



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

**ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DO ATERRO
SANITÁRIO DE ITABIRITO, MG EM DIFERENTES
CENÁRIOS DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS**

João Pedro Colombo Ribeiro

LAVRAS
2023

João Pedro Colombo Ribeiro

**ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL DO ATERRO
SANITÁRIO DE ITABIRITO, MG EM DIFERENTES
CENÁRIOS DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Ambiental da
Universidade Federal de Lavras, como parte
dos requisitos para a obtenção do título de
bacharel em Engenharia Ambiental

Orientadora: Camila Silva Franco

Coorientadora: Beatriz F. Dominik Campos

Lavras
2023

AGRADECIMENTOS

Gostaria de dedicar este trabalho às pessoas que foram fundamentais em cada etapa desta jornada acadêmica e pessoal.

À minha amada mãe, que sempre acreditou em mim e me apoiou ao longo de toda a minha trajetória. Seu amor e paciência foram a motivação para nunca desistir e seguir em frente mesmo diante dos desafios.

À minha amada companheira, por ser minha fonte de inspiração e por compreender os momentos em que precisei me dedicar a este trabalho. Sua presença em minha vida tornou tudo mais significativo e especial.

À minha orientadora, Camila Silva Franco, pela valiosa orientação e sabedoria durante todo o processo de pesquisa e redação deste trabalho. Seus feedbacks foram essenciais para aprimorar este estudo e ampliar meus conhecimentos na área.

À minha coorientadora, Beatriz Fonseca, pelos valiosos contributos e suporte fornecidos ao longo desta jornada acadêmica. Sua expertise e disposição em auxiliar foram fundamentais para o sucesso deste trabalho.

A todos os professores e colegas que de alguma forma colaboraram, compartilharam conhecimentos e proporcionaram um ambiente de aprendizado enriquecedor, meu sincero agradecimento.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho fosse concluído. Cada palavra escrita representa um pouco da minha dedicação e do apoio recebido.

Muito obrigado!

RESUMO

Entre os anos de 2010 e 2019 o Brasil registrou um incremento na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) de 12 milhões de toneladas por ano. Com a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos em 2010 os municípios brasileiros foram obrigados a fazer o manejo adequado dos seus resíduos, eliminando gradualmente a existência de lixões e aterros controlados. Desta forma, cada vez mais têm se buscado alternativas para o correto gerenciamento, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos, para o qual o conhecimento de suas características por meio de análises gravimétricas é o primeiro passo. Neste sentido, este trabalho tem por objetivo realizar a análise quali-quantitativa dos resíduos sólidos urbanos destinados ao aterro sanitário de Itabirito-MG, estimar a geração de RSU até os dias atuais e o ganho de vida útil no aterro sanitário do município caso os materiais recicláveis fossem de fato desviados do aterramento. Para tal, foi utilizado cerca de 1 tonelada de resíduo domiciliar coletado pelo serviço de coleta municipal no dia anterior a gravimetria, de acordo com seu itinerário. O resíduo passou pelo processo de quarteamento previsto na norma técnica NBR 10.007/2004, amostrando separadamente os resíduos do município, sendo possível quantificá-los em orgânicos, recicláveis, resíduos de banheiro, rejeitos e outros. Em Itabirito são gerados, aproximadamente, $0,84 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ de resíduos, com uma taxa de cobertura de 98% da população total do município (SNIS, 2021), pode-se estimar uma massa diária de resíduos próxima a 31,16 toneladas. A composição gravimétrica demonstra uma contribuição de 22% de matéria orgânica (restos de comida e podas), 29% de material reciclável, 13% de resíduos de banheiro, 24% de rejeitos, 10% de trapos e 2% de outros. O volume de resíduos aterrados até o ano de 2023 chega a $364.587,90 \text{ m}^3$ com uma massa aproximada de 255.211,53 toneladas. Com a projeção populacional para um horizonte de 20 anos foi constatado que o aterro pode atingir a capacidade máxima de aterramento em 2042. No entanto, ao considerar o desvio de resíduos recicláveis das valas, estima-se que o empreendimento tem capacidade operacional de até/ou superior a 10 anos. A grande incidência de recicláveis descartados no município evidenciam um potencial a ser explorado apontando a necessidade de reavaliação da estrutura da coleta seletiva corroborando em larga escala para a redução da destinação final de recicláveis em aterros sanitários.

Palavras-chave: Geração de resíduos sólidos. Aterro sanitário. Vida útil. Composição gravimétrica.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Caminhão adaptado para coleta multisseletiva | 23 |
| Figura 2. Hierarquia da gestão de resíduos | 28 |
| Figura 3. Localização do município | 32 |
| Figura 4. Célula diária de aterramento | 34 |
| Figura 5. Pesagem da amostra | 38 |
| Figura 6. Área para segregação dos resíduos e homogeneização | 39 |
| Figura 7. Quarteamento dos resíduos | 39 |
| Figura 8. Descarte da metade dos resíduos | 39 |
| Figura 9. Segundo quarteamento dos resíduos | 40 |
| Figura 10. Homogeneização das pilhas a serem amostradas e | 40 |
| Figura 11. Lixeiras separadas por tipologia de resíduos | 40 |
| Figura 12. Plástico flexível | 40 |
| Figura 13. Outros | 40 |
| Figura 14. Rejeitos | 40 |
| Figura 15. Vidro | 41 |
| Figura 16. Não ferrosos (Alumínio) | 41 |
| Figura 17. Capina e poda | 41 |
| Figura 18. Madeira | 41 |
| Figura 19. Papel | 41 |
| Figura 20. Pesagem dos resíduos | 42 |
| Figura 21. Quantidades de resíduo por grupo | 45 |
| Figura 22. Gravimetria dos RSU de Itabirito pela SEMAN em 2013 | 46 |
| Figura 23. Quantidade de resíduos por grupo no estudo realizado pela SEMAN | 46 |
| Figura 24. Variação do potencial de destinação e disposição final dos RSU (%) por estratos, estrato: 1- baixo poder aquisitivo, 2 - médio e alto poder aquisitivo, e 3 - bairro tipicamente comercial | 47 |
| Figura 25. Gravimetria dos RSU no Brasil | 48 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1. Legislação Federal sobre as questões ambientais e resíduos | 12 |
| Quadro 2. Classificação dos resíduos sólidos, de acordo com a NBR 10.004/2004 | 16 |
| Quadro 3: Código de cores para os diversos tipos de resíduos com base na Resolução CONAMA N° 275/2001 | 22 |
| Quadro 4. Disposição dos resíduos sólidos dos municípios próximos a Itabirito | 25 |
| Quadro 5. Preço médio (em R\$/kg) dos materiais recicláveis coletados em 2019, por região | 27 |
| Quadro 6. Estudo gravimétrico em diferentes localidades | 31 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Composição gravimétrica RSU de Itabirito | 44 |
| Tabela 2. População total urbana e rural segundo os censos demográficos | 49 |
| Tabela 3. Estimativa anual da geração de resíduos sólidos em Itabirito | 50 |
| Tabela 4. Dados da evolução das cotas do aterro | 51 |
| Tabela 5. Dados de evolução das cotas do aterro para a 3 ^a , 4 ^a , 5 ^a e 6 ^a fases do aterro | 52 |
| Tabela 6. Estimativa e comparação entre a disposição de resíduos sem coleta seletiva e com coleta seletiva | 53 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. OBJETIVOS | 11 |
| 2.1. Objetivo geral | 11 |
| 2.2. Objetivos específicos | 11 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA | 11 |
| 3.1. Resíduos sólidos frente à legislação ambiental nacional | 11 |
| 3.2. Classificação dos resíduos sólidos | 13 |
| 3.2.1. Classificação quanto à característica dos resíduos | 14 |
| 3.2.1.1. Características físicas | 14 |
| 3.2.1.2. Características químicas | 14 |
| 3.2.1.3. Características biológicas | 15 |
| 3.2.2. Classificação quanto à natureza ou origem | 15 |
| 3.2.3. Classificação quanto à periculosidade | 16 |
| 3.3. Gerenciamento Integrado dos resíduos sólidos | 17 |
| 3.3.1. Etapas do gerenciamento integrado de Resíduos Sólidos Urbanos | 18 |
| 3.3.1.1. Acondicionamento dos Resíduos Sólidos Urbanos | 18 |
| 3.3.1.2. Coleta e transporte dos resíduos sólidos urbanos | 19 |
| 3.3.1.3. Transbordo | 20 |
| 3.3.1.4. Coleta Seletiva | 21 |
| 3.3.1.5. Tratamento de RSU | 24 |
| 3.3.1.5.1. Reciclagem | 25 |
| 3.3.1.5.2. Valores de materiais recicláveis por região | 26 |
| 3.3.1.6. Disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo | 27 |
| 3.3.1.6.1. Lixões | 28 |
| 3.3.1.6.2. Aterro controlado | 29 |
| 3.3.1.6.3. Aterro sanitário | 30 |
| 3.4. Composição Gravimétrica | 30 |
| 4. METODOLOGIA | 32 |
| 4.1. Área de Estudo | 32 |
| 4.1.1. Estudo de caso: Aterro sanitário de Itabirito | 32 |
| 4.1.1.1. Aspectos físicos do aterro | 32 |
| 4.2. Evolução do aterro | 34 |
| 4.3. Rota de coleta de RSU | 35 |
| 4.4. Coleta Seletiva em Itabirito, MG | 36 |
| 4.4.1. RECICLAR | 36 |
| 4.4.2. ASCITO | 37 |
| 4.5. Análise Gravimétrica | 37 |
| 4.4.1. Quarteamento | 39 |
| 4.4.2. Triagem dos resíduos | 40 |
| 4.4.3. Pesagem de cada componente | 41 |

| | |
|--|-----------|
| 4.6. Projeção Populacional | 42 |
| 4.6.1. Projeção aritmética | 42 |
| 4.6.2. Projeção geométrica | 43 |
| 5. RESULTADOS | 44 |
| 5.1. Composição gravimétrica | 44 |
| 5.2. Estimativa da geração de RSU ao longo dos anos de funcionamento do aterro | 49 |
| 5.3. Estimativa da vida útil do aterro sanitário de Itabirito | 51 |
| 6. CONCLUSÕES | 57 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 59 |

1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos tem se tornado um desafio cada vez maior nas sociedades contemporâneas, devido ao crescimento populacional, urbanização acelerada e padrões de consumo em constante evolução. A gestão adequada desses resíduos é essencial para garantir a proteção ambiental, a saúde pública e a sustentabilidade dos recursos naturais.

Apesar da alta cobertura de coleta, a grande maioria desses resíduos sólidos urbanos (RSU) vão para lixões e aterros controlados, com um percentual ainda pequeno de coleta seletiva, reciclagem, compostagem e incineração. O Diagnóstico Temático sobre manejo de RSU do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), publicado em 2022, apresentou uma visão geral sobre a disposição final de RSU no solo, estimando que ainda existam cerca de 1.572 unidades de lixão espalhadas pelo território nacional, 595 unidades de aterro controlado e apenas 669 unidades de aterro sanitário. Em 2021 foram coletados 65,63 milhões de toneladas de RSU, uma média de $0,99 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ de resíduo gerado, sendo a quantidade recuperada de recicláveis secos de 1,7 milhão de toneladas e recicláveis orgânicos com apenas 1.726 unidades de tratamento declaradas e 0,29 milhão de toneladas para 77 unidades de compostagem cadastradas (SNIS, 2022).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida pela Lei Federal nº 12.305 de 2010, declara que a ordem de prioridade para a gestão dos resíduos é: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). Dentre os dispositivos definidos estão: a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa, o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas e outras formas de associação dos catadores de materiais recicláveis. Para atingir os objetivos da PNRS, o conhecimento das características dos RSU é o primeiro passo (BRASIL, 2010).

Este trabalho contém resultados de uma pesquisa de caracterização gravimétrica dos RSU gerados e encaminhados ao aterro sanitário em Itabirito-MG, com o objetivo de obter informações detalhadas sobre a composição dos resíduos gerados no município, a quantidade de resíduos aterrados e estimar o tempo de vida útil do aterro sanitário municipal. Esses dados serão fundamentais para embasar a tomada de decisões relacionadas à gestão sustentável dos resíduos e o desenvolvimento de políticas públicas eficientes.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo deste estudo é conhecer as características quali-quantitativas dos resíduos sólidos urbanos gerados no município de Itabirito/MG, para posterior planejamento da sua gestão integrada e destinação final dos resíduos sólidos urbanos.

2.2. Objetivos específicos

- Analisar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos;
- Estimar a geração e o depósito de RSU ao longo dos anos de funcionamento do aterro;
- Estimar o ganho de vida útil do aterro sanitário do município com o desvio de resíduos recicláveis do aterramento em diferentes cenários.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Resíduos sólidos frente à legislação ambiental nacional

De acordo com a Constituição Federal:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. (BRASIL, 1988, p. 131, art. 225).

A preocupação com a preservação ambiental no referido artigo da Constituição Federal abriu precedentes para que a União determinasse a elaboração e, conseqüente, promulgação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (SILVA, 2021).

A PNRS, instituída pela Lei Federal nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, deve ser compreendida como um conjunto de princípios, objetivos, metas e diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos. Esta lei define resíduos sólidos como:

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

Uma outra definição amplamente aceita é da NBR 10.004/2004, legislação técnica apresentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT, 2004a).

A Legislação Federal rege todo o ordenamento Jurídico Nacional no que tange à questão ambiental. Entretanto, há também a Legislação dos Estados e Municípios, além das Normas Técnicas publicadas pelas diversas associações e conselhos profissionais com interesse no assunto. O Quadro 1 apresenta alguns dos principais instrumentos legais referentes à questão dos resíduos sólidos no Brasil.

Quadro 1. Legislação Federal sobre as questões ambientais e resíduos

| Título | Tema |
|--|---|
| Portaria nº 53/79, do Ministério do Interior | Dispõe sobre a destinação final de resíduos sólidos |
| Resolução CONAMA nº 1/86 | Define “impacto ambiental”. |
| Constituição Federal, art. 24, XII | Determina que a União, os estados e o Distrito Federal têm competência concorrente para legislar sobre a defesa e a proteção da saúde |
| Constituição Federal, art. 30 | Competência privativa dos municípios para organizar e prestar os serviços públicos de interesse local |
| Resolução CONAMA nº 275/01 | 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 |
| Resolução CONAMA nº 313/02 | Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. |
| Resolução CONAMA 348/04 | Altera a Resolução 307, incluindo o amianto na classe de resíduos perigoso |
| Resolução CONAMA nº 358/05 | Tratamento e disposição final dos resíduos sólidos de serviços de saúde (revoga a Res. nº 5/93). |
| Resolução CONAMA nº 362/05 | Estabelece diretrizes para o recolhimento e destinação de óleo lubrificante usado ou contaminado |

| Título | Tema |
|---|--|
| Resolução CONAMA nº 404/08 | Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterros sanitários de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos |
| Decreto Federal nº 4954/2004 | Aprova o regulamento da Lei nº 6894, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização sobre a produção e comércio de fertilizantes, inoculantes, corretivos ou biofertilizantes destinados à agricultura |
| Lei nº 11.445/07 | Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico |
| Lei nº 11.107/05 e seu Decreto regulamentador nº 6.017/07 | Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos |
| Lei nº 12.305/10 | Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS |
| Lei nº 14.026/20 | Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. |

Fonte: Elaborado pelo autor com base no site do MMA (2023)

3.2. Classificação dos resíduos sólidos

Regina Barros (2012) afirma que os resíduos sólidos são classificados segundo suas características físicas, químicas, biológicas, bem como quanto à natureza ou origem e periculosidade.

