divididos em dois tipos, os compactadores, com o equipamento compactador traseiro ou lateral, e o sem compactação, com fechamento por meio de portas corrediças. Deve escolher um tipo de veículo de coleta que tenha o melhor custo/benefício. Deve-se levar em conta a quantidade de população atendida, forma de acondicionamento, condições de acesso e segurança dos prestadores de serviço (PARRA *et al.*, 2018).

4.2.4 Coleta seletiva

Segundo Vilhena (2018), a coleta seletiva dos resíduos sólidos urbanos é um sistema de recolhimento de materiais recicláveis, tais como papéis, plásticos, vidros,

metais e “orgânicos”, previamente separados na fonte geradora. Estes materiais são vendidos às indústrias recicladoras ou aos sucateiros.

Ainda segundo Vilhena (2018), antes de dar início ao projeto que envolve a coleta seletiva e a reciclagem, é de suma importância avaliar qualitativamente e quantitativamente o perfil dos resíduos sólidos gerados em diferentes pontos do município. Esta caracterização permitirá estruturar melhor o projeto de coleta. No Brasil, muitos municípios apresentam características bem distintas ao longo do seu território.

Polzer (2017) indica que possui vantagens e desvantagens na reciclagem dos materiais, dito isso, é importante melhorar os processos de reciclagem, não só em benefício para o meio ambiente, mas também para as sociedades e os fabricantes. Alguns dos benefícios da reciclagem estão relacionados a aspectos econômicos, ambientais e sociais, que têm como objetivos, a economia de matéria-prima, economia de energia, e o desenvolvimento de matérias mais resistentes para serem reaproveitados.

Um aspecto que gera confusão e dúvidas, é a falta de discernimento entre “coleta seletiva” e “triagem/recuperação de materiais recicláveis secos”, enquanto o primeiro é a segregação dos materiais recicláveis do resíduo orgânico na fonte geradora, o segundo é a separação do resíduo comum dos materiais potencialmente recicláveis e destinados à recuperação pelas vias da reutilização ou reciclagem (BRASIL, 2020).

De acordo com o IBAM (2001), entre os processos que envolvem a reciclagem com segregação na fonte geradora, podem ser destacados:

- Coleta seletiva porta a porta: consiste na separação dos resíduos pela população, geralmente dividindo em dois grupos, orgânicos e recicláveis, é o modelo mais utilizado pelos municípios.
- Pontos de entregas voluntárias – PEV: a população deve ir até o local onde está instalado o recipiente e descartar o resíduo separado.
- Cooperativa de catadores: com o apoio do município, consiste na união dos catadores de recicláveis nas ruas, esse método é de grande relevância pois gera emprego e renda, resgate da cidadania dos catadores, em sua maioria moradores de rua, redução das despesas com os programas de reciclagem, redução de despesas com a coleta, transferência e disposição final dos resíduos separados pelos catadores que, portanto, não serão coletados,

transportados e dispostos em aterro pelo sistema de limpeza urbana da cidade. Essa economia pode e deve ser revertida às cooperativas de catadores, não em recursos financeiros, mas em forma de investimentos em infraestrutura (galpões de reciclagem, carrinhos padronizados, prensas, elevadores de fardos, uniformes), de modo a permitir a valorização dos produtos catados no mercado de recicláveis.

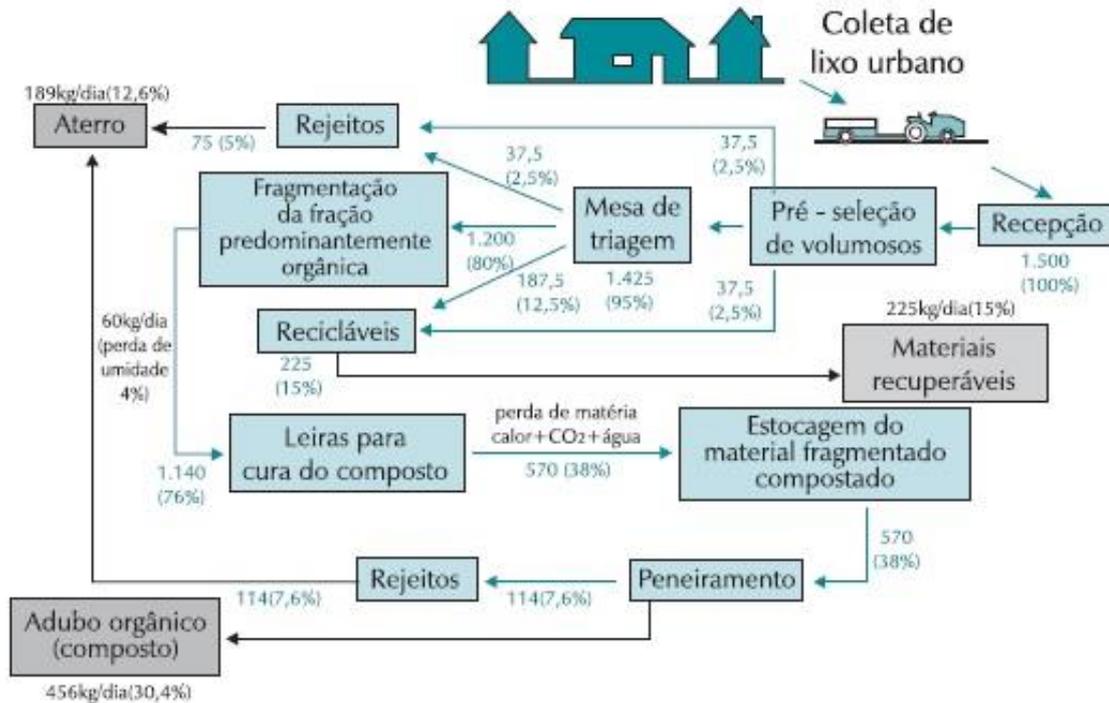
4.2.5 Triagem de Resíduos Sólidos Urbanos

Segundo Lima (2012) deve-se sempre priorizar a não geração e a minimização dos resíduos, bem como o reaproveitamento/reciclagem, deixando para ser tratado somente o que não foi possível de ser contemplado nessas etapas anteriores. Já que mesmo com a destinação final correta dos resíduos eles ainda poluem com a geração de gases e líquidos se não tratados corretamente.

A triagem e o reaproveitamento mais eficazes são os realizados pela população dentro de suas residências, evitando o desperdício e/ou reaproveitando os resíduos, ou se desfazendo dos rejeitos da forma adequada.

O balanço gravimétrico dos RSU após passar pelo processo de uma usina de reciclagem, com uma unidade de compostagem acoplada, em geral mostra o aproveitamento expresso no fluxograma da Figura 1, de uma coleta, onde de 100% do material processado, apenas 12,6% serão transportados aos locais de destino final, desde que haja produção de composto orgânico. Assim mesmo, esse material geralmente é inerte, ou seja, não possui potencial para contaminar o ambiente (IBAM, 2001).

Figura 1 – Fluxograma de processo e balanço de massa dos resíduos sólidos urbanos



Fonte: Manual do gerenciamento integrado de resíduos sólidos (2001)

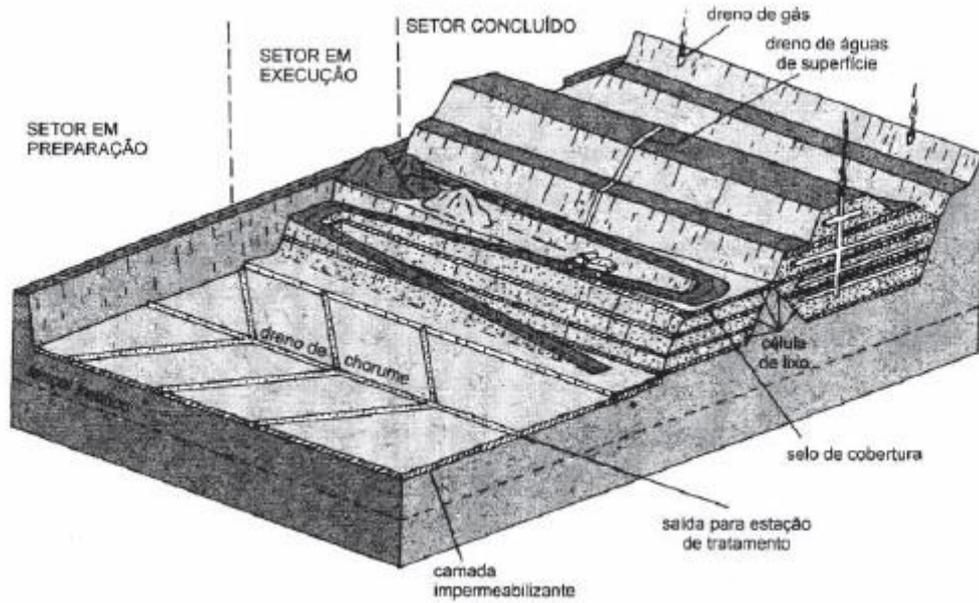
4.2.6 Disposição final

Segundo o IBAM (2001), com o crescimento das cidades, o desafio da limpeza urbana não consiste apenas em coletar os resíduos dos municípios, mas principalmente, em alocar um destino final adequado aos resíduos coletados.

Consoni *et al.* (2018) mostra que geralmente são utilizadas três formas de realizar a disposição final do resíduo sólido urbano, são eles lixão, aterro controlado e aterro sanitário. O primeiro é a forma mais antiga e simples, porém a mais poluidora consiste em dispor o resíduo sem tratamento no solo sem nenhuma cobertura, sem nenhuma medida de proteção a natureza e a saúde pública. Ainda de acordo com o autor, aterro controlado geralmente difere do lixão somente na cobertura das camadas com material inerte, contornando alguns problemas como danos a saúde pública, mas ainda poluindo as águas subterrâneas, é preferível ao lixão, mas devido ao custo de operação e qualidade muito inferior ao terceiro tratamento, o aterro sanitário é o método adequado. Já o aterro sanitário, conforme ilustrado na Figura 2, é um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente RSU que, fundamentado em critérios de engenharia e

normas operacionais específicas, permite um confinamento controlado de poluição ambiental e proteção à saúde pública.

Figura 2 – Exemplo da estrutura presente em um Aterro Sanitário



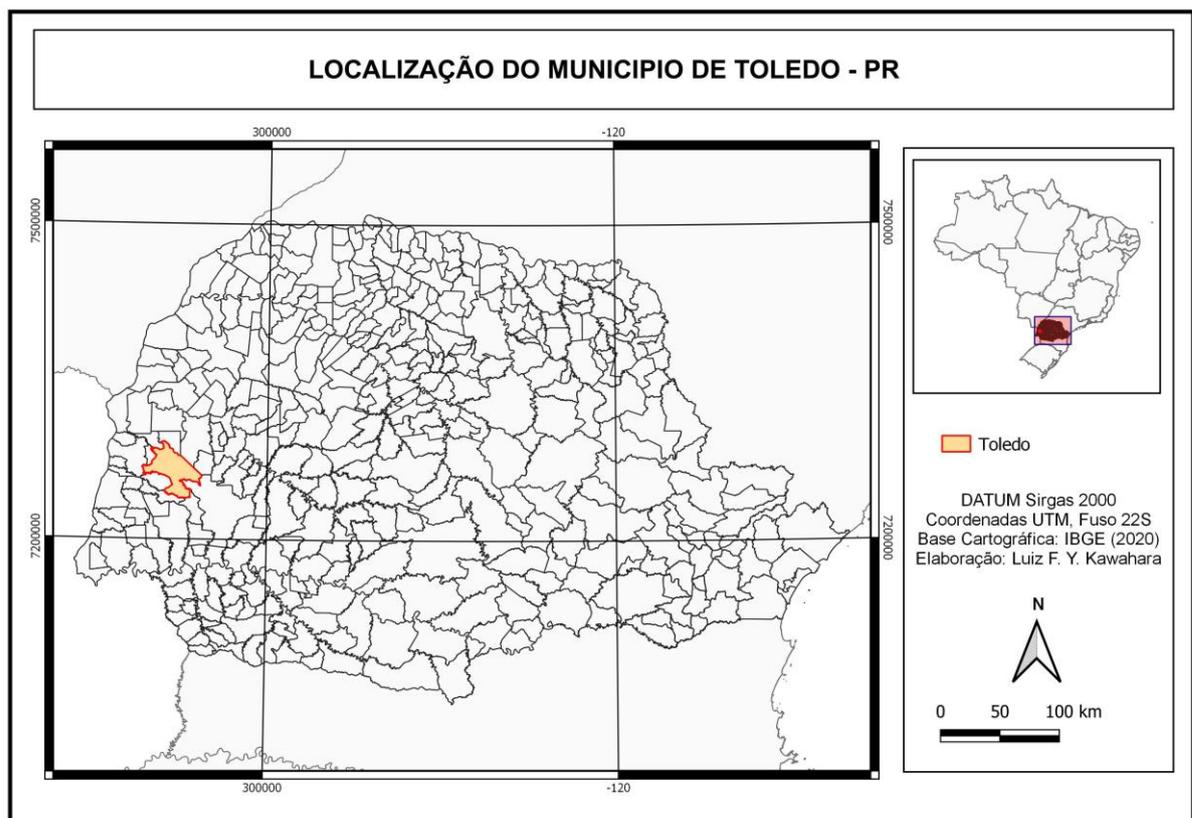
Fonte: Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado (2018)

5 METODOLOGIA

5.1 Área de estudo

A área de estudo em questão refere-se ao município de Toledo (Figura 3) que está situado na região oeste do estado do Paraná, com uma superfície abrangente de 1.198,049 km², com os nove distritos que o município possui, cuja população total é de aproximadamente 144.601 habitantes (IBGE,2021).