Para Telles (2022) os resíduos têm sido classificados de 5 maneiras:

- Quanto à periculosidade;
- Quanto à origem;
- Orgânicos (úmidos) e não orgânicos (secos);
- Classificação quanto aos potenciais impactos ambientais; e
- Classificação quanto aos resíduos passíveis de logística reversa.

3.2.1. Classificação quanto à característica dos resíduos

3.2.1.1. Características físicas

As características físicas têm a sua importância na gestão de resíduos nos municípios, como expressado por Barros (2012):

- Geração per capita: quantidade diária de resíduos gerada por habitante;
- Teor de umidade: diz respeito ao peso de água em uma amostra de resíduo sólido;
- Composição gravimétrica: reflete as características qualitativas do resíduo em percentual de peso conforme o grau de detalhamento desejado, como por exemplo (metais, plásticos, papéis, papelão, vidro, etc).
- Peso específico aparente (kg/m^3): Essa característica consiste na relação entre a massa do resíduo não compactado (em kg), em relação ao volume ocupado (em m^3)e
- Compressividade: demonstra o potencial de redução de volume de dada amostra sob ação de alguma pressão sofrida. Essa característica é importante para o dimensionamento dos equipamentos de coleta e transporte, assim como para a vida útil do aterro sanitário.

Dentre as características supracitadas, a composição gravimétrica é de suma importância, pois permite que sejam tomadas providências em relação aos resíduos sólidos. Essas providências devem abranger desde a coleta até a destinação final, sendo de forma totalmente adequada, economicamente viável, tendo em consideração a sustentabilidade ambiental (ALCANTARA, 2010).

3.2.1.2. Características químicas

Seguindo as definições de Barros (2012), tem-se as características químicas dos resíduos:

- Poder calorífico: traduz a energia desprendida na forma de calor que o resíduo libera ao ser submetido a um processo térmico, como por exemplo, a incineração;
- Potencial hidrogeniônico (pH): classifica a massa de resíduo em ácido ($\text{pH} < 7,0$), neutro ($\text{pH} = 7,0$) ou alcalino ($\text{pH} > 7,0$), sendo totalmente relevante para o estabelecimento de um ambiente ideal para as espécies de microrganismos;
- Composição química: fundamental para os processos biológicos de tratamento, uma vez que, o resíduo, apresentando macro e micronutrientes, serve como

metabólito dos microrganismos durante a degradação da matéria orgânica. Essa degradação pode ocorrer através de processos oxidativos, onde aceptores de elétron como oxigênio (O₂), nitrato (NO₃⁻) e o gás carbônico (CO₂) são usados para a oxidação da matéria orgânica, ou por processos fermentativos, nos quais ocorre o rearranjo de elétrons;

- Relação carbono/nitrogênio (C/N): revela o grau de decomposição da massa de resíduo.

3.2.1.3. Características biológicas

As características biológicas são determinadas pelas espécies microbianas e agentes patogênicos encontrados nos resíduos. É essencial o conhecimento sobre essas espécies, uma vez que elas auxiliam no processo de decomposição e compostagem (SILVA, 2021). O estudo da população microbiana e dos agentes patogênicos presentes no lixo urbano, ao lado das suas características químicas, permite que sejam discriminados os métodos de tratamento e disposição mais adequados.

3.2.2. Classificação quanto à natureza ou origem

De acordo com Art. 13 inciso I da PNRS lei nº 12.305/10, os resíduos sólidos têm a seguinte classificação quanto a sua origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;*
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;*
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;*
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;*
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;*
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;*
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;*
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;*
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;*
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;*
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios; (BRASIL, 2010).*

3.2.3. Classificação quanto à periculosidade

Não existe uma diferença substancial entre as duas definições do que é resíduo sólido, mas há diferença na classificação dos resíduos sólidos feita pelas duas. A PNRS classifica os resíduos pela origem e pela periculosidade. Já a NBR 10.004/2004 classifica os resíduos sólidos entre classe I (perigosos) e classe II (não perigosos) (Quadro 2), sendo o último ainda divididos entre inertes e não-inertes (PIMENTA, 2021).

Segundo o inciso II do art. 13º da PNRS (BRASIL, 2010), resíduos perigosos são todos e quaisquer resíduos que tem como propriedade à inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, no qual, apresentam risco à saúde pública ou à qualidade ambiental. Enquanto os resíduos não perigosos, são todos os mesmos que não se enquadram no perfil anterior.

De acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004a) (Quadro 2), os resíduos sólidos podem ser classificados em Resíduos Classe I onde estão os resíduos perigosos, aqueles com grau de periculosidade, e Resíduos Classe II representando os resíduos não perigosos, subdividindo-se em: IIA – não inertes, e IIB – inertes.

Quadro 2. Classificação dos resíduos sólidos, de acordo com a NBR 10.004/2004

| | | |
|------------------------------------|---|---|
| Resíduos Classe I - perigosos | São aqueles que apresentem risco à saúde pública e/ou riscos ao meio ambiente, ou apresentem características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, como, por exemplo, solventes halogenados e não halogenados e lodos. | |
| Resíduos Classe II - não perigosos | São resíduos que não apresentam propriedades que se enquadrem como resíduos perigosos, como, por exemplo, resíduos de madeira, materiais têxteis, minerais não metálicos, areia de fundição, dentre outros. São subdivididos em resíduos classe IIA e classe IIB. | Resíduos classe II A - Não inertes, são aqueles que podem ter propriedades tais como: biodegradabilidade, solubilidade em água ou combustibilidade |
| | | Resíduos classe II B - Quaisquer resíduos 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 |

Fonte: ABNT (2004a)

3.3. Gerenciamento Integrado dos resíduos sólidos

De acordo com a Lei Federal nº 12.305/2010, em seu Art. 3º, Inciso X, gerenciamento de resíduo sólido é:

um conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos, conforme o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei. (BRASIL, 2010).

O conjunto de etapas que compreende o gerenciamento de resíduos sólidos, desde a coleta até a destinação ambientalmente adequada, deve ser planejado atentando-se à interligação das etapas, pois pode influenciar no desempenho das etapas posteriores (BARROS, 2012). Por essa razão, a Lei Federal nº 12.305/2010, através do inciso XI do art. 3º, faz alusão à gestão integrada dos resíduos sólidos como um conjunto de ações voltadas para buscar soluções de forma que sejam consideradas dimensões política, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

Neste sentido, para que seja possível efetivar o gerenciamento sustentável de resíduos sólidos em uma abordagem totalmente integrada, é necessário que os atores envolvidos, em um sistema de responsabilidade compartilhada, sejam amparados por um regime jurídico. Esse sistema deve ser planejado com base nas melhores tecnologias disponíveis (incluindo a viabilidade econômica e de reprodução em larga escala), sendo também imprescindível que apresente a participação pública nos processos de tomada de decisões, visando a gestão da realização das etapas de acondicionamento/coleta/transporte/disposição final, sob um arranjo institucional adequado para o cenário em questão (BARROS, 2012).

O art. 10 da PNRS atribui ao próprio município a responsabilidade sobre a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados em seu território, sem prejuízo dos poderes de controle e fiscalização dos órgãos federais e estaduais do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa) e das responsabilidades dos produtores de resíduos de acordo com o disposto na legislação (BRASIL, 2010).

Para Vilhena (2018), as ações prioritárias para qualquer modelo de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos devem ser estruturadas da seguinte forma:

- A coleta do resíduo sólido é de responsabilidade da prefeitura;
- Propor destinação final ambientalmente correta para todo resíduo coletado;

- Buscar formas de segregação e tratamento para o resíduo do município;
- Deve-se propor programas e implantar campanhas para sensibilizar e conscientizar a população quanto a limpeza da cidade;
- Propor medidas que visem diminuir o consumo e a geração de resíduos.

Ainda assim, no âmbito municipal, conforme Art. 18, Inciso I da PNRS (BRASIL, 2010) acerca dos planos de gestão integrada de resíduos sólidos, incentiva-se a busca por soluções consorciadas, priorizando os consórcios de municípios no acesso aos recursos da União. Já no Inciso II da supracitada Lei, são priorizados também os municípios que implantaram a coleta seletiva com a participação de cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis.

3.3.1. Etapas do gerenciamento integrado de Resíduos Sólidos Urbanos

Para melhor acompanhamento e controle das operações, é necessário ter um programa abrangente em cada etapa do gerenciamento de RSU, atuação regulatória nos municípios, seja pelo poder público ou por empresas capacitadas por meio de concessões, terceirizações ou consórcios (BARROS, 2012).

As etapas do gerenciamento envolvem: o acondicionamento dos resíduos sólidos urbanos, coleta e transporte, tratamento e disposição final ambientalmente adequada.

3.3.1.1. Acondicionamento dos Resíduos Sólidos Urbanos

Todo o tratamento e destinação adequada dos resíduos iniciam-se com o acondicionamento. Essa etapa é geralmente realizada nas residências e demais estabelecimentos, públicos ou privados. O acondicionamento adequado é fundamental para prevenir o derramamento de resíduos nas vias públicas, reduzir a presença de vetores indesejáveis e evitar acidentes envolvendo as pessoas responsáveis pela coleta.

Conforme a NBR 10.004/2004, o acondicionamento dos resíduos se dá em função da sua origem e periculosidade. Para isso deve ser levado em conta também, aspectos da logística reversa e acondicionamento dos resíduos de modo que facilite a sua reinserção na cadeia produtiva (ABNT, 2004). O acondicionamento dos RSU é um fator essencial para a eficiência dos serviços de coleta pública. Os resíduos sólidos devem ser acondicionados nos pontos de geração, em recipientes em conformidade com as características dos mesmos, o recipiente deve possuir compatibilidade física e mecânica com o resíduo gerado (BARROS, 2012).

Embora o acondicionamento seja de responsabilidade do gerador, a administração pública municipal deve exercer funções de regulamentação, educação e fiscalização, inclusive no caso dos estabelecimentos de saúde, visando assegurar condições sanitárias e operacionais adequadas (VILHENA, 2018).

É importante ressaltar a importância do manejo responsável dos resíduos desde o seu ponto de origem, contribuindo para uma gestão mais eficiente e sustentável.

3.3.1.2. Coleta e transporte dos resíduos sólidos urbanos

A operação de coleta compreende desde a partida do veículo de sua garagem, a rota predeterminada para remoção dos resíduos que foram acondicionados nos locais de descarga, até o retorno ao ponto de partida. A coleta dos resíduos urbanos possui 4 tipos de funcionamento (OLIVEIRA, 2020):

- Sistema regular: Coleta porta a porta em intervalos predeterminados aos domicílios, comércios e indústrias de pequeno porte, ou coleta ponto a ponto, quando os resíduos são acumulados em pontos determinados a uma distância média de cada edificação ou postos de entrega voluntária, onde o indivíduo se dirige para destinar seus resíduos recicláveis;
- Coleta especial: realizada mediante escala ou pedido do interessado. São eles: resíduos provenientes de varrição pública, de unidades de saúde, animais mortos, dejetos de feira livre, festas municipais, entre outros;
- Coleta realizada pelo próprio produtor: resíduos industriais e resíduos de construção civil. Nestes casos, os geradores são os responsáveis pelo tratamento, transporte e disposição final adequada indicada pela prefeitura ou pela entidade responsável pelo serviço;
- Coleta seletiva: é o recolhimento de materiais de degradação mais lenta, como por exemplo: papel, papelão, plásticos e metais. Esses materiais devem sempre estar separados dos resíduos de decomposição rápida como: restos de alimentos, podas de árvores e material orgânico em geral, que devem ser encaminhados para a compostagem.

Diferente do acondicionamento, a coleta de resíduos e o seu transporte para tratamento ou disposição final são serviços do poder público. A ABNT, através da NBR 12.980/93 classifica os diferentes tipos e define as atividades de coleta, sendo elas: coleta contratada, domiciliar, seletiva, ambulatorial, especial, hospitalar externa, particular, de resíduos de feiras,

praias e calçadões, de resíduos com riscos para saúde, de varredura, dentre outras (ABNT, 1993).

As diretrizes para os veículos de coleta, sobretudo os caminhões compactadores, amplamente difundidos no Brasil, são contempladas pelas NBR 14.599 (ABNT, 2020), que determina os requisitos de segurança para os coletores-compactadores móveis, de resíduos sólidos, de carregamento traseiro e lateral; e NBR 13.332/2010 (ABNT, 2010b), que define os termos relacionados ao coletor-compactador de resíduos sólidos, acoplado ao chassi de um veículo rodoviário, e seus componentes principais.

O propósito principal da remoção regular dos RSU gerados pela sociedade é impedir a proliferação de vetores causadores de doenças. Alguns exemplos comuns de vetores são ratos, baratas e moscas, que ao encontrarem resíduos com condições ideais para se desenvolverem, proliferam.

3.3.1.3. Transbordo

Estações de transbordo são instalações intermediárias importantes no gerenciamento de resíduos. Elas são utilizadas quando a distância entre a área de coleta e o aterro sanitário é grande, inviabilizando várias viagens diretas. Em situações similares, a carga de resíduos de um veículo coletor é transferida para outro veículo de maior capacidade na estação de transbordo. Isso permite um transporte mais eficiente, economizando tempo e recursos. Este veículo de maior capacidade, quando cheio, é responsável por transportar os resíduos até o aterro sanitário facilitando a movimentação dos resíduos e tornando o processo de descarte adequado mais fácil e sustentável (NARDI e PORTO, 2020).

As estações de transbordo podem ser classificadas em quatro tipos (NUNES, 2015).

- **Estações com transbordo direto:** o transbordo direto é o método mais utilizado atualmente. Este tipo de estação é caracterizado pela presença de um desnível entre os pavimentos, para que os caminhões de coleta descarreguem os resíduos diretamente no veículo de transferência, não havendo um local para armazenamento temporário dos resíduos. Dessa forma, estas estações exigem um maior número de veículos de transferência, para certificar que os caminhões de coleta não necessitem esperar nas estações;
- **Estações com armazenamento:** diferentemente das estações de transbordo direto, as estações com armazenamento são aquelas que possuem um local para a estocagem dos resíduos, exigindo um menor número de veículos. Este tipo de estação é ideal para

locais onde há picos de vazamento, ou seja, quando os horários de coleta das cidades são parecidos, e há um alto volume de resíduos que chega no mesmo horário;

- **Estações com compactação:** as estações de transbordo com compactação adotam um sistema hidráulico que comprime os resíduos, aumentando a massa específica dos mesmos. Dessa forma, tem-se uma maior quantidade de resíduos por veículo de transporte, gerando redução de gastos financeiros;
- **Estações sem compactação:** as estações de transbordo sem compactação necessitam de lugares com maior área, portanto, modelos comuns são aqueles que contam com pátios pavimentados, cobertura e fechamento lateral, para que não haja exposição dos resíduos ou riscos de vazamentos, seguindo a legislação. A transição dos resíduos para os veículos de transferência pode ser feita por meio de escavadeiras hidráulicas ou pás carregadeiras, agilizando o processo.

3.3.1.4. Coleta Seletiva

Coleta seletiva é a coleta diferenciada de resíduos que foram previamente separados segundo a sua constituição ou composição (BRASIL, 2010). Os resíduos com características similares devem ser selecionados pelo gerador e disponibilizados para a coleta separadamente.

A coleta seletiva é um procedimento importante para o bom desempenho da gestão dos RSU e é, também, fundamental para se alcançar os objetivos de disposição final dos resíduos corretamente, de acordo com as recomendações ambientais. É, portanto, uma forma de tratamento aplicado ao resíduo. Tem seu início na geração pela segregação ou separação dos materiais, com observação para a classificação em orgânicos e inorgânicos, e na sequência a disponibilidade para a coleta (BARROS, 2016).

A coleta seletiva é um dos instrumentos definidos pela PNRS e detém um papel importante e fundamental na gestão dos resíduos, seja por gerar oportunidade de trabalho e renda a população menos favorecida ou por reduzir a quantidade de resíduo enviada aos aterros sanitários, sem o devido tratamento (OLIVEIRA, 2020).

Como mencionado anteriormente, existem duas formas básicas e primordiais para a coleta seletiva: a separação de secos e úmidos (coleta seletiva simples) e a separação de materiais (coleta multisseletiva). A separação dos materiais é realizada por coletores que se diferenciam pela cor, que foram definidos pela resolução CONAMA 275/2001 (BRASIL, 2001) e estão dispostos no Quadro 3.

Quadro 3: Código de cores para os diversos tipos de resíduos com base na Resolução CONAMA N° 275/2001

| Cor | Material |
|------------|---|
| Azul | Papel/papelão |
| Vermelho | Plástico |
| Verde | Vidro |
| Amarelo | Metal |
| Preto | Madeira |
| Laranja | Resíduos Perigosos |
| Branco | Resíduos ambulatoriais e de serviços de saúde |
| Roxo | Resíduos radioativos |
| Marrom | Resíduos orgânicos |
| Cinza | Resíduo geral não reciclável ou misturado, ou contaminado não passível de separação |

Fonte: CONAMA (2001)

A coleta multisseletiva, regulamentada pela Resolução CONAMA 275/2001, oferece diversas vantagens, como a obtenção de materiais mais limpos para o mercado, economia no processamento dos resíduos (?), sem a necessidade de equipamentos especiais e estimula uma maior consciência do consumidor sobre seus hábitos de descarte (MIRANDAS; MATTOS, 2018). Para esse tipo de coleta devem ser utilizados veículos compartimentados, como o da Figura 1.

Figura 1. Caminhão adaptado para coleta multisseletiva



Fonte: ALINE et. al (2018)

A coleta seletiva simples ou diferenciada apresenta algumas vantagens em relação à coleta multisseletiva tornando a operação de coleta menos complexa. Nesse tipo de coleta, são utilizados veículos com menos compartimentos, o que agiliza e reduz os custos do processo. Além disso, permite uma maior flexibilidade na adição ou remoção de materiais na cadeia de coleta, sem a necessidade de alterar os contêineres, já que o espaço disponível é amplo.

No entanto, os contêineres utilizados na coleta seletiva simples não são tão pequenos quanto os da coleta multisseletiva o que pode impactar na ocupação de espaço nas vias públicas. Apesar disso, a coleta seletiva simples continua sendo uma alternativa eficiente para promover a reciclagem e a destinação adequada dos resíduos sólidos, contribuindo para a preservação do meio ambiente e a promoção da sustentabilidade (MIRANDAS; MATTOS, 2018).

É importante salientar que a perspectiva da coleta seletiva trazida pela PNRS auxilia a inclusão dos integrantes da cadeia de reciclagem no Brasil, composta por catadores de recicláveis, sucateiros e indústrias. Apesar da relevância de seu trabalho para os municípios, trazendo benefícios sociais, econômicos e ambientais por meio da agregação de valor aos materiais recicláveis recolhidos, os catadores ainda são pouco valorizados e são os que menos se beneficiam dessa atividade (OLIVEIRA, 2020).

Ainda, segundo Oliveira (2020) deve-se entender a coleta seletiva envolvendo três agentes: o setor público, responsável pela gestão dos resíduos sólidos; a sociedade civil, responsável pela segregação e disponibilização dos materiais recicláveis; e a indústria, que

deve ser responsável por estruturar e viabilizar o sistema de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor final.

3.3.1.5. Tratamento de RSU

O tratamento dos RSU é um conjunto de procedimentos destinados a reduzir a quantidade de resíduos ou eliminar as características de seu aspecto de contaminação, seja impedindo seu descarte em locais inapropriados ou convertendo-o em material inerte ou bio-estável (SOUZA, 2017).

De acordo com Medeiros (2022), no tratamento de resíduos destacam-se três principais formas: o tratamento mecânico, que é realizado a partir de procedimentos como compactação, moagem, sedimentação, inclusive reciclagem; o tratamento bioquímico, realizado sob a ação de microrganismos que se alimentam dos detritos, quebrando as moléculas e transformando as misturas de substâncias a partir da digestão biológica e compostagem; e tratamentos térmicos onde os resíduos são aquecidos e provocam alterações em suas propriedades devido a processos físico-químicos que ocorrem no processo, como na incineração, pirólise ou plasma.

A escolha do processo mais adequado de tratamento depende fundamentalmente das características do resíduo a ser tratado, sendo de origem orgânica ou não (SAIANI, DOURADO e JUNIOR, 2014).

Embora exista um grande conjunto de tecnologias para tratamento ou disposição final de RSU, alguns processos têm recebido maior atenção, seja por adequação à legislação, seja pelo domínio tecnológico ou seja por serem culturalmente aceitos (SAIANI, DOURADO e JUNIOR, 2014).

A compostagem da parcela orgânica dos RSU é um dos métodos de tratamento considerados adequados no Brasil, mas sua taxa de adoção é ínfima. Estima-se que, diariamente, sejam descartadas 100.000 toneladas de matéria orgânica como RSU, sendo 98% desse montante descartado no solo, aterros e lixões, e apenas 2% recebem tratamento (MORAIS, 2022).

Felicori (2016) afirma que, enquanto o aterro sanitário é uma tecnologia de disposição final, a unidade de triagem e compostagem (UTC) é uma tecnologia que deve anteceder a etapa de disposição, pois proporciona o reaproveitamento dos resíduos por meio da triagem e da compostagem da fração orgânica. Essa última pode ser utilizada para produzir adubos orgânicos, um material essencial que é reintroduzido na produção alimentícia.

Assim, à medida que os conceitos de desenvolvimento sustentável e economia circular ganham cada vez mais importância, esse processo biológico de decomposição e reciclagem de resíduos sólidos converte materiais originalmente considerados inúteis e destinados à aterros sanitários em compostos orgânicos ricos em nutrientes que são reaproveitados para a produção agrícola (urbana ou rural), recuperação de áreas verdes, entre outras diversas aplicações (MEDEIROS, 2022).

O Quadro 4 apresenta os municípios ao redor de Itabirito e a respectiva destinação dada aos seus resíduos sólidos.

Quadro 4. Disposição dos resíduos sólidos dos municípios próximos a Itabirito

| Local | Resíduo | Tratamento dado | Adequação à legislação ambiental | Fonte |
|--------------------|--|---------------------------------|---|---|
| Ouro Preto - MG | RSU misturado | Aterro controlado/lixão | Inadequado | Prefeitura Municipal de Ouro Preto (2023) |
| Santa Bárbara - MG | RSU, resíduos de poda, capina, resíduos volumosos, RCC | Aterro Controlado | Inadequado | SINIR (2019) |
| Nova Lima | RSU misturados | Aterro Sanitário de Sabará - MG | Adequado | Prefeitura Municipal de Nova Lima (2023) |
| Brumadinho | RSU misturado | Aterro Sanitário municipal | Adequado | SINIR (2019) |
| Moeda | RSU misturado | Aterro Sanitário de Sabará - MG | Adequado | SINIR (2019) |

Fonte: Do autor (2023)

3.3.1.5.1. Reciclagem

A reciclagem é um processo de transformação de um material usado em um totalmente novo. Ou seja, materiais que seriam descartados são re-inseridos no ciclo produtivo e utilizados como matéria-prima secundária para a fabricação de novos produtos (TELLES, 2022).

Nas mais diversas atividades cotidianas, são produzidos resíduos potencialmente recicláveis, como jornais, plásticos, latas de alumínio, vidros de conserva, garrafas plásticas, etc. De acordo com Miller Jr. (2011) apud. Silveira (2021) há dois tipos de reciclagem, a depender da natureza do material ao final desse processo:

- Reciclagem primária ou em circuito fechado, que se refere a obtenção do mesmo tipo de produto que deu origem ao material descartado. Nessa categoria pode-se incluir a reciclagem de latas de alumínio, as quais dão origem a novas ao final do processo;
- Reciclagem secundária ou *downcycling*, nessa categoria, os resíduos são transformados na reciclagem e, no final, é obtido um produto diferente daqueles que deram origem ao material descartado. Por exemplo, as garrafas PET (polietileno tereftalato) após a reciclagem dão origem a fios utilizados na confecção de tecidos.

Reciclar resíduos sólidos é um processo importante que visa transformar materiais que seriam descartados no lixo em novos produtos úteis. Essa prática ajuda a reduzir a quantidade de resíduos que acabam em aterros sanitários e, conseqüentemente, diminui o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado e prolonga a vida útil do aterro.

A reciclagem pode ser realizada por meio de diferentes processos, como a separação manual, a separação por meio de máquinas e a compostagem. Cada tipo de resíduo tem um processo específico de reciclagem, que pode envolver a trituração, lavagem e outros métodos.

A reciclagem de resíduos sólidos é importante não só para o meio ambiente, mas também para a economia, pois gera empregos e reduz os custos de produção de novos materiais. Além disso, a reciclagem contribui para a preservação dos recursos naturais, já que materiais reciclados podem substituir a matéria-prima virgem em diversos produtos.

3.3.1.5.2. Valores de materiais recicláveis por região

Os valores dos materiais recicláveis podem variar dependendo do estado brasileiro e das condições do mercado local. Com o objetivo de apresentar os preços correspondentes às vendas dos materiais recicláveis oriundos de programas de coleta seletiva e cooperativas por estados, tem-se o Quadro 5 disponível no Panorama dos resíduos sólidos no Brasil (2021).

Quadro 5. Preço médio (em R\$/kg) dos materiais recicláveis coletados em 2019, por região

| Região | Papel | Plástico | Alumínio | Outros Metais | Vidro | Outros materiais |
|--------------|-------|----------|----------|---------------|-------|------------------|
| Norte | 0,25 | 0,85 | 2,20 | 0,35 | 0,15 | 0,26 |
| Nordeste | 0,34 | 1,02 | 3,78 | 0,38 | 0,10 | 1,22 |
| Centro-Oeste | 0,33 | 0,76 | 2,97 | 0,35 | 0,02 | 0,31 |
| Sudeste | 0,46 | 1,06 | 3,55 | 0,56 | 0,09 | 0,91 |
| Sul | 0,41 | 0,99 | 2,68 | 0,37 | 0,08 | 0,290 |
| Brasil | 0,39 | 0,92 | 3,05 | 0,41 | 0,08 | 0,54 |

Fonte: ABRELPE (2021)

Diante das informações prestadas pela ABRELPE (2021), pode-se concluir que existe variação dos valores de venda dos materiais recicláveis nas 5 regiões geográficas do Brasil, o que favorece a validação da reciclagem no país, atribuindo principalmente as ações de coleta seletiva e cooperativas de reciclagens nos respectivos estados analisados.

Esses valores são apenas estimativas, os preços estão sujeitos a mudanças frequentes devido a flutuações na economia e nas políticas de reciclagem. É recomendável entrar em contato com cooperativas de reciclagem locais ou empresas de reciclagem, já que essas entidades costumam ter acesso a dados e informações relevantes sobre os preços atuais dos materiais recicláveis.

3.3.1.6. Disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo

O Inciso VIII do Art. 3º da PNRS define:

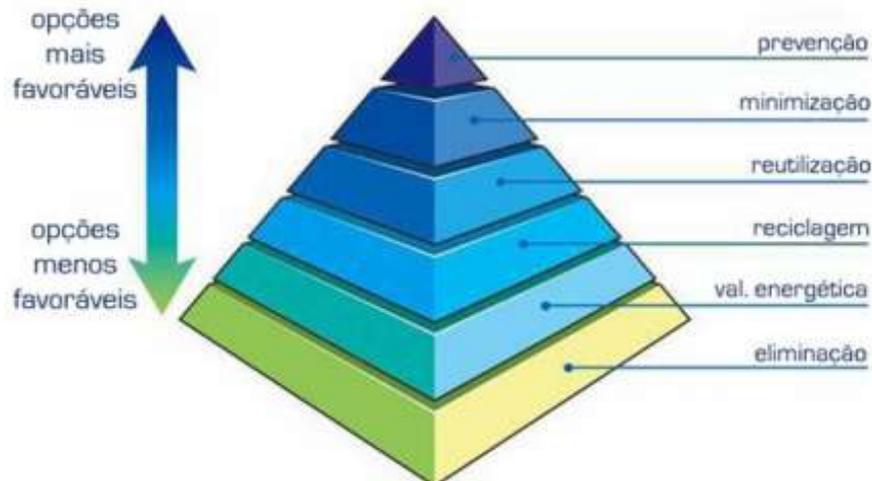
[...] disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos; [...](BRASIL, 2010).