Figura 3 – Mapa de localização do município de Toledo, Paraná



. Fonte: Autoria própria (2022)

5.2 Descrição do atual sistema de coleta de RSU

Para a descrição do atual sistema de coleta foram realizadas consultas ao Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), visitas no aterro sanitário a fim de realizar observações *in loco*, além de obter informações junto ao responsável pelo aterro sanitário. Também foram obtidas informações junto

aos colaboradores e responsáveis das empresas que atualmente possuem a concessão do serviço de limpeza urbana em Toledo.

5.3 Caracterização quantitativa dos RSU

Para a caracterização quantitativa dos RSU foram realizadas pesagens dos caminhões compactadores (Fotografia 1) que realizaram coleta e transporte dos RSU no período compreendido entre os meses de janeiro de 2022 a abril de 2022.

Fotografia 1 – Vista lateral do caminhão compactador coletor dos RSU



Fonte: Autoria Própria (2023)

Na Fotografia 2 é possível observar um momento da pesagem de um dos caminhões utilizados para coleta e transporte dos RSU. As pesagens dos caminhões coletores foram feitas em uma balança rodoviária no aterro sanitário do município. Para a obtenção das massas de resíduos foram feitas anotações das diferenças das pesagens dos caminhões carregados e depois vazios.

Fotografia 2 – Caminhão de coleta de RSU sendo pesado na balança rodoviária



Fonte: Autoria Própria (2023)

Para se calcular a geração *per capita* de RSU, os dados quantitativos diários foram divididos pela população total em relação ao serviço de coleta pública do município.

5.4 Caracterização qualitativa dos RSU

Em relação a caracterização qualitativa dos RSU, inicialmente foram realizados trabalhos práticos com o objetivo de obter a composição gravimétrica dos mesmos. As amostras de RSU utilizadas para a composição gravimétrica foram obtidas de segunda-feira a sexta-feira, seguindo um planejamento considerando a logística (roteirização) da coleta e quantidade de veículos coletores.

A composição gravimétrica dos RSU foi realizada inicialmente, de forma separada, em quatro bairros do município de Toledo, selecionadas em função das características e do nível sócio econômico. Os bairros e distritos definidos foram: um bairro considerado de alto nível socioeconômico (Pancera), um bairro considerado de baixo nível socioeconômico (Europa), um bairro central (Centro) e os distritos (Concórdia do Oeste, Dez de Maio, Dois Irmãos, Novo Sarandi, São Luiz do Oeste, São Miguel, Vila Ipiranga, Vila Nova e Novo Sobradinho). Após a obtenção da composição gravimétrica de cada bairro e dos distritos, foi obtida uma composição gravimétrica média para o município, a fim de aproximar o resultado a realidade local.

Para a obtenção da composição gravimétrica foi seguida a norma NBR 10.007/2004, referente à amostragem de resíduos sólidos, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2004), por meio do método do quarteamento (Figura 4). O método consiste, após coletar e selecionar as amostras, dispô-las sobre uma lona (Fotografia 3), em área plana, e homogeneizá-las com o auxílio de ferramentas apropriadas, como pás, enxadas e garfos (Fotografias 4 e 5), selecionar quartos opostos, após divisão em quatro partes equivalentes (Fotografia 6), e repetir o processo conforme a necessidade até se obter um único lote homogêneo. Na Figura 4 está apresentado um exemplo do processo de quarteamento e as quantidades finais de amostras de resíduos, em cada bairro e distritos selecionados, variaram entre 57,5 e 170,5 kg, sendo que a soma resultou em 511,5 kg.

Após preparada a amostra final de cada bairro e distrito, os resíduos foram acondicionados em tambores a fim de obter a porcentagem de cada tipo de resíduo, que foram classificados em: orgânico, rejeito, plástico, metal, papel, vidro e outros. Após agrupados por tipo, os resíduos foram pesados em uma balança paleteira (Fotografia 7) e os percentuais de cada tipo de resíduo foram obtidos com base na massa total das amostras de RSU por bairro e distrito.

Fotografia 3 – Amostras de RSU dispostos sobre lona durante o quarteamento



Fonte: Autoria Própria (2023)

Fotografia 4 – Ferramentas utilizadas para homogeneizar a amostra durante o quarreamento



Fonte: Autoria Própria (2023)

Fotografia 5 – Ferramenta utilizada para homogeneizar a amostra durante o quarreamento



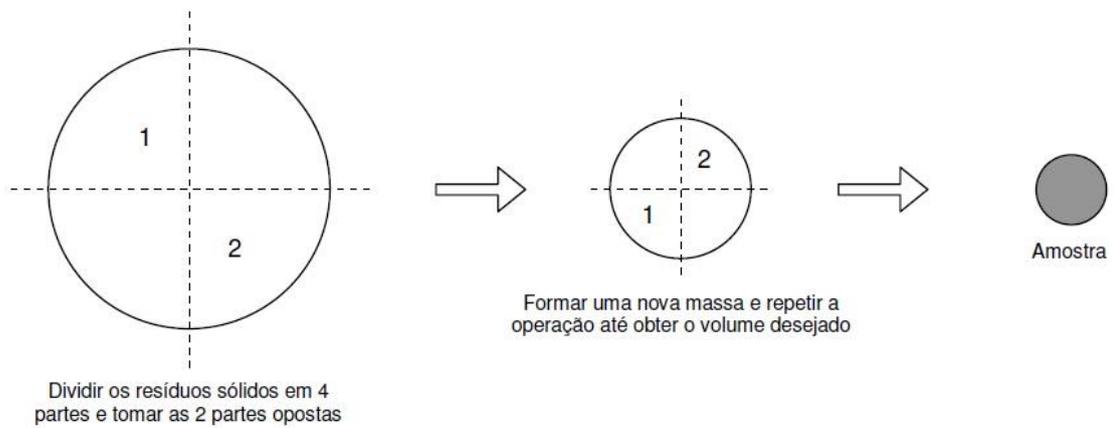
Fonte: Autoria Própria (2023)

Fotografia 6 – Processo de quarteamento dos RSU gerados em Toledo.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 4 – Etapas do processo de quarteamento para a composição gravimétrica dos RSU



Fonte: Toledo (2011)

Fotografia 7 – Balança paleteira



Fonte: Autoria Própria (2023)

5.5 Determinação da densidade e da compressividade dos RSU

A determinação da densidade é de suma importância para dimensionar frota de veículos coletores, usinas de compostagem, entre outras estruturas ou etapas presentes no gerenciamento dos resíduos sólidos. Os dados relacionados à densidade também são importantes para os cálculos em projetos de aterros sanitários e determinação da vida útil dos mesmos, além dos comportamentos mecânicos dos RSU nos aterros (MOTTA, 2011).