Silva (2021) destaca a ordem de prioridades a serem consideradas perante os resíduos sólidos como um dos conceitos mais importantes da PNRS. Esse conceito, chamado de “hierarquia dos resíduos”, é composto de sete passos que englobam a não geração de resíduos, redução, reutilização, reciclagem, tratamento, destinação e disposição final. A Figura 2

representa esses passos e os classifica em relação às opções mais ou menos favoráveis ao meio ambiente.

Figura 2. Hierarquia da gestão de resíduos

Hierarquia de Gestão de Resíduos
Linhas de Orientação UE



Fonte: BARROS (2012)

No Brasil, existem três tipos de disposição para os RSU: os lixões, os aterros controlados e os aterros sanitários, com os dois primeiros estando em total desconformidade com a legislação (PNRS), que determina que a disposição final dos RSU deve ocorrer em aterros sanitários (OLIVEIRA, 2020). Como existem diferentes definições para um sistema de disposição final, são descritos a seguir os termos usualmente empregados e seu significado técnico.

3.3.1.6.1. Lixões

Lixão é um termo utilizado para se referir a um local onde o lixo é depositado de maneira inadequada e sem os cuidados necessários para a sua disposição final. Segundo Iwai (2012) o depósito de resíduos sólidos a céu aberto é uma forma de deposição desordenada e sem compactação ou cobertura dos resíduos.

Um lixão localizado próximo a cursos d'água ou a lençol freático faz com que os lixiviados afetem a qualidade da água, prejudicando a fauna e a flora aquáticas, além de comprometer o abastecimento de água da população local. Além disso, a existência de lixões em áreas urbanas acarreta consequências adversas para a saúde pública. Esses locais atraem

vetores transmissores de doenças e podem desencadear enfermidades respiratórias e gastrointestinais entre os residentes locais (NOGUEIRA; DANTAS, 2023).

Esta forma de disposição final ainda é muito utilizada no país devido à dificuldade em realizar a logística e o custo do resíduo para encaminhá-lo a um aterro sanitário. Em 2019 cerca de 1.110 municípios, aproximadamente 28% do país, ainda dispunham seus resíduos em lixões a céu aberto (SINIR, 2019).

Em 2019 o Ministério do Meio Ambiente inaugurou o Programa Nacional Lixão Zero que visa atender à PNRS e visa incentivar a desativação dos lixões existentes no país, além de apoiar os municípios em soluções mais adequadas de destinação final dos resíduos sólidos, como os aterros sanitários (MMA, 2019).

O Novo Marco do Saneamento, altera o Art. 54 da Lei Federal 12.305/08 que dispõe sobre fim dos lixões nos municípios brasileiros até 31 de dezembro de 2020, o que pode variar a conforme a existência de planos intermunicipais de resíduos sólidos, planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos, sustentabilidade econômico-financeira com os serviços de gestão de resíduos e o número de habitantes nos municípios com base no Censo Demográfico de 2010. De modo geral, a lei prevê o encerramento de todos os lixões do Brasil até 2024.

3.3.1.6.2. Aterro controlado

O aterro controlado é um local de disposição de resíduos sólidos urbanos que utiliza técnica de recobrimento dos resíduos com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho (BARTHOLOMEU; CAIXETA-FILHO, 2012). Na prática, o aterro controlado equivale a um lixão, pois não possui métodos que impeçam a contaminação do solo e das águas, apresentando assim, problemas parecidos aos dos lixões.

Segundo Ferla (2016), o aterro controlado é uma forma simplificada de aterro sanitário, já que não é prevista a implantação de sistema de coleta e tratamento de líquidos percolados e de sistema de drenagem de gases. Em função disso este método não deve ser considerado como solução definitiva para os resíduos sólidos, notadamente no que se refere à poluição das águas superficiais, subterrâneas e do solo

Este método de disposição produz poluição, porém de forma controlada, e geralmente não dispõe de impermeabilização de base, nem sistemas de tratamento do percolado, e do biogás gerado. O aterro controlado é um método mais indicado que o lixão, mas em virtude dos problemas ambientais que causa e aos seus custos de operação, é de qualidade bastante inferior ao aterro sanitário (FERLA, 2016).

3.3.1.6.3. Aterro sanitário

A NBR 15.849/2010 dispõe sobre as diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento de aterros sanitários de pequeno porte. Essa tipologia de aterros é definida como a técnica de disposição de RSU no solo, sem causar danos à saúde pública, minimizando os impactos ambientais. Este método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos de maneira que fiquem dispostos em uma menor área possível ocupando o menor volume permissível, cobrindo-o com uma camada de solo ao final de cada jornada de trabalho, ou quando necessário (ABNT, 2010a).

Segundo esta mesma norma, existem 4 formas de disposição em aterros sanitários, descritas abaixo.

- Em valas: escavações com profundidade limitada e largura variável com os resíduos confinados por todos os lados;
- Em trincheiras: escavações sem limitação de profundidade e largura, caracterizado pelo confinamento dos resíduos em três lados e sua operação é do tipo mecanizada;
- Em encosta: utiliza de taludes preexistentes no terreno, como por exemplo áreas de ondulações, depressões naturais e encostas de morros para poder dispor os resíduos;
- Em área: é caracterizado pela disposição dos resíduos em área plana acima da cota do terreno natural.

Os aterros sanitários são regulamentados por leis e normas específicas, como a mais recente Deliberação Normativa COPAM nº 244, de 27 de janeiro de 2022 que dispõe sobre os critérios para implantação e operação de aterros sanitários em Minas Gerais e dá outras providências, estabelecendo requisitos técnicos e operacionais para o seu funcionamento, tais como: distância mínima de áreas residenciais, monitoramento ambiental, controle de vetores (como ratos e insetos), dentre outros REF().

3.4. Composição Gravimétrica

A composição gravimétrica é a análise quantitativa dos resíduos sólidos urbanos por meio da separação e pesagem dos materiais que os compõem. Essa análise permite conhecer a proporção de cada tipo de resíduo gerado em uma determinada região, o que é fundamental para o planejamento de ações de gestão e de políticas públicas relacionadas à gestão de resíduos.

A NBR 10.007/2004 é uma norma técnica da ABNT que estabelece procedimentos para amostragem de resíduos sólidos. Essa norma é aplicável a todos os tipos de resíduos

sólidos, desde que não sejam perigosos ou radioativos (ABNT, 2004b).

Os procedimentos estabelecidos na NBR 10.007/2004 têm como objetivo garantir a representatividade das amostras coletadas e a qualidade das análises realizadas. A norma estabelece critérios para a escolha dos locais de coleta, a forma de coleta, o armazenamento e o transporte das amostras, bem como os procedimentos para a preparação das amostras para análise. Além disso, também estabelece as informações que devem constar no relatório de amostragem, tais como: identificação do resíduo, data e local de coleta, método de amostragem utilizado, quantidade coletada, identificação do responsável pela coleta, entre outras informações (ABNT, 2004b).

A partir dos resultados da análise da composição gravimétrica, é possível identificar as principais fontes de geração de resíduos e, assim, elaborar planos de gestão integrada de resíduos sólidos, que envolvem ações de redução, reutilização, reciclagem e disposição final adequada.

O Quadro 6 retrata diferentes localidades que realizaram o estudo gravimétrico e seus respectivos resultados, com o intuito de compará-los com o estudo realizado no município de Itabirito.

Quadro 6. Estudo gravimétrico em diferentes localidades

| Local | Método de análise gravimétrica | Resultados | Fonte |
|--|---|--|-------------------------------|
| Maria da Fé/MG | Quarteamento | Papel/Papelão: 11,1%; Plástico: 12,2%; Vidro: 2,80%; Metal: 5,60%; Matéria Orgânica: 55,6%; Outros: 12,7% | (Alkmin; Junior, 2016) |
| Municípios consorciados ao Consórcio Intermunicipal de Resíduos Sólidos Urbanos da Região Sul (Cirsures) | Quarteamento | Papel/Papelão: 10,69%; Plástico: 16,53%; Vidro: 3,89%; Metal: 4,11%; Multicamadas: 2,46%; Rejeito: 7,31%; Trapos: 4,29%; Lixo sanitário: 12,89%; Madeira 0,06% | Guadagnin et. al (2014) |
| Mineiros/GO | Amostra homogênea | Papel: 25%; Plástico: 12%; Vidro: 3% Metal: 5% Orgânico: 40%; Outros: 15% | Souza, Moura e Machado (2020) |
| Baixo Jequitinhonha (16 municípios) | Divisão Socioeconômica por bairros/quarteamento | Papel: 8,7%; Plástico: 10,7%; Vidro: 1,8%; Metal: 1,7%; Orgânicos:48,1%; Rejeitos: 14,5%; Outros: 14,1% | Soares (2013) |

Fonte: Do autor (2023)

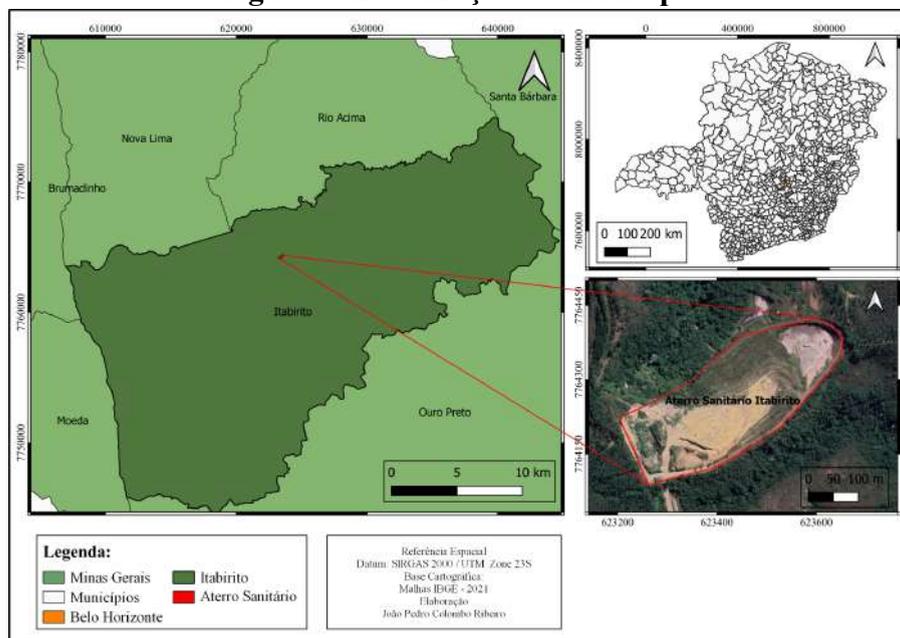
4. METODOLOGIA

4.1. Área de Estudo

O município de Itabirito está localizado a 848 m de altitude. Sua posição é determinada pelas coordenadas geográficas centrais 20° 15' 11" S e 43° 47' 21" O. Possui uma área territorial de 544,027 km² (IBGE, 2021). Está situado na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte e microrregião de Ouro Preto.

O aterro sanitário municipal, localizado à Rodovia dos Inconfidentes no km 47, nas coordenadas geográficas 20° 12' 58" S e 43° 49' 08" O é apresentado na Figura 3, bem como os municípios limítrofes ao município de estudo

Figura 3. Localização do município



Fonte: Do Autor (2023)

4.1.1. Estudo de caso: Aterro sanitário de Itabirito

4.1.1.1. Aspectos físicos do aterro

A topografia do aterro se apresenta como uma crista achatada de um “divisor de águas” local e limitado pelos dois lados por superfícies alternadamente convexas e côncavas, onde a declividade varia de 12% a 75%. Sondagens feitas para a elaboração do Relatório de Controle Ambiental mostraram existir regularidade na constituição do subsolo, sendo composto por uma camada subsuperficial de coluvião argilo-siltoso, seguida, de um solo residual de filito silto-argiloso com alteração de filito silte-argiloso, que consiste entre muito rijo e impenetrável à percussão (SIAM, 2009).

4.1.1.2. Descrição da operação do aterro sanitário

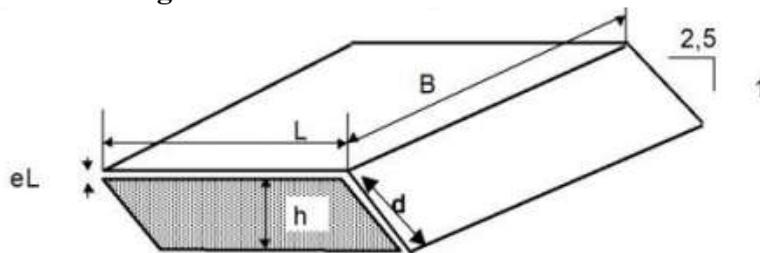
Em 2007, o aterro sanitário de Itabirito entrou em operação, substituindo uma área que anteriormente funcionava como lixão. Durante o primeiro ano de funcionamento do aterro, foram depositados os resíduos que correspondiam a aproximadamente 12 anos de acumulação do lixão, juntamente com os resíduos gerados pela população ao longo desse mesmo ano. Essa ação representou um importante marco na gestão dos resíduos sólidos da cidade, proporcionando uma forma mais adequada e sustentável de disposição dos resíduos urbanos.

As atividades diárias do aterro sanitário de Itabirito iniciam-se com a coleta de resíduos nas vias públicas do município. Os veículos de coleta percorrem as ruas e recolhem os resíduos urbanos. Ao chegar na entrada do aterro, os veículos passam por uma balança eletrônica, onde é realizada a pesagem dos resíduos coletados. Após a pesagem, os resíduos são encaminhados à área de operação do aterro, seguindo as diretrizes e procedimentos adequados para a sua disposição segura e controlada. Essa rotina de coleta, pesagem e descarte é fundamental para garantir a eficiência e o bom funcionamento do aterro sanitário, contribuindo para a gestão adequada dos resíduos sólidos de Itabirito.

O sistema de aterramento e recobrimento dos resíduos no aterro sanitário de Itabirito é realizado em uma rampa com inclinação de 1:2,5, conforme ilustrado na Figura 4. A inclinação é representada pela letra "d". A célula de disposição de resíduos possui um comprimento "B" e uma largura "L", sendo que "eL" é o limite entre as camadas de resíduo e solo, e "h" é a altura da célula diária.

Após o descarregamento, os resíduos são espalhados em camadas com uma espessura aproximada de 30 cm e compactados. De acordo com o operador do aterro, o caminhão prensa passa sobre os resíduos pelo menos seis vezes para garantir a adequada compactação. A forma da célula diária não deve exceder 1,5 m de altura e é caracterizada como um prisma regular de base retangular (PEREIRA, 2021). No final do dia, o topo da célula é recoberto por 60 cm de terra, visando a não proliferação de vetores, como moscas, e também a diminuição do odor.

Figura 4. Célula diária de aterramento



Fonte: Pereira (2021)

4.2. Evolução do aterro

O Relatório Técnico de operação do Aterro Sanitário, disponível no acesso de visitantes da plataforma do Sistema Integrado de Informação Ambiental (SIAM, 2009) desempenhou um papel importante nesse estudo, fornecendo diretrizes e informações relevantes. Ele detalhou as estimativas de crescimento populacional, as projeções de geração de RSU e outros aspectos para a análise da evolução do aterro. Com base nessas informações, foi possível compreender a evolução esperada do aterro, permitindo um gerenciamento adequado dos resíduos e garantindo uma operação eficiente e sustentável ao longo do tempo.

Para planejar a evolução do aterro, o primeiro passo foi realizar uma estimativa do crescimento populacional. Essa estimativa foi fundamental para determinar o volume de resíduos sólidos urbanos que seriam gerados ao longo do tempo, utilizando uma progressão linear até o ano de 2023, sendo possível determinar a quantidade de resíduos que seriam gerados ao longo dos anos de operação do aterro. Esses dados foram fundamentais para o planejamento adequado do local e para garantir a capacidade necessária para acomodar os resíduos gerados pela população.

O estudo da evolução do aterro foi feito mediante informações coletadas no documento de RCA (GEOMIL Ltda, 1998) apud. Pereira (2021) do aterro sanitário de Itabirito.

Em que:

- Área de uma célula: 32 m²;
- Altura de uma célula: 2,55 m;
- Volume de uma célula: 81,6 m³;
- Área inicial de operação do aterro: 30.000 m².

O RCA propõe um projeto básico de um aterro sanitário, do tipo “de superfície” e que seria implantado ao longo de seis fases a saber:

- 1ª fase - entre 970 (mínima da base) e 979 (topo, ao final da etapa);
- 2ª fase - entre 979 e 985;
- 3ª fase - entre 985 e 991;
- 4ª fase - entre 991 e 997;
- 5ª fase - entre 997 e 1003;
- 6ª fase - entre as cotas 1003 e 1009 (cota máxima do topo, ao final da vida útil do aterro).

A partir desses dados, para cada nova camada de resíduo e de aterramento, foi estimado o número de células de acordo com a área de operação. É importante frisar que, para cada cota que sobe, a área de operação do aterro reduz em cerca de 144 m² da área da cota anterior, pois o aterro cresce em formato de “pirâmide” (PEREIRA, 2021). A partir disso, foi possível determinar a evolução das cotas do aterro ao longo dos anos e a sua previsão para os próximos anos.

4.3. Rota de coleta de RSU

A rota de coleta de resíduos é um plano organizado pelo setor de gestão de resíduos sólidos do município para recolher o lixo das residências, empresas e áreas públicas. A rota é projetada de forma a maximizar a eficiência da coleta, garantindo que todos os locais sejam atendidos regularmente. O Quadro 7 apresenta as rotas realizadas pelos caminhões de coleta para a zona urbana do município.

Quadro 7. Rotas da coleta de resíduos – Área urbana (continua)

| SEGUNDA-FEIRA, QUARTA-FEIRA E SEXTA-FEIRA |
|--|
| Manhã (7h às 15h20min) |
| BEM VIVER, BOA VIAGEM, CARDOSO, CRUZ DAS ALMAS, CENTRO, CONDOMÍNIO SANTA CLARA, DONA LUIZINHA, MONTE SINAI, NOVO HORIZONTE, PADRE ADELMO, PADRE EUSTÁQUIO, PRAIA, SANTA TEREZA, SÃO GERALDO, SAUDADE, TOMBADOURO, VILA GONÇALO |
| Tarde (16h às 00h20min) |
| AGOSTINHO RODRIGUES, CAPANEMA, CENTRO, COHAB, ESPERANÇA, DISTRITO INDUSTRIAL, DONA LILA, FUNCIONÁRIOS, IAPI, JOÃO CAROLINO, NOSSA SENHORA DE FÁTIMA, QUINTA DOS INCONFIDENTES, RODOVIA DOS INCONFIDENTES, SANTO ANTÔNIO, SERRA AZUL, VILA JOSÉ LOPES |

| TERÇA-FEIRA, QUINTA-FEIRA E SÁBADO |
|--|
| Manhã (7h às 15h20min) |
| ADÃO LOPES, ÁLVARO MAIA, ALTO DA ANTENA, BELA VISTA, BELLO MONTE, CENTRO, ESPLANADA DA SERRA, FLORESTA, ITAUBIRA, LIBERDADE, LOURDES, MONTE VERDE, PEDRA AZUL, PORTÕES, RODOVIA DOS INCONFIDENTES, SANTA EFIGÊNIA, SÃO JOSÉ, SÃO MATEUS, VAN DAMME, VENEZA |
| Tarde (16h às 00h20min) |
| CALÇADAS, CENTRO, ESTÂNCIA REAL, FAZENDA BANANAL, GUTIERREZ, MATOZINHOS, MORADA VIVA, MUNU, NOVO ITABIRITO, NOVO SANTA EFIGÊNIA, PRAIA, PRIMAVERA, RECANTO DAS COLINAS, RODOVIA DOS INCONFIDENTES, SANTA RITA, VILA DOS ENGENHEIROS, VILLAGE PARK |

Fonte: Prefeitura Municipal de Itabirito (2023)

A composição gravimétrica foi realizada em uma terça-feira pela manhã no dia 04 de Outubro de 2022, desta forma, os resíduos amostrados advinham dos bairros onde a coleta passava no período vespertino e noturno do dia 03.

4.4. Coleta Seletiva em Itabirito, MG

Em Itabirito, a coleta seletiva começou em 2002, através da organização da Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis de Itabirito (ASCITO). Inicialmente, a associação não possuía estrutura adequada para atender o município, posteriormente, com a implantação do Programa de Coleta Seletiva no Município, dada pela redação da Lei Municipal 2.412 de 01 de julho de 2005, e o reconhecimento legal pautado na Lei Municipal 2.415 de 11 de julho de 2005 como sendo uma associação de utilidade pública municipal, a ASCITO conseguiu adquirir um galpão e equipamentos para atingir melhorias na coleta e triagem dos resíduos.

No ano de 2016 é fundada a RECICLAR - Associação Mineira de Catadores de Materiais Recicláveis que deu início em suas atividades com 18 associados e dois galpões para triagem dos resíduos.

4.4.1. RECICLAR

A RECICLAR fica localizada na Rua Benjamin Simões, Quintas Inconfidentes. Registrada no CNPJ sob nº 24.472.825/0001-77, possui duas prensas e uma balança, a qual não estava em funcionamento. Atualmente a associação se encontra sem caminhão próprio para a coleta nos bairros, de acordo com informações apresentadas pela prefeitura.

A infraestrutura do local é composta por uma cozinha, dois banheiros e duas caixas d'água de 150 e 250 L respectivamente. Os galpões apresentam parte descoberta, onde está localizado um container para coleta de vidro, que quando cheio é recolhido e destinado para o estado de São Paulo pela empresa responsável. Na estrutura coberta ocorre a triagem dos materiais e separação por *bags*. A equipe é qualificada para a triagem, porém a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's) ainda é negligenciada.

Segundo os dados da Secretaria de Meio Ambiente de Itabirito, em 2022 a associação comercializou 462,19 toneladas de material reciclável, sendo 12% a mais que no ano de 2021 (412,31 ton).

Na associação são descartadas em média de 5 a 12 *bags* por dia de rejeitos, ou seja, materiais que não podem ser reciclados devido ao mau acondicionamento por parte da população, ou pela falta de conhecimento, que acabam misturando os resíduos comuns com os recicláveis.

4.4.2. ASCITO

A ASCITO (CNPJ nº 05.684.273/0001-16) possui três prensas, porém apenas duas estão em funcionamento; duas balanças, porém apenas uma funciona corretamente; um elevador de carga que se encontra desligado; e um caminhão para a realização das coletas nos bairros.

A associação apresentou boa funcionalidade, equipe qualificada para a triagem, porém a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's) não é obrigatória, e torna-se necessário realizar cursos para a conscientização dos riscos provenientes deste tipo de trabalho sem equipamentos adequados.

No ano de 2021 a associação comercializou 434 ton de recicláveis, segundo os dados disponibilizados pela Secretaria do Meio Ambiente de Itabirito. Porém em 2022 foram 346,47 ton geridas pela associação, sendo uma redução expressiva de 20,17%. Não podendo ser constatado o motivo, pode-se especular que muito material potencialmente reciclável foi destinado ao aterro sanitário municipal.

Em relação aos rejeitos saem em média 15 *bags* por dia, que são recolhidos pela coleta convencional e dispostos no aterro sanitário do município.

4.5. Análise Gravimétrica

Para realizar a composição, foi utilizado a metodologia de amostragem de resíduos baseada na ABNT NBR 10.007 de 2004, que tem como objetivo a obtenção de uma amostra

representativa da geração de RSU do município por completo. Para tal, os materiais utilizados foram:

- Balança (erro $\pm 0,01$ g);
- Recipiente plástico com massa e volume conhecidos;
- Saco plástico;
- Veículo para separação da amostra (retroescavadeira);
- Pás, enxadas e vassouras;
- Planilha para registro dos resultados;
- EPIs.

Nessa etapa a retroescavadeira foi responsável por separar 1 tonelada de resíduo coletado no município, os quais foram destinados ao aterro na noite anterior. Os resíduos foram pesados em uma balança do tipo rodoviária após a tara (Figura 5). Foram necessárias 2 pás de retroescavadeira, para obtenção da quantidade indicada.

Figura 5. Pesagem da amostra



Fonte: Do autor (2023).

Em seguida, o resíduo foi descarregado pela retroescavadeira em uma área pavimentada e foi feito o rompimento manual das sacolas para a homogeneização dos resíduos, com o auxílio de pás e enxadas.

Figura 6. Área para segregação dos resíduos e homogeneização



Fonte: Do autor (2023)

4.4.1. Quarteamento

Segundo a norma ABNT (2004b), o quarteamento é um processo de divisão em quatro partes iguais de uma amostra pré-homogenizada, sendo tomadas duas partes opostas entre si para constituir uma nova amostra e descartadas as partes restantes. As partes não descartadas são misturadas totalmente e o processo de quarteamento é repetido até que se obtenha o volume desejado. A partir dos resíduos homogeneizados, o quarteamento foi realizado como estabelecido, em seguida foram descartados os 2 montes opostos como pode ser observado nas Figuras 7 e 8.

Figura 7. Quarteamento dos resíduos



Fonte: Do autor (2023)

Figura 8. Descarte da metade dos resíduos



Fonte: Do autor (2023)

Após o descarte de metade dos resíduos (Figura 8) foi realizada a homogeneização das partes restantes e feito o quarteamento novamente, repetindo o processo de descarte restando assim uma massa de aproximadamente 250 kg de resíduo.

Figura 9. Segundo quarteamento dos resíduos



Fonte: Do autor (2023)

Figura 10. Homogeneização das pilhas a serem amostradas e



Fonte: Do autor (2023)

4.4.2. Triagem dos resíduos

Após homogeneização os resíduos começaram a ser separados por tipologia em contêineres e sacos plásticos com identificação, como pode ser observado nas Figuras 10 a 18.

Figura 11. Lixeiras separadas por tipologia de resíduos



Fonte: Do autor (2023)

Figura 13. Outros



Fonte: Do autor (2023)

Figura 12. Plástico flexível



Fonte: Do autor (2023)

Figura 14. Rejeitos



Fonte: Do autor (2023)

Figura 15. Vidro



Fonte: Do autor (2023)

Figura 18. Madeira



Fonte: Do autor (2023)

Figura 16. Não ferrosos (Alumínio)



Fonte: Do autor (2023)

Figura 19. Papel



Fonte: Do autor (2023)

Figura 17. Capina e poda



Fonte: Do autor (2023)

4.4.3. Pesagem de cada componente

Após a separação, cada material foi pesado dentro das lixeiras com tara conhecida em uma balança de plataforma com máxima de 1000 kg ($\pm 0,01g$).

Para verificar a porcentagem de cada material na amostra foi utilizada a seguinte equação 1. (FEAM, 2017)

Equação 01.

$$\text{Percentual de cada categoria (\%)} = \frac{\text{peso de cada fração (kg)}}{\text{Peso total da amostra (kg)}} \times 100$$

Figura 20. Pesagem dos resíduos



Fonte: Prefeitura de Itabirito (2022)

4.6. Projeção Populacional

As projeções populacionais desempenham um papel fundamental no cálculo de indicadores sociodemográficos, oferecendo informações essenciais para a implementação de políticas públicas e a avaliação de programas relacionados. Ao fornecer estimativas futuras da população, as projeções de população oferecem subsídios valiosos para o desenvolvimento de ações e decisões quando baseadas em dados atualizados e realistas (IBGE, 2018).

Para estabelecimento da projeção populacional do município de Itabirito, foram utilizados os modelos matemáticos de projeção aritmética e geométrica, descritos abaixo.

4.6.1. Projeção aritmética

O método aritmético assume que há um crescimento constante ao longo dos anos, com base em dados conhecidos, como a população no último censo. Esse método considera que a população varia linearmente com o tempo e pode ser usado para prever a população em um curto período, de 1 a 5 anos. No entanto, para períodos mais longos, torna-se evidente uma discrepância significativa em relação à realidade histórica, uma vez que o crescimento é considerado limitado (PENNER, 2017). Para tal, as equações 2 e 3 são utilizadas:

Equação 02.

$$K_a = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1}$$

Equação 03.

$$P_T = P_2 + K_a(T - T_2)$$

Em que:

K_a - Taxa de crescimento aritmético;

P_2 e P_1 - População final e inicial conhecidas (Censos demográficos de 2000 e 2010);

P_T - População de projeto;

T_2 e T_1 - Ano final e inicial conhecido;

T - Ano final de projeto.

4.6.2. Projeção geométrica

A projeção populacional pelo crescimento geométrico possibilita criar cenários com a taxa de incremento populacional variável ao decorrer dos anos. Este método, assim como o aritmético, tem precisão maior em curtos períodos, mas é comumente utilizado para estimativas demográficas de 30 anos. O método de projeção geométrica pressupõe um crescimento populacional em função da população existente a cada ano, ou seja, a taxa de crescimento populacional tende a diminuir ao longo dos anos. Para isso é necessário, de no mínimo, os dois últimos censos da população urbana para a realização do cálculo (MARQUES, 2021).

Para tal, as equações 4 e 5 são utilizadas:

Equação 04.

$$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1}$$

Equação 05.

$$P_T = P_2 \times e^{k_g(T - t_2)}$$

Em que:

K_g - Taxa de crescimento geométrico;

P_2 e P_1 - População final e inicial conhecidas (Censos demográficos de 2000 e 2010);

P_T - População de projeto;

t_2 e t_1 - Ano final e inicial conhecido;

T - Ano final de projeto.