Para a determinação da densidade dos RSU, foram pesados cada um dos recipientes (Fotografia 8) após preenchidos de resíduos, descontando a massa do latão vazio, para obtenção das massas por tipo de resíduo. Após, esta etapa, todas as massas obtidas foram somadas e divididas pelo volume total utilizado, para assim determinar a densidade, expressa em kg/m^3 .

Fotografia 8 – Recipientes utilizados durante o estudo para obtenção da densidade dos RSU



Fonte: Autoria Própria (2023)

Em relação a compressividade, cabe destacar que esta outra característica é dependente da composição e das propriedades mecânicas dos RSU (SALAMONI, 2019). O nível de compactação está diretamente relacionado a redução do volume que a massa de resíduo pode sofrer, e é denominado como o grau ou índice de compressividade. Quando submetido a uma pressão de 4kg/cm², estima-se que o volume dos RSU pode ser reduzido, em média, de um terço a um quarto do seu volume original (HABITZREUTER, 2008).

Para determinar a compressividade dos RSU, para cada uma das 3 amostras foram utilizados tambores de 200 L que foram preenchidos com resíduos escolhidos aleatoriamente durante o trajeto realizado pelo caminhão compactador, antes da coleta, sendo que os resíduos não foram compactados, com o objetivo de pesar as amostras e poder obter a densidade dos resíduos sem compactação.

Para a obtenção da densidade dos resíduos compactados, foram utilizados os caminhões compactadores cheios e vazios para comparar as massas, obter a diferença e dividir as massas pelas capacidades nominais dos caminhões, a fim de obter a densidade dos resíduos compactados.

Após calcular as densidades dos resíduos, sem compactação e compactado, foi possível obter índice de compressividade, conforme Equação 1

$$\text{Grau de compressividade} = \frac{\text{Densidade sem compactação}}{\text{Densidade com compactação}} \quad (\text{Equação 1})$$

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Sistema atual de coleta, transporte e disposição final dos RSU de Toledo, Paraná

Na área de estudo, o serviço de coleta e transporte de RSU é realizado por duas empresas terceirizadas e pela própria prefeitura municipal, e além disso, o acompanhamento e a fiscalização dos serviços prestados pelas empresas terceirizadas são atribuídas à equipe da Secretaria Municipal do Meio Ambiente.

A coleta pública regular dos rejeitos e resíduos orgânicos, atende 100% da área urbana, e é realizada por uma empresa terceirizada, que possui uma frota de seis caminhões coletores compactadores com a capacidade de 6 m³ cada. Já a coleta dos resíduos recicláveis é dividida em duas modalidades, a primeira chamada de contêineres amarelos, que consiste em vários contêineres espalhados pela região central da cidade onde outra empresa terceirizada realiza a coleta com apenas um caminhão compactador, a segunda modalidade é realizada pela equipe da própria prefeitura municipal, por meio da Secretaria Municipal do Meio Ambiente, denominada como porta a porta, onde é realizada a coleta nos domicílios com uma frota composta por dois caminhões compactadores.

A coleta dos rejeitos e dos resíduos orgânicos ocorre cinco vezes no horário diurno e seis vezes no horário noturno, de segunda a sexta-feira, no período diurno se inicia 7h00min e no período noturno se inicia 17h30min, já no sábado se inicia as 7h00min no período diurno e 15h00min no período vespertino/noturno. Os dias da semana das coletas dos bairros atendidos é distribuída conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Dias de coleta pública de rejeitos e resíduos orgânicos conforme bairros atendidos no município de Toledo

Dias da semana	Bairros e distritos atendidos
Segunda-Feira	Coopagro, Tocantins, Jardim Cassandra, Jardim Parizotto, Jardim Pancera, Jardim Planalto, Jardim Paulista, Jardim Porto Alegre, Vila Pioneira, Região Centro (entre Avenida Maripá e Avenida Parigot de Souza), distrito de São Miguel, distrito de Novo Sarandi, distrito de Vila Nova.
Terça-Feira	Vila Becker, Jardim La Salle, Jardim Recanto, Jardim Filadélfia, Jardim Gisela, Jardim Anápolis, Vila Industrial, Jardim Paraná, Jardim Recanto, Jardim Concórdia, Jardim Europa, Pinheirinho, Jardim Panorama, Jardim Bressan, São Francisco, Jardim Independência, Região Centro (entre Avenida Maripá e Avenida Parigot de Souza).
Quarta-Feira	Coopagro, Jardim Planalto, Tocantins, Jardim Porto Alegre, Jardim Cassandra, Jardim Paulista, Vila Pioneira, Boa Esperança, Maracanã, Recanto das Hortências Jardim Parizotto, Jardim Pancera, Região Centro

	(entre Avenida Maripá e Avenida Parigot de Souza), Região Centro (entre Avenida Maripá e Rio Toledo), distrito de Vila Ipiranga, distrito de Dois Irmãos, distrito de Dez de Maio, distrito de Cerro da Lola, distrito de Concórdia do Oeste, distrito de Boa Vista, distrito de Ouro Preto, distrito de São Luiz.
Quinta-Feira	Jardim Anápolis, Jardim Paraná, Vila Industrial, Jardim Gisela, Jardim Carelli, Jardim Concórdia, Jardim Independência, Jardim Recanto, Jardim La Salle, Jardim Filadélfia, Jardim Bressan, Jardim Panorama, São Francisco, Jardim Europa, Pinheirinho, Cezar Park, Região Centro (entre Avenida Maripá e Avenida Parigot de Souza), distrito de Bom Princípio, distrito de Vista Alegre.
Sexta-Feira	Coopagro, Jardim Planalto, Tocantins, Jardim Parizotto, Jardim Pancera, Jardim Cassandra, Jardim Paulista, Vila Pioneira, Boa Esperança, Jardim Laranjeiras, Jardim Porto Alegre, Região Centro (entre Avenida Maripá e Avenida Parigot de Souza), Região Centro (entre Avenida Maripá e Rio Toledo), distrito de Novo Sarandi, distrito de Vila Nova, distrito de Novo Sobradinho.
Sábado	Jardim Panorama, Jardim Bressan, São Francisco, Cezar Park, Jardim Europa, Pinheirinho, Jardim Concórdia, Jardim Independência, Jardim Carelli, Jardim Recanto, Jardim La Salle, Jardim Filadélfia, Jardim Paraná, Vila Industrial, Jardim Anápolis, Jardim Gisela, Região Centro (entre Avenida Maripá e Avenida Parigot de Souza).

Fonte: Autoria Própria (2023)

Já em relação a disposição final dos RSU, no município de Toledo, está instalado e em operação o aterro sanitário municipal (Fotografia 9), que teve suas atividades iniciadas em dezembro de 2002. Atualmente o aterro está operando na 9ª camada e em uma transição para a 10ª camada. Existe a possibilidade de que a vida útil do aterro seja atingida neste ano de 2023. O aterro sanitário possui licença para receber apenas RSU, não sendo permitido o recebimento de resíduos de serviço de saúde (RSS), resíduos da construção civil (RCC), resíduos industriais e nem resíduos sólidos especiais.