5. RESULTADOS

Apresenta-se nesta seção, na primeira parte, a caracterização dos resíduos da composição gravimétrica e, na segunda, serão confrontados os dados com a projeção populacional do município e a progressão na geração de resíduos enviados ao aterro sanitário diariamente, com o intuito de estimar o ganho de vida útil de um aterro sanitário caso a coleta seletiva fosse melhor praticada.

5.1. Composição gravimétrica

Atualmente a maioria dos RSU de Itabirito são destinados ao aterro sanitário próprio do município, muitas vezes sem a devida separação de recicláveis e orgânicos nos domicílios. Contudo o município apresenta algumas associações de catadores de materiais recicláveis reduzindo a quantidade de RSU destinada ao aterro sanitário. A Tabela 1 apresenta a composição gravimétrica dos RSU que chegam ao aterro sanitário de Itabirito.

Tabela 1. Composição gravimétrica RSU de Itabirito

| Componente | Massa (kg) | % |
|----------------------|---------------|---------------|
| Papel | 5,67 | 2,42 |
| Papelão | 15,67 | 6,68 |
| Tetra Pack | 2,07 | 0,88 |
| Plástico Duro | 6,87 | 2,93 |
| Plástico Flexível | 26,27 | 11,20 |
| PET | 5,47 | 2,33 |
| Metal Ferroso | 1,00 | 0,43 |
| Metal não ferroso | 2,37 | 1,01 |
| Vidro | 3,60 | 1,53 |
| Tapo | 23,47 | 10,00 |
| Resíduos de banheiro | 29,75 | 12,68 |
| Madeira | 10,07 | 4,29 |
| Podas | 7,02 | 2,99 |
| Matéria Orgânica | 34,87 | 14,86 |
| Rejeitos | 57,07 | 24,33 |
| Outros | 3,38 | 1,44 |
| Total | 234,59 | 100,00 |

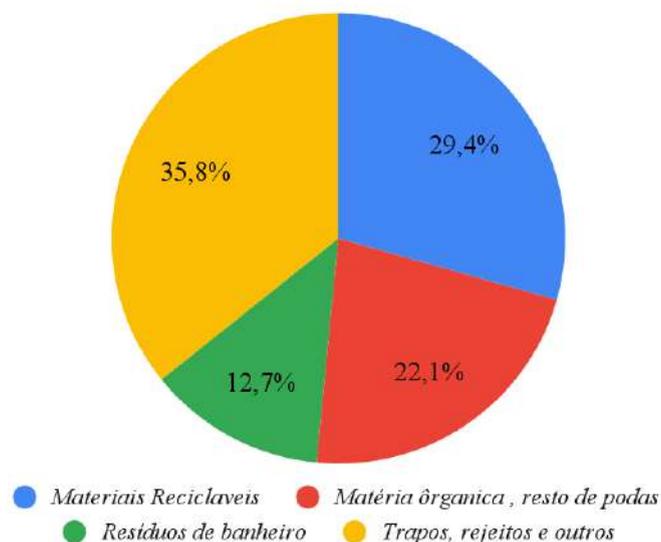
Fonte: Do autor (2023)

A amostragem foi feita uma única vez, no entanto foi certificado de obter uma amostra representativa, grande o suficiente para fornecer dados significativos dos bairros urbanos do

município. É importante ressaltar que uma única amostragem pode não ser representativa o suficiente para fornecer uma estimativa precisa da composição gravimétrica. Para resultados mais confiáveis, recomenda-se realizar múltiplas amostragens e análises, de diferentes setores do município.

Os componentes de RSU do município foram agrupados de forma que pudessem ser enquadrados em resíduos recicláveis, resíduos orgânicos (compostáveis) e rejeitos, de acordo com as porcentagens pertencentes a cada grupo apresentado Tabela 1, o agrupamento pode ser observado na Figura 21.

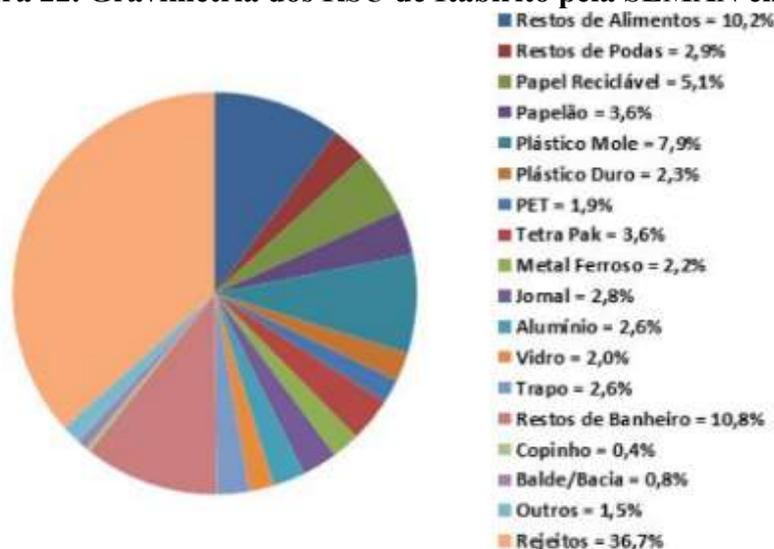
Figura 21. Quantidades de resíduo por grupo



Fonte: Do autor (2023).

Em 2013, a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAN) realizou um estudo gravimétrico semelhante. O peso total da amostra utilizada por eles correspondia a 2% do peso líquido do veículo compactador. O montante dos resíduos coletados foi dividido em 4 partes, sendo mantida apenas uma delas, e as demais foram descartadas. Após o levantamento dos dados dos indicadores da caracterização dos resíduos sólidos, elaboraram o gráfico da Figura 22, que apresenta a porcentagem média de cada componente das sete amostragens realizadas.

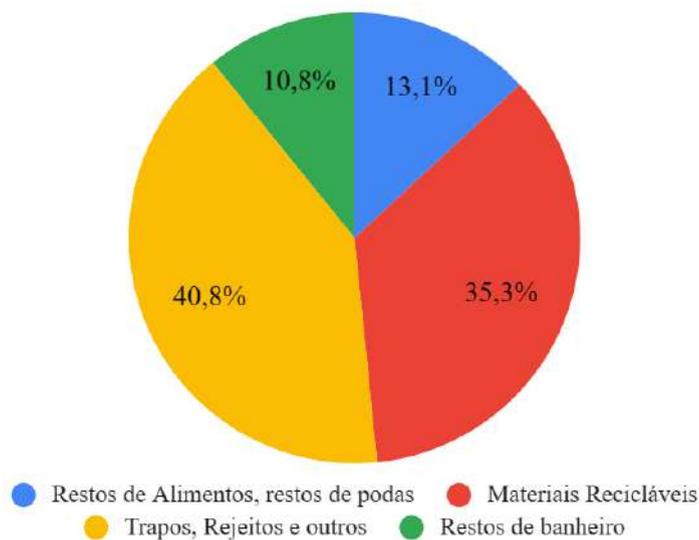
Figura 22. Gravimetria dos RSU de Itabirito pela SEMAN em 2013



Fonte: SEMAN (2013)

Diante dos dados referentes à caracterização dos resíduos sólidos, os autores realizaram o agrupamento em compostáveis, recicláveis, rejeitos e restos de banheiro, conforme apresentado na Figura 23.

Figura 23. Quantidade de resíduos por grupo no estudo realizado pela SEMAN



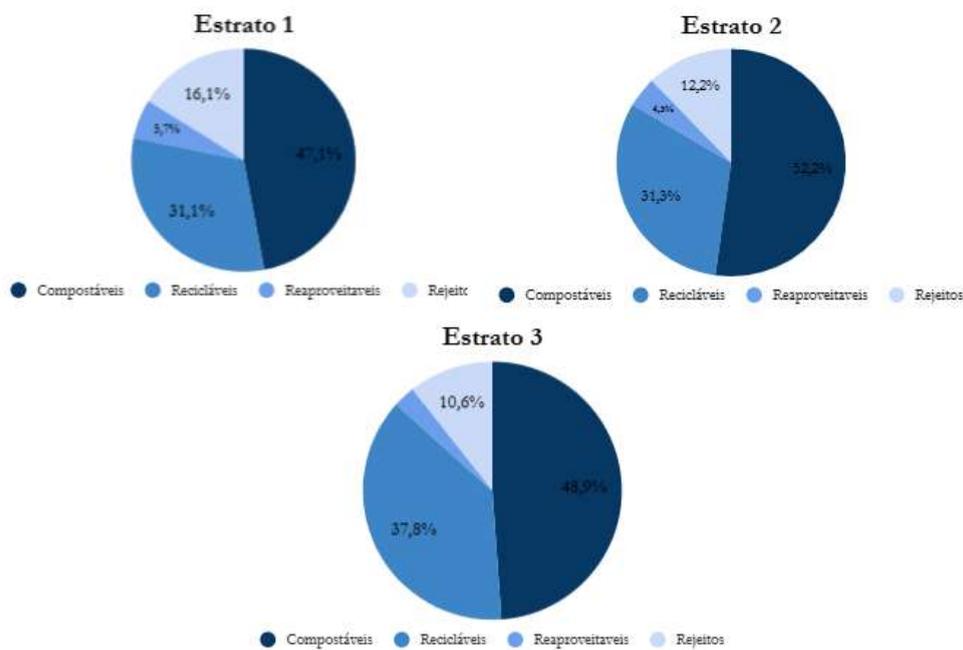
Fonte: SEMAN (2013)

Um estudo realizado pela FEAM em 2015 reuniu as informações de 170 municípios, onde, com a metodologia disponibilizada pela FEAM (2017), os dados foram categorizados e agrupados por potencial de destinação e disposição final. Esses grupos incluem compostáveis,

recicláveis, reaproveitáveis e rejeitos. O grupo "reaproveitáveis" abrange o potencial de coprocessamento e logística reversa.

A variação da composição gravimétrica dos municípios em função dos estratos: 1- baixo poder aquisitivo, 2 - médio e alto poder aquisitivo, e 3 - bairro tipicamente comercial, pode ser observada na Figura 24.

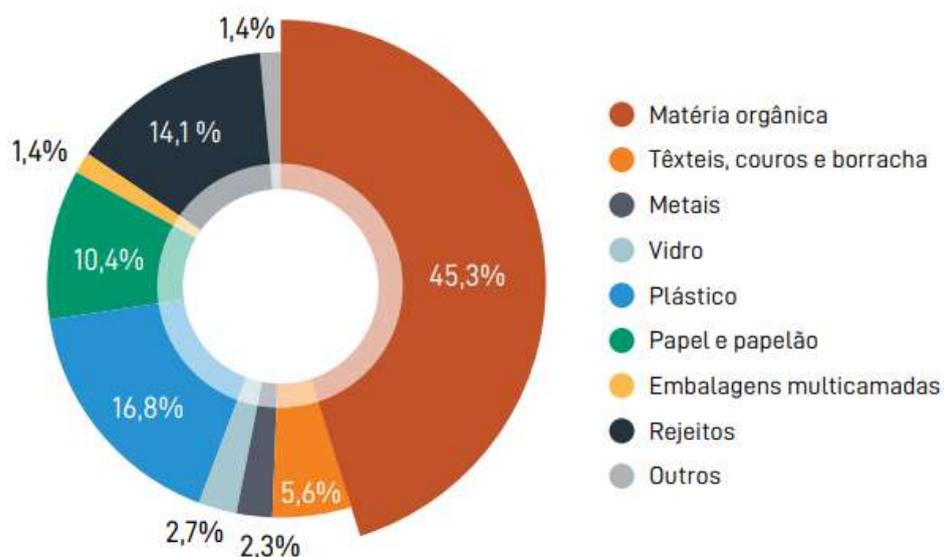
Figura 24. Variação do potencial de destinação e disposição final dos RSU (%) por estratos, estrato: 1- baixo poder aquisitivo, 2 - médio e alto poder aquisitivo, e 3 - bairro tipicamente comercial



Fonte: FEAM (2017)

Comparativamente, a Figura 25 traz o estudo de composições médias dos resíduos sólidos brasileiros. A gravimetria nacional foi estimada com base na média ponderada a partir da geração total de RSU por faixa de renda dos municípios e suas respectivas gravimetrias, levando-se em consideração a população e geração per capita (ABRELPE, 2020).

Figura 25. Gravimetria dos RSU no Brasil



Fonte: Abrelpe (2020).

Ao comparar a composição gravimétrica realizada em Itabirito em 2013 e em 2022 com o estudo realizado pela Feam em 2017 pode-se observar que a proporção de restos de alimentos no estado de Minas Gerais (Estrato 1) tem um aumento de 72,2% comparado ao estudo de 2013 e é 53% maior que o presente estudo. A comparação foi realizada com o Estrato 1 devido a maior semelhança com a população atendida no dia da coleta.

Em relação ao grupo dos materiais potencialmente recicláveis, o estudo realizado em 2013 apresentou 6% a mais de material reciclável em relação ao estudo de 2022. Esse fato pode ser justificado pelo fato de as associações de catadores estarem recebendo maior quantidade de material, reduzindo a porção que seria enviada para o aterro sanitário. O valor encontrado também se assemelha à porcentagem obtida no estudo da FEAM, tanto para o estrato 1 quanto para o estrato 2.

O grupo de rejeitos e restos de banheiro deste estudo representou 48,5% do total de resíduos da amostra, já o estudo realizado em 2013 evidenciou que 51,6% dos resíduos era composto por trapos, rejeitos e restos de banheiro.

Pode-se observar que quanto maiores forem os valores de rejeitos, maior será a probabilidade de que a população esteja adotando consciente ou inconscientemente as diretrizes de não-geração, redução e reutilização. Isso significa que a população estará produzindo menos resíduos alimentares, reutilizando objetos e materiais, e aproveitando embalagens, entre outras práticas. No entanto, também é evidente a necessidade de realizar a

segregação na fonte para garantir que todo esse potencial teórico não acabe se tornando rejeitos na prática (FEAM, 2017).