Um novo aterro sanitário está em processo de finalização de instalação, com a área de 49.000 m², em um lote adquirido pela Secretaria do Meio Ambiente do município em 2014.

Fotografia 9 – Vista aérea do atual aterro sanitário do município de Toledo.



Fonte: Secretaria Municipal do Meio Ambiente (2023)

De acordo com o projeto do novo aterro sanitário, existe uma previsão para o início das operações a partir do segundo semestre de 2023. Conforme consta no projeto, o novo aterro sanitário terá capacidade de 1.498.493,46 m³, com vida útil de 27 anos.

Em relação a operação do atual aterro sanitário, assim que os caminhões carregados chegam dos bairros ou distritos, são pesados em uma balança rodoviária, na entrada a fim de quantificar a massa a ser descarregada na célula do aterro. De acordo com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (PMGIRS) de Toledo, a cobertura da célula deveria ser feita diariamente, mas por questões operacionais este trabalho é realizado duas vezes na semana, onde ocorre o espalhamento dos resíduos com uso de pá carregadeira e a compactação dos mesmos com uso de trator de esteira.

No processo de decomposição dos resíduos, gera o lixiviado (chorume) de aterro sanitário, que é coletado e drenado através dos sistemas de drenagem das células e destinados para os sistemas de tratamento de efluentes, constituídos por uma lagoa anaeróbia, uma lagoa facultativa, uma lagoa de polimento e um sistema de recirculação por meio de um conjunto moto-bomba à biogás, que consiste no

efluente tratado (chorume) ser bombeado para o aterro sanitário novamente em um circuito fechado.

Ainda no processo de degradação da matéria orgânica presente nos RSU dispostos no aterro, há a geração de biogás, onde é drenado pelo sistema vertical. No projeto inicial, estavam previstos queimadores na parte superior dos drenos verticais com a finalidade de queimar o gás metano liberado na atmosfera, porém a falta de manutenção devido aos altos custos, o gás metano é liberado sem a queima.

Em relação a coleta seletiva realizada pela prefeitura, foi observado que o serviço funciona de segunda a sexta-feira. A frequência de coleta dos bairros atendidos é distribuída conforme apresentado no Quadro 2. Já a coleta dos resíduos recicláveis dos chamados contêineres amarelos é realizada pela empresa terceirizada responsável e ocorre de segunda a sexta-feira no período noturno.

Quadro 2 – Dias de coleta de resíduos recicláveis em função dos bairros atendidos no município de Toledo

Dias da semana	Bairros e distritos atendidos
Segunda-Feira	Jardim Coopagro, Jardim Concórdia, Jardim Pancera, Jardim Independência, Região Centro (entre Avenida Maripá e Avenida Parigot de Souza).
Terça-Feira	Vila Pioneira, Jardim Gisela, Vila Becker, Região Centro (entre Avenida Maripá e Avenida Parigot de Souza).
Quarta-Feira	Jardim Panorama, Jardim Porto Alegre, Jardim Santa Maria e Jardim São Francisco.
Quinta-Feira	Jardim Bressan, César Park, Jardim Parizotto, Jardim La Salle, Vila Industrial, Tocantins.
Sexta-Feira	Jardim Europa, Jardim América, Pinheirinho, distrito de Vila Nova, distrito de Novo Sobradinho, distrito de Novo Sarandi, distrito de Vila Ipiranga, distrito de Bom Princípio, distrito de Dois Irmãos, distrito de Dez de Maio, distrito de Cerro da Lola, distrito de Concórdia do Oeste, distrito de Boa Vista, distrito de Ouro Preto, distrito de São Luiz e Estações Ecológicas.

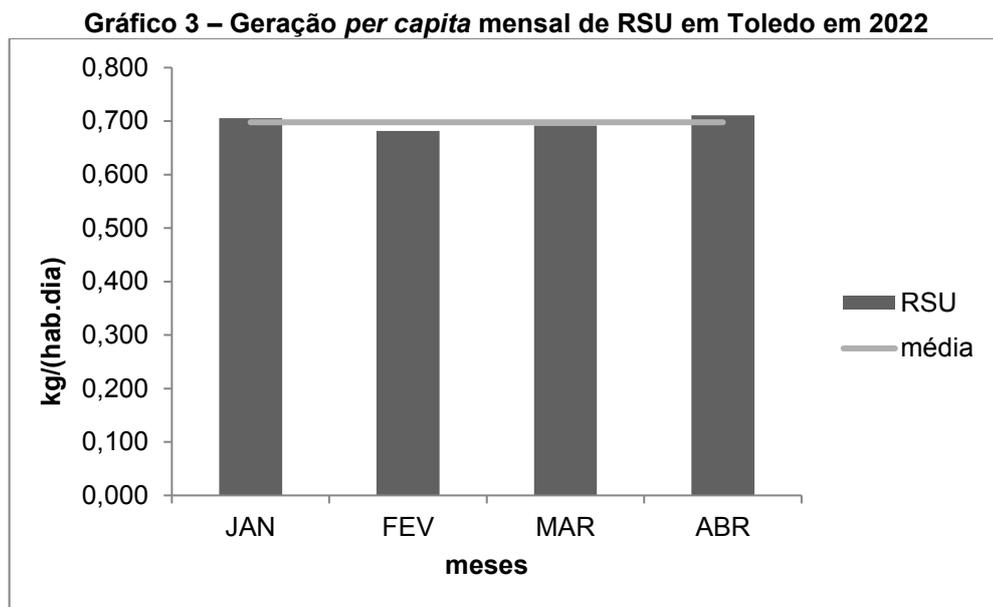
Fonte: Autoria Própria (2023)

6.2 Caracterização quantitativa dos RSU

Durante o período compreendido entre os meses de janeiro e abril de 2022 foram destinados para o aterro sanitário 93,5 ton./dia de RSU em média, e foram coletados 7 ton./dia em média de resíduos potencialmente recicláveis.

Com base nos dados apresentados no Gráfico 3, a partir dos valores de geração *per capita* obtidos em cada mês de estudo, a geração média *per capita* de RSU no município de Toledo foi de aproximadamente 0,698 kg/(hab.d), sendo um

valor menor que a média nacional e a região Sul, 1,043 kg/(hab.d) e 0,776 kg/(hab.d) respectivamente, de acordo com Abrelpe (2023). Ainda de acordo com o Plano Estadual Resíduos Sólidos do Paraná (PERS-PR) de 2018 (PARANÁ, 2018) a geração *per capita* média obtida em Toledo é inferior a taxa utilizada para a faixa populacional para municípios que possuem entre 50 e 500 mil habitantes que é de 0,8 kg/(hab.d), conforme apresentado na Quadro 3.