5.2. Estimativa da geração de RSU ao longo dos anos de funcionamento do aterro

Pelo Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA (2023) foi possível obter os dados da série histórica da população de Itabirito para os censos de 1990, 2000 e 2010, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. População total urbana e rural segundo os censos demográficos

| SIDRA | | | |
|----------------------|-----------|--------|-------|
| Município: Itabirito | | | |
| Ano | População | | |
| | Total | Urbana | Rural |
| 1991 | 32091 | 28678 | 3413 |
| 2000 | 37901 | 35245 | 2656 |
| 2010 | 45449 | 43566 | 1883 |

Fonte: SIDRA (2023)

Considerando o método de projeção linear (Equação 03), foi estimada a geração de resíduos desde a inauguração do aterro sanitário até os dias atuais. A estimativa foi realizada a partir dos dados obtidos pela composição gravimétrica e pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 3. Estimativa anual da geração de resíduos sólidos em Itabirito

| Ano | População pelo método aritmético (hab.) | Geração diária de RSU (kg/dia) | Geração anual (kg) | Volume (m³) | Recicláveis (kg) | Compostado (kg) | Aterrado (kg) |
|------------|--|---------------------------------------|---------------------------|--------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| 2007 | 43.340 | 36.405,47 | 13.287.995,59 | 18.982,85 | 3.716.652,37 | 2.943.291,02 | 6.629.381,00 |
| 2008 | 44.043 | 36.996,03 | 13.503.551,53 | 19.290,79 | 3.776.943,36 | 2.991.036,66 | 6.736.921,86 |
| 2009 | 44.746 | 37.586,60 | 13.719.107,46 | 19.598,72 | 3.837.234,36 | 3.038.782,30 | 6.844.462,71 |
| 2010 | 45.449 | 38.177,16 | 13.934.663,40 | 19.906,66 | 3.897.525,35 | 3.086.527,94 | 6.952.003,57 |
| 2011 | 46.152 | 38.767,72 | 14.150.219,34 | 20.214,60 | 3.957.816,35 | 3.134.273,58 | 7.059.544,43 |
| 2012 | 46.855 | 39.358,29 | 14.365.775,27 | 20.522,54 | 4.018.107,34 | 3.182.019,22 | 7.167.085,28 |
| 2013 | 47.558 | 39.948,85 | 14.581.331,21 | 20.830,47 | 4.078.398,34 | 3.229.764,86 | 7.274.626,14 |
| 2014 | 48.261 | 40.539,42 | 14.796.887,15 | 21.138,41 | 4.138.689,34 | 3.277.510,50 | 7.382.167,00 |
| 2015 | 48.964 | 41.129,98 | 15.012.443,08 | 21.446,35 | 4.198.980,33 | 3.325.256,14 | 7.489.707,85 |
| 2016 | 49.667 | 41.720,55 | 15.227.999,02 | 21.754,28 | 4.259.271,33 | 3.373.001,78 | 7.597.248,71 |
| 2017 | 50.370 | 42.311,11 | 15.443.554,96 | 22.062,22 | 4.319.562,32 | 3.420.747,42 | 7.704.789,57 |
| 2018 | 51.073 | 42.901,67 | 15.659.110,89 | 22.370,16 | 4.379.853,32 | 3.468.493,06 | 7.812.330,43 |
| 2019 | 51.776 | 43.492,24 | 15.874.666,83 | 22.678,10 | 4.440.144,31 | 3.516.238,70 | 7.919.871,28 |
| 2020 | 52.480 | 44.082,80 | 16.090.222,77 | 22.986,03 | 4.500.435,31 | 3.563.984,34 | 8.027.412,14 |
| 2021 | 53.183 | 44.673,37 | 16.305.778,71 | 23.293,97 | 4.560.726,30 | 3.611.729,98 | 8.134.953,00 |
| 2022 | 53.886 | 45.263,93 | 16.521.334,64 | 23.601,91 | 4.621.017,30 | 3.659.475,62 | 8.242.493,85 |
| 2023 | 54.589 | 45.854,49 | 16.736.890,58 | 23.909,84 | 4.681.308,29 | 3.707.221,26 | 8.350.034,71 |
| Total | - | 699.209,68 | 255.211.532,43 | 364.587,90 | 71.382.665,62 | 56.529.354,43 | 127.325.033,53 |

Fonte: Do autor (2023)

Com base na Tabela 3, a estimativa da população total até o ano de 2023 é de 54.589 pessoas. Considerando a geração de resíduos per capita baseada na média dos últimos 10 anos como sendo de $0,84 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ de acordo com os dados disponibilizados pela prefeitura municipal, a densidade do resíduo compactado como sendo 700 kg/m^3 (CEMPRE, 2018 p. 259) e desconsiderando fatores como compostagem e reciclagem, o volume de resíduos somados até 2023 atinge um valor de $364.587,90 \text{ m}^3$ com uma massa aproximada de 255.211,53 toneladas. Entretanto, o local funcionava anteriormente como um lixão a céu aberto e os resíduos acumulados há cerca de 12 anos também foram aterrados. Desta forma, utilizando a geração per capita de $0,75 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, utilizando como base a população do ano de referência e a massa coletada por dia entre resíduos públicos e domésticos, no período de 1995 a 2007 foram aterrados cerca de 139.223,73 toneladas de resíduo, totalizando um volume de $198.891,05 \text{ m}^3$. Portanto, o volume de resíduos aterrados até o ano de 2023 é de aproximadamente $502.714,30 \text{ m}^3$.

É possível observar na Tabela 3 que cerca da metade dos resíduos destinados ao aterro são de origem orgânica ou de materiais recicláveis que poderiam ter outra destinação, essa, ambiental, econômica e socialmente adequada, porém todo o material é aterrado perdendo assim seu potencial de reciclagem, compostagem e reutilização.

5.3. Estimativa da vida útil do aterro sanitário de Itabirito

Como mencionado anteriormente, o empreendimento teve início na cota 970 m, com o depósito de aproximadamente 12 anos de resíduos descartados no antigo lixão. Sendo assim, os dados descritos na Tabela 4 apresentam os valores de volume em cada cota e volume acumulado.

Tabela 4. Dados da evolução das cotas do aterro

| Fase | Cotas (m) | Área útil (m ²) | Quantidade de células (n°) | Volume de resíduo em cada cota (m ³) | Volume acumulado (m ³) |
|------|-----------|-----------------------------|----------------------------|--|------------------------------------|
| 1 | 970 | 30.000 | 938 | 76.540,80 | 76.450,80 |
| 1 | 974 | 29.856 | 933 | 76.132,80 | 152.673,60 |
| 1 | 977 | 29.712 | 929 | 75.806,40 | 228.480,00 |
| 2 | 980 | 29.568 | 924 | 75.398,40 | 303.878,40 |
| 2 | 983 | 29.424 | 920 | 75.072,00 | 378.950,40 |
| 3 | 986 | 29.280 | 915 | 74.664,00 | 453.614,40 |

Fonte: Do autor (2023)

Com base na Tabela 4 pode-se observar que, com o montante de resíduo acumulado, o empreendimento ultrapassou a segunda fase do projeto. Desde que os resíduos tenham sido manejados de acordo com o que fora estabelecido no projeto básico, o aterro está na terceira fase de operação.

Seguindo o procedimento de estudo das duas fases anteriores, tem-se que a terceira fase se inicia na cota 986 m até a cota 991 m, a quarta fase até a cota 997 m, a quinta fase até 1.003 m e a sexta e última fase até a cota 1.009 m, ao final da vida útil do aterro. A Tabela 5 ilustra os dados da evolução das 3^a, 4^a, 5^a e 6^a fases do aterro.

Tabela 5. Dados de evolução das cotas do aterro para a 3^a, 4^a, 5^a e 6^a fases do aterro

| Fase | Cotas (m) | Área útil (m ²) | Quantidade de células (n ^o) | Volume de resíduo em cada cota (m ³) | Volume acumulado (m ³) |
|------|-----------|-----------------------------|---|--|------------------------------------|
| 3 | 989 | 29.136 | 911 | 74.337,60 | 527.952,00 |
| 4 | 992 | 28.992 | 906 | 73.929,60 | 601.881,60 |
| 4 | 995 | 28.848 | 902 | 73.603,20 | 675.484,80 |
| 5 | 998 | 28.704 | 897 | 73.195,20 | 748.680,00 |
| 5 | 1.001 | 28.560 | 893 | 72.868,80 | 821.548,80 |
| 6 | 1.004 | 28.416 | 888 | 72.460,80 | 894.009,60 |
| 6 | 1.007 | 28.272 | 884 | 72.134,40 | 966.144,00 |
| 6 | 1.009 | 28.128 | 879 | 71.726,40 | 1.037.870,40 |

Fonte: Do autor (2023)

Com os valores de cota máxima do projeto do aterro e o volume de resíduos que cada fase comporta foi possível estimar a vida útil do aterro e saber se será possível utilizar a instalação por algum tempo amplamente superior ao descrito no projeto básico. Desse modo, o Quadro 8 apresenta 3 possíveis cenários: a quantidade de resíduos destinados ao aterro sanitário sem coleta seletiva e o volume ocupado durante todo o período de recebimento de resíduos; o cenário com coleta seletiva de 50% do resíduos recicláveis; e o cenário com a totalidade de resíduos recicláveis encontrados na composição gravimétrica não sendo aterrados, podendo mensurar-se o ganho de vida útil do empreendimento caso fossem aterrados na maioria das vezes uma quantidade maior de rejeitos.

Tabela 6. Estimativa e comparação entre a disposição de resíduos sem coleta seletiva e com coleta seletiva

| Ano | Cenário 1: sem coleta seletiva | | | Cenário 2: com coleta seletiva de 50% dos recicláveis | | | Cenário 3 com coleta seletiva de 100% dos recicláveis | | |
|---------------------|--------------------------------|--|--|---|--|--|---|--|--|
| | Massa acumulada (ton) | Volume acumulado (m ³) | Volume restante (m ³) | Massa acumulada (ton) | Volume acumulado (m ³) | Volume restante (m ³) | Massa acumulada (ton) | Volume acumulado (m ³) | Volume restante (m ³) |
| | | | Volume disponível - acumulado | | | Volume disponível - acumulado | | | Volume disponível - acumulado |
| | | | 1.037.870,40 | | | 1.037.870,40 | | | 1.037.870,40 |
| Até 2007 | 139.223,73 | 198.891,05 | 838.979,35 | 139.223,73 | 198.891,05 | 838.979,35 | 139.223,73 | 198.891,05 | 838.979,35 |
| 2008 | 13.503,55 | 19.290,79 | 819.688,56 | 11.615,08 | 16.592,97 | 822.386,38 | 9.726,61 | 13.895,15 | 825.084,20 |
| 2009 | 13.719,11 | 19.598,72 | 800.089,84 | 11.800,49 | 16.857,84 | 805.528,54 | 9.881,87 | 14.116,96 | 810.967,23 |
| 2010 | 13.934,66 | 19.906,66 | 780.183,18 | 11.985,90 | 17.122,72 | 788.405,82 | 10.037,14 | 14.338,77 | 796.628,47 |
| 2011 | 14.150,22 | 20.214,60 | 759.968,58 | 12.171,31 | 17.387,59 | 771.018,23 | 10.192,40 | 14.560,58 | 782.067,89 |
| 2012 | 14.365,78 | 20.522,54 | 739.446,04 | 12.356,72 | 17.652,46 | 753.365,77 | 10.347,67 | 14.782,38 | 767.285,51 |
| 2013 | 14.581,33 | 20.830,47 | 718.615,57 | 12.542,13 | 17.917,33 | 735.448,44 | 10.502,93 | 15.004,19 | 752.281,32 |
| 2014 | 14.796,89 | 21.138,41 | 697.477,16 | 12.727,54 | 18.182,20 | 717.266,24 | 10.658,20 | 15.226,00 | 737.055,32 |
| 2015 | 15.012,44 | 21.446,35 | 676.030,81 | 12.912,95 | 18.447,08 | 698.819,16 | 10.813,46 | 15.447,80 | 721.607,52 |
| 2016 | 15.228,00 | 21.754,28 | 654.276,53 | 13.098,36 | 18.711,95 | 680.107,22 | 10.968,73 | 15.669,61 | 705.937,91 |
| 2017 | 15.443,55 | 22.062,22 | 632.214,30 | 13.283,77 | 18.976,82 | 661.130,40 | 11.123,99 | 15.891,42 | 690.046,49 |
| 2018 | 15.659,11 | 22.370,16 | 609.844,15 | 13.469,18 | 19.241,69 | 641.888,70 | 11.279,26 | 16.113,23 | 673.933,26 |

Tabela 6. Estimativa e comparação entre a disposição de resíduos sem coleta seletiva e com coleta seletiva

| Ano | Cenário 1: sem coleta seletiva | | | Cenário 2: com coleta seletiva de 50% dos recicláveis | | | Cenário 3 com coleta seletiva de 100% dos recicláveis | | |
|-------------|--------------------------------|--|--|---|--|--|---|--|--|
| | Massa acumulada (ton) | Volume acumulado (m ³) | Volume restante (m ³) | Massa acumulada (ton) | Volume acumulado (m ³) | Volume restante (m ³) | Massa acumulada (ton) | Volume acumulado (m ³) | Volume restante (m ³) |
| | | | Volume disponível - acumulado | | | Volume disponível - acumulado | | | Volume disponível - acumulado |
| | | | 1.037.870,40 | | | 1.037.870,40 | | | 1.037.870,40 |
| 2019 | 15.874,67 | 22.678,10 | 587.166,05 | 13.654,59 | 19.506,56 | 622.382,14 | 11.434,52 | 16.335,03 | 657.598,23 |
| 2020 | 16.090,22 | 22.986,03 | 564.180,02 | 13.840,01 | 19.771,44 | 602.610,70 | 11.589,79 | 16.556,84 | 641.041,39 |
| 2021 | 16.305,78 | 23.293,97 | 540.886,05 | 14.025,42 | 20.036,31 | 582.574,40 | 11.745,05 | 16.778,65 | 624.262,74 |
| 2022 | 16.521,33 | 23.601,91 | 517.284,14 | 14.210,83 | 20.301,18 | 562.273,22 | 11.900,32 | 17.000,45 | 607.262,29 |
| 2023 | 16.736,89 | 23.909,84 | 493.374,30 | 14.396,24 | 20.566,05 | 541.707,16 | 12.055,58 | 17.222,26 | 590.040,03 |
| 2024 | 16.952,45 | 24.217,78 | 469.156,52 | 14.581,65 | 20.830,92 | 520.876,24 | 12.210,85 | 17.444,07 | 572.595,96 |
| 2025 | 17.168,00 | 24.525,72 | 444.630,80 | 14.767,06 | 21.095,80 | 499.780,44 | 12.366,11 | 17.665,87 | 554.930,09 |
| 2026 | 17.383,56 | 24.833,65 | 419.797,14 | 14.952,47 | 21.360,67 | 478.419,78 | 12.521,38 | 17.887,68 | 537.042,41 |
| 2027 | 17.599,11 | 25.141,59 | 394.655,55 | 15.137,88 | 21.625,54 | 456.794,24 | 12.676,64 | 18.109,49 | 518.932,92 |
| 2028 | 17.814,67 | 25.449,53 | 369.206,02 | 15.323,29 | 21.890,41 | 434.903,82 | 12.831,91 | 18.331,30 | 500.601,62 |
| 2029 | 18.030,23 | 25.757,47 | 343.448,56 | 15.508,70 | 22.155,28 | 412.748,54 | 12.987,17 | 18.553,10 | 482.048,52 |
| 2030 | 18.245,78 | 26.065,40 | 317.383,15 | 15.694,11 | 22.420,16 | 390.328,38 | 13.142,44 | 18.774,91 | 463.273,61 |
| 2031 | 18.461,34 | 26.373,34 | 291.009,81 | 15.879,52 | 22.685,03 | 367.643,35 | 13.297,70 | 18.996,72 | 444.276,89 |