Fonte: Autoria própria (2023)

Quadro 3 – Taxa de geração *per capita* de RSU, por faixa populacional, adotada para a população urbana dos municípios paranaenses

Faixa populacional	Taxa de Geração (kg/hab.dia)
Menos de 50 mil	0,65
De 50 mil a 500 mil	0,8
De 500 mil a 1 milhão	1,15
Mais de 1 milhão	1,4

Fonte: Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná (2018)

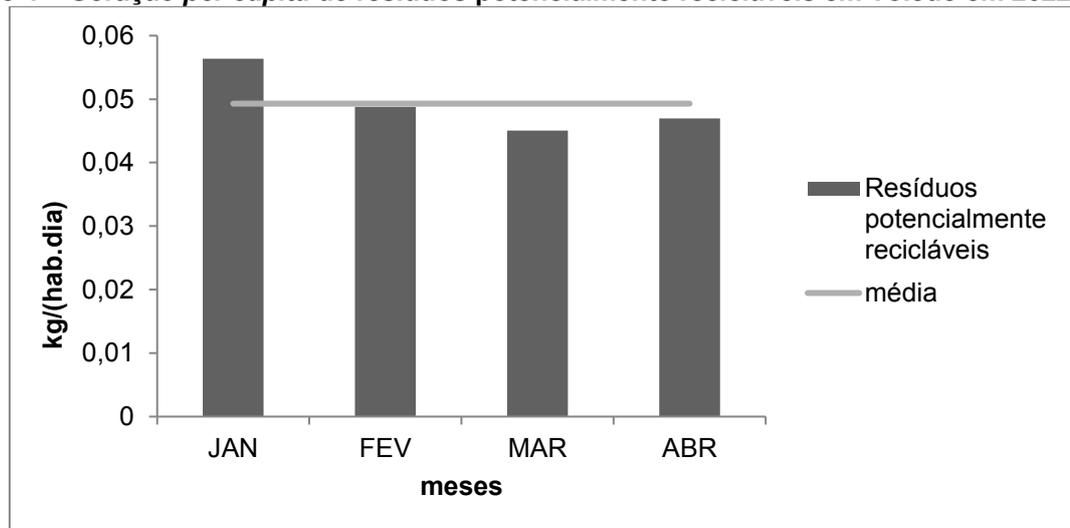
Já a geração *per capita* de resíduos potencialmente recicláveis no município de Toledo foi de aproximadamente 0,05 kg/(hab.d) como apresentado no Gráfico 4. O resíduo é destinado para a associação de catadores de materiais recicláveis de Toledo, onde é realizada a triagem e a comercialização do material.

Durante o período de estudo (4 meses), foram destinados para a associação de catadores aproximadamente 856 toneladas, e após a triagem foi destinado ao aterro sanitário, 481 toneladas de rejeitos que estavam misturados aos materiais da

coleta seletiva, resultando em uma taxa de 44% de rejeito no material recebido pela associação.

A taxa de rejeito alta pode ser explicada principalmente pelo modelo de coleta a partir dos contêineres amarelos, pois é o munícipe que coloca os resíduos no recipiente, porém devido a diversos motivos, falta de orientação ou sensibilização, por exemplo, não são armazenados somente resíduos recicláveis.

Gráfico 4 – Geração *per capita* de resíduos potencialmente recicláveis em Toledo em 2022



Fonte: Autoria própria (2023)

6.3 Caracterização qualitativa dos RSU

Os dados obtidos de caracterização qualitativa, relacionados a composição gravimétrica dos RSU dos bairros e distritos selecionadas do município de Toledo estão apresentados na Tabela 1. Estes dados referem-se aos resíduos coletados pelo serviço público e que seriam dispostos no aterro sanitário.

Tabela 1 – Composição gravimétrica dos RSU do município de Toledo em 2022 (continua)

	Centro		Pancera		Europa		Distritos		Toledo (média)	
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
Orgânico	84,0	52,5	59,0	47,5	69,0	40,5	18,0	31,0	230	45,0
Rejeito	45,5	28,5	34,5	28,0	50,0	29,5	16,5	28,5	146,5	28,5
Plástico	12,5	8,0	5,5	4,5	11,5	6,5	7,5	13,0	37,0	7,0
Metal	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	4,0	1,0
Papel	15,0	9,5	4,0	3,0	13,0	7,5	2,0	3,5	34,0	6,5

**Tabela 2 – Composição grávimétrica dos RSU do município de Toledo em 2022
(conclusão)**

	Centro		Pancera		Europa		Distritos		Toledo (média)	
	kg	%	kg	%	kg	kg	%	kg	%	kg
Vidro	1,0	0,5	17,0	13,5	15,0	9,0	13,0	22,5	46,0	9,0
Outros	0,0	0,0	3,0	2,5	11,0	6,5	0,0	0,0	14,0	3,0
TOTAL	159,5		124,0		170,5		57,5		511,5	100

Fonte: Aatoria própria (2023)

O resíduo orgânico apresentou a maior porcentagem no centro da cidade, 52,5%, e este dado pode estar relacionado ao fato do bairro citado possuir maior quantidade de supermercados e restaurantes. Observa-se também que no bairro citado foi encontrada também a maior porcentagem de papel, 9,5%, já que a grande maioria dos estabelecimentos comerciais e escritórios se concentram no mesmo bairro.

Os distritos geraram o menor percentual de orgânico, 31,0%, isso se deve provavelmente ao fato da maioria das residências dos distritos realizarem a prática de compostagem ou uso de orgânicos na alimentação de animais, por exemplo.

Por abranger estabelecimentos comerciais, como mencionado anteriormente, o bairro do Centro apresentou a segunda maior porcentagem referente ao resíduo plástico, 8,0%. Em relação a outros bairros estudados, a maior porcentagem de plástico foi obtida nos distritos, 13,0%, uma das possíveis explicações, pode estar relacionada ao baixo percentual de orgânico (31,5%) e de papel (3,5%), resultando em uma elevação na porcentagem do plástico.

Ainda de acordo com a Tabela 1, o rejeito e o metal apresentaram percentuais próximos em todos os bairros e distritos estudados, o primeiro apresentou uma média de 28%, já o segundo resultou em aproximadamente 1%, e este baixo percentual provavelmente está associado ao valor agregado e grande interesse na comercialização direta junto a compradores ou “atravessadores”, e sendo pouco destinado a coleta seletiva.

No município de Toledo, foram observadas na composição gravimétrica (Tabela 3) que 45% dos RSU gerados refere-se ao orgânico, e 28% refere-se ao rejeito. Já em relação aos recicláveis, os materiais com potencial de reciclagem se fossem devidamente triados antes da destinação, poderiam resultar em até 23,5%, entretanto seria inferior a 30%, valor estimado para o estado do Paraná (Quadro 4).

Cabe destacar que é comum na maioria dos municípios brasileiros a presença de catadores informais e no município de Toledo, os catadores informais também se fazem presentes e suas atuações resultam em um “desvio” ou “retirada” de resíduos recicláveis que poderiam ser coletados e transportados pela coleta seletiva pública.

Quadro 4 – Composição de RSU estimada para o estado do Paraná

Faixa populacional	Matéria Orgânica	Reciclável	Rejeitos/Outros
Menos de 50 mil	60%	25%	15%
De 50 mil a 500 mil	55%	30%	15%
Mais de 500 mil	45%	35%	20%

Fonte: Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Paraná (2018)

Os resultados obtidos no presente estudo mostraram o percentual de orgânico (45,0%) superior ao do município de Cascavel, Paraná (43,0%) (CASCAVEL, 2015) e também Campo Mourão, Paraná (32,5%) (CAMPO MOURÃO, 2018), conforme apresentado na Tabela 2. Na categoria de rejeito, o município de Toledo apresentou uma taxa inferior (28,5%) em relação a Campo Mourão, Paraná (32,5%), porém superior a Cascavel, Paraná (21,5%).

Tabela 3 – Composição da comparação gravimétrica de Toledo com outros municípios do estado do Paraná

Tipo	Toledo (%)	Cascavel (%)	Campo Mourão (%)
Orgânico	45,0	43,0	32,5
Rejeito	28,5	21,5	45,5
Plástico	7,0	15,0	9,0
Metal	1,0	2,0	1,5
Papel	6,5	12,5	8,5
Vidro	9,0	3,0	2,0
Outros	3,0	3,0	1,0

Fonte: Autoria própria (2023)

Já a comparação em relação aos recicláveis plástico (7,0%), metal (1,0%) e papel (6,5%) obtidos em Toledo foi possível notar que foram inferiores aos obtidos em Cascavel, plástico (15,0%); metal (2,0%) e papel (12,5%), respectivamente. Estas diferenças também foram observadas comparando com Campo Mourão, sendo que os dados obtidos foram 9,0% de plástico, 1,5% de metal e 8,5% de papel. O resíduo vidro foi o único material potencialmente reciclável que o município de Toledo apresentou dados superiores aos demais municípios comparados.

Na categoria outros foram observados em algumas amostras em Toledo, Paraná, Resíduos de Construção Civil (RCC) e Resíduos Sólidos de Saúde (RSS), e representaram 3% do RSU de Toledo, mesma porcentagem do estudo de Cascavel, entretanto superior a Campo Mourão (1,0%).

Importante ressaltar que os dois municípios comparados com o município estudado, Cascavel e Campo Mourão, também possuem coleta seletiva implantada e de acordo com Fracasso *et al.* (2017) a supracitada composição gravimétrica possui grande variação devido as diferentes regiões, em razão de que está diretamente relacionada com características, hábitos e costumes de consumo e descarte da população local.

6.4 Determinação da densidade e compressividade dos RSU

Com base nos resultados apresentados na Tabela 3, nota-se uma média de 47 kg para os resíduos sem compactação ocupando um volume do tambor de 200 L (0,2 m³), já para o resíduo compactado pelos caminhões, foi possível observar uma massa média de 6.540 kg ocupando um volume de 15 m³.

Tabela 4 – Massas das amostras de RSU, com e sem compactação, do município de Toledo, utilizadas para os cálculos de densidade

	Massa das amostras 1 (kg)	Massa das amostras 2 (kg)	Massa das amostras 3 (kg)	Média das massas das amostras (kg)
Sem compactação	48,5	43,5	49,0	47,0
Compactado	6.230,0	5.620,0	7.770,0	6.540,0

Fonte: Autoria própria (2023)

Com base nos dados apresentados na Tabela 4, a média da densidade dos RSU do município de Toledo antes da compactação foi de 235 kg/m³, superior ao resultado obtido no município de Jaú, São Paulo, que possuía uma população de 140.077 habitantes (REZENDE *et al.*, 2013), que apresentou um média de 136 kg/m³ aproximadamente. Já a média da densidade após a compactação para os RSU de Toledo resultou em 436 kg/m³.

O índice (grau) de compressividade, após o cálculo com base na Equação 1, referente a razão entre a densidade sem compactação e da densidade com compactação foi de 1/1,85.

Tabela 5 – Densidade dos RSU, com e sem compactação, do município de Toledo

	Média das amostras (kg)	Volume (m ³)	Densidade (kg/m ³)
Sem compactação	47,0	0,2	235,0
Compactado	6.540,0	15,0	436,0

Fonte: Aatoria Própria.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O atual sistema de coleta de RSU do município de Toledo é realizado por duas empresas terceirizadas e pela própria prefeitura municipal. A disposição final da coleta convencional é realizada no aterro sanitário municipal, sendo considerada uma obra de engenharia apropriada e segura, pois atende a vários critérios específicos, como impermeabilização do solo, coleta e tratamento de chorume e gases, sistema de drenagem de águas pluviais e cobertura dos resíduos.

A área urbana do município é atendida em 100% em relação a coleta convencional, assim como a coleta seletiva. A média diária de RSU coletada é de 100,5 toneladas, sendo 7 toneladas oriundas da coleta seletiva. A geração *per capita* em Toledo foi de aproximadamente 0,698 kg/(hab.d) durante o período de quatro meses de monitoramento.

Comparando os bairros e os distritos analisados (Centro, Pancera, Europa e Distritos), pode-se concluir o resíduo orgânico foi o componente predominante, com 45% dos resíduos, o material possui potencial, em grande parte, para ser reaproveitado em usinas de compostagem, podendo estender a vida útil do aterro, assim como produzir fertilizantes.

Apesar de ser realizada a coleta seletiva no município, a soma dos resíduos potencialmente recicláveis na coleta convencional foi de 23,5%, o material poderia ser segregado e destinado de forma adequada, gerando ainda mais emprego e renda para a associação de catadores e também aumentando a vida útil do aterro sanitário, possibilitando destinar recursos antes destinados à manutenção do aterro para outras melhorias e projetos. Esse objetivo pode ser alcançado se forem realizadas ações de sensibilização e educação ambiental com a população.

Os dados obtidos na determinação da densidade e na compressividade demonstram que o RSU após a compactação, possui em média uma redução de quase duas vezes do seu volume sem compactação.

A partir dos resultados da caracterização física dos RSU obtidos, relacionados a composição gravimétrica, geração *per capita*, densidade e índice de compressividade, possibilitarão que estudos futuros de viabilidade econômica sejam realizados para instalações de usinas de reciclagem, além de auxiliar na otimização dos recursos investidos relacionados com serviço de limpeza urbana, coleta e tratamento dos RSU de Toledo, contemplando ainda dados para o dimensionamento

de toda a estrutura de áreas para disposição final e de limpeza urbana, referente a veículos coletores e mão de obra.

REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. São Paulo: Abrelpe, 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/> Acesso em: 25 out. 2021

_____. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022**. São Paulo: Abrelpe, 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/> Acesso em: 24 fev. 2023

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro. 2004. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-12.980-Coleta-varri%C3%A7%C3%A3o-e-acondicionamento-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-urbanos.pdf> .Acesso em 22 nov. 2021.

_____. **NBR 10.007**: Amostragem de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/nbr-10007-amostragem-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf>. Acesso em 22 nov. 2021.

_____. **NBR 12.980**: Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro. 1993. Disponível em: <https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf> . Acesso em 02 nov. 2021.

BRASIL. Lei nº. 12.305, de 02 de agosto de 2010a. 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**, Seção 1. Brasília, terça feira, 03 agosto 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 02 nov. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2019**. Brasília: SNS/MDR, 2020. 244 p. : il. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos/diagnostico-do-manejo-de-residuos-solidos-urbanos-2019>. Acesso em: 23 nov. 2021

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 275, de 25/04/2001. **Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva**. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=291>. Acesso em: 22 nov. 2021

CAMPO MOURÃO. **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos**, 2018. Disponível em:

<https://campomourao.atende.net/diariooficial/edicao/numeroEdicao/2232>. Acesso em: 20 abr. 2023.

CASCAVEL. **Plano municipal de coleta seletiva relatório final**, 2015. Disponível em:

http://ntm.cascavel.pr.gov.br/arquivos/22092016_plano_coleta_seletiva_cascavel_en_vex_final.pdf. Acesso em: 20 abr. 2023.

CHERUBINI, R. **Avaliação ambiental do sistema de coleta e disposição final dos resíduos sólidos urbanos do município de Farroupilha – RS**. Relatório de Estágio Supervisionado (Graduação em Engenharia Ambiental – Universidade de Caxias do Sul). Caxias do Sul, 2008.

CONSONI, Â. J.; PERES, C. S.; CASTRA, A. P. de. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. Capítulo II – Origem e composição do lixo. 4ª ed. IPT/CEMPRE: São Paulo: 2018. Acesso em: 02 nov. 2021

FIRMEZA, S. de M. A. **Caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares de Fortaleza como fator determinante do seu potencial reciclável, Fortaleza - CE**, 2005, Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará. Disponível em:

http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=113440. Acesso em: 02 nov. 2021.

GASQUES, A. C. F. **Caracterização quantitativa e gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município de Campo Mourão – PR**. 2013. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/6858> Acesso em: 23 nov 2021

HABITZREUTER, M. T. **Análise da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) da região de Santa Maria, pré e pós-triagem**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, 2008. 88 f. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/76148>. Acesso em: 23 nov 2021

IACIA, P. R. **Resíduos sólidos urbanos em Presidente Prudente, São Paulo, Brasil: um estudo aplicado na cooperativa dos trabalhadores de produtos recicláveis de Presidente Prudente (COOPERLIX)**. 2014. 174 f. Dissertação (mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/154614>. Acesso em: 21 out. 2021

IBAM. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Disponível em: <http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2021

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. **Cidades: Toledo**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/toledo>. Acesso em: 27 out. 2021

KUHN, N.; BOTELHO, L. L. R.; ALVES, A. A. A. **A coleta seletiva à luz da PNRS nos estados brasileiros: uma revisão sistemática integrativa**. 2018. Revista brasileira Planejamento e Desenvolvimento, Curitiba, v. 7, n. 5, Edição Especial Desenvolvimento Sustentável Brasil/Cuba, p. 646-669 out. 2018. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd/article/view/7628> . Acesso em: 24 out. 2021

LIMA, J. D. **Modelos de apoio à decisão para alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, 2012. Recife – PE, 400 f. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10606>. Acesso em 23 nov. 2021

MOTTA, E. Q. **Avaliação da resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos com disposição de lodo de tratamento de esgoto através de ensaios de cisalhamento direto de grandes dimensões**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, 2011. Recife – PE, 211 f. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5382>. Acesso em: 23 nov. 2021

OLIVEIRA, R. M. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos: O Programa de Coleta Seletiva da Religião Metropolitana de Belém - PA**. Belém, 2012, 113 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano), Universidade da Amazônia, Belém, 2012. Acesso em: 20 out. 2021.

OZCAN, H. K.; GUVENC, S. Y.; GUVENC, L.; DEMIR, G. **Municipal Solid Waste Characterization According to Different Income Levels: A Case Study**. Sustainability 2016, 8, 1044. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su8101044> Acesso em: 26 mai 2023.

PARANÁ, Governo do estado do. **Plano estadual de resíduos sólidos do Paraná, relatório final do panorama dos resíduos sólidos**, 2018. Disponível em: https://www.sedest.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2022-05/r8_relatorio_final.pdf. Acesso em: 09 mai 2023.

PARRA, R.; DANTAS, M. L. S.; PICHLER, E. F.; CUNHA, C. B. Capítulo III – Acondicionamento e coleta do Lixo. In: D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A (Coord.). **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. São Paulo; IPT/CEMPRE, 2018. 4ª Ed. p. 43-74. Disponível em: https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf Acesso em: 29 out 2021

FRACASSO, M.; DALEPIANE, R.; PORSCH, M. R. M. H.; PFULLER, E. E.; SILVA, R. S. **Diagnóstico e prognóstico dos RSU para município de Sananduva/RS. HOLOS**, v. 4, p. 282-298, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481554849019.pdf>. Acesso em 05 mar. 2023.

PIMENTEIRA, C. A. P. **Gestão integrada de resíduos sólidos no Rio de Janeiro: Impactos das Decisões dos Gestores nas Políticas Públicas**. Rio de Janeiro, 280p., 2010. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/index.php/es/publicacoes/teses-e>

dissertacoes/2010/966-gestao-integrada-de-residuos-solidos-no-rio-de-janeiro-impactos-das-decisoes-dos-gestores-nas-politicas-publicas. Acesso em 22 nov. 2021

POLI, V.; OLIVEIRA, J. C.; BECEGATO, V. A.; BECEGATO, V. R. **Gestão de resíduos sólidos do aterro sanitário no município de Lages – SC. Revista Geográfica Acadêmica**, Santa Catarina, v.8, n.1 p. 107- 119, jun./2014. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rga/article/view/2987>. Acesso em: 29 out 2021

POLZER, V. R. **Desafios e perspectivas rumo ao gerenciamento integrado de resíduos sólidos nas cidades brasileiras:** contribuições a partir de estudos de casos europeus. São Paulo, 248 f., 2017. Tese (Doutorado Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo. Disponível em: <http://tede.mackenzie.br/jspui/handle/tede/3136>. Acesso em: 23 nov. 2021

SOARES, E. L. de S. F. **Estudo da caracterização gravimétrica e poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos.** Rio de Janeiro, 104 f., 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/pt/documents2/mestrado/2011-2/1255-erika-leite-de-souza-ferreira-soares-mestrado/file> Acesso em: 20 out. 2021.

TOLEDO. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Toledo-PR** 2011. Disponível em: <https://www.toledo.pr.gov.br/sites/default/files/book/schererpmgrstoledo06setembro2007alteracao02.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.