Tabela 6. Estimativa e comparação entre a disposição de resíduos sem coleta seletiva e com coleta seletiva

| Ano | Cenário 1: sem coleta seletiva | | | Cenário 2: com coleta seletiva de 50% dos recicláveis | | | Cenário 3 com coleta seletiva de 100% dos recicláveis | | |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|--|---|-----------------------------|--|---|-----------------------------|--|
| | Massa acumulada (ton) | Volume acumulado (m³) | Volume restante (m³) | Massa acumulada (ton) | Volume acumulado (m³) | Volume restante (m³) | Massa acumulada (ton) | Volume acumulado (m³) | Volume restante (m³) |
| | | | Volume disponível - acumulado | | | Volume disponível - acumulado | | | Volume disponível - acumulado |
| | | | 1.037.870,40 | | | 1.037.870,40 | | | 1.037.870,40 |
| 2032 | 18.676,89 | 26.681,28 | 264.328,54 | 16.064,93 | 22.949,90 | 344.693,45 | 13.452,97 | 19.218,52 | 425.058,37 |
| 2033 | 18.892,45 | 26.989,21 | 237.339,32 | 16.250,34 | 23.214,77 | 321.478,68 | 13.608,23 | 19.440,33 | 405.618,04 |
| 2034 | 19.108,01 | 27.297,15 | 210.042,17 | 16.435,75 | 23.479,64 | 297.999,04 | 13.763,50 | 19.662,14 | 385.955,90 |
| 2035 | 19.323,56 | 27.605,09 | 182.437,08 | 16.621,16 | 23.744,52 | 274.254,52 | 13.918,76 | 19.883,95 | 366.071,96 |
| 2036 | 19.539,12 | 27.913,03 | 154.524,06 | 16.806,57 | 24.009,39 | 250.245,13 | 14.074,03 | 20.105,75 | 345.966,20 |
| 2037 | 19.754,67 | 28.220,96 | 126.303,10 | 16.991,98 | 24.274,26 | 225.970,87 | 14.229,29 | 20.327,56 | 325.638,64 |
| 2038 | 19.970,23 | 28.528,90 | 97.774,20 | 17.177,39 | 24.539,13 | 201.431,74 | 14.384,56 | 20.549,37 | 305.089,28 |
| 2039 | 20.185,79 | 28.836,84 | 68.937,36 | 17.362,80 | 24.804,00 | 176.627,73 | 14.539,82 | 20.771,17 | 284.318,10 |
| 2040 | 20.401,34 | 29.144,77 | 39.792,59 | 17.548,21 | 25.068,88 | 151.558,85 | 14.695,09 | 20.992,98 | 263.325,12 |
| 2041 | 20.616,90 | 29.452,71 | 10.339,88 | 17.733,62 | 25.333,75 | 126.225,11 | 14.850,35 | 21.214,79 | 242.110,34 |
| 2042 | 20.832,45 | 29.760,65 | -19.420,77 | 17.919,03 | 25.598,62 | 100.626,48 | 15.005,62 | 21.436,59 | 220.673,74 |
| 2043 | | | | 18.104,45 | 30.047,11 | 70.579,38 | 15.160,88 | 21.658,40 | 199.015,34 |
| 2044 | | | | 18.289,86 | 30.354,82 | 40.224,55 | 15.316,15 | 21.880,21 | 177.135,13 |

Tabela 6. Estimativa e comparação entre a disposição de resíduos sem coleta seletiva e com coleta seletiva

| Ano | Cenário 1: sem coleta seletiva | | | Cenário 2: com coleta seletiva de 50% dos recicláveis | | | Cenário 3 com coleta seletiva de 100% dos recicláveis | | |
|-------------|--------------------------------|--|--|---|--|--|---|--|--|
| | Massa acumulada (ton) | Volume acumulado (m ³) | Volume restante (m ³) | Massa acumulada (ton) | Volume acumulado (m ³) | Volume restante (m ³) | Massa acumulada (ton) | Volume acumulado (m ³) | Volume restante (m ³) |
| | | | Volume disponível - acumulado | | | Volume disponível - acumulado | | | Volume disponível - acumulado |
| | | | 1.037.870,40 | | | 1.037.870,40 | | | 1.037.870,40 |
| 2045 | | | | 18.475,27 | 30.662,54 | 9.562,01 | 15.471,41 | 22.102,02 | 155.033,12 |
| 2046 | | | | 18.660,68 | 30.970,26 | -21.408,25 | 15.626,68 | 22.323,82 | 132.709,29 |
| 2047 | | | | | | | 15.781,94 | 22.545,63 | 110.163,66 |
| 2048 | | | | | | | 15.937,21 | 22.767,44 | 87.396,23 |
| 2049 | | | | | | | 16.092,47 | 22.989,24 | 64.406,98 |
| 2050 | | | | | | | 16.247,74 | 23.211,05 | 41.195,93 |
| 2051 | | | | | | | 16.403,00 | 23.432,86 | 17.763,07 |
| 2052 | | | | | | | 16.558,27 | 23.654,67 | -5.891,59 |

Fonte: Do autor (2023)

Realizados os cálculos para os 3 cenários (Tabela 6) percebe-se que para o cenário 1, o aterro sanitário tem potencial para funcionar até o ano de 2042 onde chegará a sua cota máxima de 1.009 m. No cenário 2, uma estimativa de redução de metade dos resíduos recicláveis que atualmente são aterrados, o empreendimento poderia operar por mais 4 anos até atingir sua cota máxima. Já no cenário 3, próximo do ideal onde o aterro não recebe resíduos recicláveis, o empreendimento poderia funcionar 10 anos a mais que o estimado para seu encerramento.

6. CONCLUSÕES

No presente trabalho foi possível aplicar o conhecimento acerca dos conceitos da Engenharia Ambiental para uma análise quali-quantitativa dos RSU do município de Itabirito. Sendo observada a importância da gestão e do gerenciamento dos resíduos em um aterro sanitário.

A segregação do material no estudo gravimétrico e a comparação com outro estudo do mesmo aterro mostrou que o município encaminha uma quantidade de resíduos orgânicos abaixo da média nacional e mineira, na proporção pode-se inferir que o aterro sanitário tem recebido uma quantidade significativa de materiais recicláveis, e que deve-se realizar mais campanhas de conscientização ambiental no município no que diz respeito ao gerenciamento dos resíduos sólidos dos próprios geradores.

Quanto à geração dos resíduos, a estimativa entre os anos de 1995 e 2007 foi baseada no estudo de implantação do empreendimento onde foram quantificados o recebimento diário de resíduos e a população total atendida por coleta domiciliar naquele período. A geração de resíduos de 2008 em diante foi estimada a partir da média de geração diária dos últimos dez anos para o município, tornando mais realista o cenário de geração dos resíduos domésticos encaminhados ao aterro sanitário.

Diante da quantidade de resíduos recicláveis que são diariamente aterrados os cenários que pressupõem o desvio de pelo menos metade dos resíduos recicláveis do aterramento promoveram um ganho de vida útil do aterro sanitário de pelo menos mais quatro anos (2046), sendo que, se não fossem enviados resíduos recicláveis ao aterro sanitário, o empreendimento poderia funcionar por até dez anos a mais (2052).

Os cálculos realizados para a evolução das cotas do aterro sanitário são teóricos e pode sofrer alterações quando comparados a realidade, devido a uma série de fatores externos, como a densidade média dos resíduos aterrados, a compactação das pilhas de resíduos durante a jornada de trabalho, e o controle da altura máxima de resíduos que serão compactados.

Todos esses fatores implicam no espaço disponível para disposição dos resíduos urbanos no solo.

Para trabalhos futuros, sugere-se a continuidade de novos estudos gravimétricos, que contemplem outros bairros e outros tópicos, como a determinação de parâmetros como a geração per capita nas diferentes classes sociais, potencial de reciclagem e outros aspectos físicos e econômicos, a fim de atribuir para a melhoria das estratégias e ações em programas de gestão dos RSU do município.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2020) Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020. São Paulo: ABRELPE. Acesso em: 20 mar. 2023

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2020) Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021. São Paulo: ABRELPE. Acesso em: 07 abr. 2023.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2022) Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022. São Paulo: ABRELPE. Acesso em: 20 mar. 2023.

ALCANTARA, A. J. O. **Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos e caracterização química do solo da área de disposição final do município de Cáceres-MT.** Dissertação (Pós-Graduação em Ciências Ambientais) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, Mato Grosso, 2010.

ALKMIN, D. V.; JUNIOR, L. U. DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) DO LIXÃO DO MUNICÍPIO DE MARIA DA FÉ, ESTADO DE MINAS GERAIS. **Caminhos de Geografia**, v. 18, n. 61, p. 65–82, 30 mar. 2017.

ALINE, J. et al. **GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UMA ANÁLISE DA COLETA SELETIVA NOS PONTOS DE ENTREGA VOLUNTÁRIA EM TERESINA, PIAUÍ.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2018/III-037.pdf>>. Acesso em: 4 de jul. de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.980: Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos.** Rio de Janeiro, 1993. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos Sólidos - Classificação.** Rio de Janeiro, 2004. 3 p. 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro, 2004. 21 p. 2004b

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.849: Resíduos sólidos urbanos - Aterros sanitários de pequeno porte - Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.** Rio de Janeiro, 2010a. 24 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.332: Implementos rodoviários - Coletor-compactador de resíduos sólidos e seus principais componentes - Terminologia** Rio de Janeiro, 2010b. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.599: Implementos rodoviários - Requisitos de segurança para coletores-compactadores de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro, 2020. 21 p.

BARROS, R. T. de V. **Elementos de gestão de resíduos sólidos.** Belo Horizonte: Tessitura, 2016.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, 1988. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 de outubro de 1988.

BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm Acesso em: 22 jan. de 2023.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a**

finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 15 de julho de 2020. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm> Acesso em: 21 de jan. de 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – 4. ed. – Brasília: Funasa, 2015. 642 p.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2020 Brasília, DF 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/residuos-solidos>>. Acesso em: 18 de jun. de 2023.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos 2023 Brasília, DF 2021. Disponível em: <http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores/web/residuos_solidos/mapa-indicadores> Acesso em: 18 de jun. de 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. MMA lança Programa Nacional Lixão Zero. Brasília, DF 2019. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/informma/item/15466-mma-lan%C3%A7a-programa-nacional-lix%C3%A3o-zero.html#startOfPageId15466>> Acesso em: 11 de jun. de 2023.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <<http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>>. Acesso em: 20 de jul de 2023.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 275, de 25 de abril de 2001. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Disponível em: <<http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>> Acesso em: 26 de jan. de 2023.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 348, de 16 de agosto de 2004. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Disponível em: <<http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>>. Acesso em: 23 de jan. de 2023.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 362, de 23 de junho de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Disponível em: <<http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>> Acesso em: 23 de jan. de 2023.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 401, de 04 de novembro de 2008. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Disponível em: <<http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>> Acesso em: 22 de jan. de 2023.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 358, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Disponível em: <<http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>>. Acesso em: 23 de jan. de 2023.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 362, de 23 de junho de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Disponível em: <<http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>> Acesso em: 23 de jan. de 2023.

BARROS, R.M. Tratado sobre resíduos: gestão, uso e sustentabilidade. Rio de Janeiro: **Interciência Ltda**, Rio de Janeiro: 2012. 374 p.

CAPAZ, R., NOGUEIRA, L.. Ciências ambientais para engenharia (Vol. 1). **Elsevier Brasil**. 2016.

CONGRESSO ABES FENASAN, VI-232., 2017, Belém, PA. **AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE PROJEÇÃO POPULACIONAL PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE SANEAMENTO BÁSICO EM BELÉM DO PARÁ** [...]. Belém [s. n.], 2017. 6 p.

COPAM. Deliberação Normativa nº 244, de 27 de janeiro de 2022. Minas Gerais: Diário do Executivo, [2022]. **Dispõe sobre os critérios para implantação e operação de aterros sanitários em Minas Gerais e dá outras providências**. Disponível em: <<http://www.meioambiente.mg.gov.br/copam#:~:text=Delibera%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20Copam%20n%C2%BA%20244%2C%20de%2027%20de,sanit%C3%A1rios%20em%20Minas%20Gerais%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias>> Acesso em: 11 de jun. de 2023.

Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do Estado de Minas Gerais** / Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: Feam, 2017. 25 p.

Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Cartilha de Orientações: estudo gravimétrico de resíduos sólidos urbanos** / Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: Feam, 2019.

FELICORI, T. C. et al. Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 547-560, 2016.

FERLA, F.. **Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos avaliando o potencial para compostagem e reciclagem no município de Garibaldi/RS**. Orientador: Prof. Ms. Marcelo Luis Kronbauer. 48 p. Monografia. Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2016. Acesso em: 10 de mai. de 2023.

GUARDABASSIO, E. V.; PEREIRA, R. da S. GESTÃO PÚBLICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA REGIÃO DO GRANDE ABC. **Gestão & Regionalidade**, [S. l.], v. 31, n. 93, 2015. DOI: 10.13037/gr.vol31n93.2997. Disponível em: <https://seer.uscs.edu.br/index.php/revista_gestao/article/view/2997>. Acesso em: 9 fev. 2023.

IWAI, C. K. **Avaliação da qualidade das águas subterrâneas e do solo em áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte: aterro sanitário em valas**. Orientador: Prof. Dr. Wanderley da Silva Paganini, 270 p. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública da USP, São Paulo, 2012. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-24042012-092035/pt-br.php>> Acesso em: 10 de mai. de 2023.

Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado / Coordenação geral André Vilhena. – 4. ed. – São Paulo (SP): CEMPRE, 2018. 316 p.

MARQUES, R.S. **A expansão do espaço urbano em Goiânia: Impactos socioambientais na Região Norte de Goiânia (2000-2019)**. Orientador: Profa. Dra. Celene Cunha Monteiro Antunes Barreira. 2021. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

MEDEIROS, A. F. **Compostagem de resíduos urbanos no Brasil: principais desafios e perspectivas**. Orientador: Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias. 2022. (Bacharelado em

Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Campina Grande, 2022.

MIRANDAS, N. M.; MATTOS, U. A. D. O. Revisão dos Modelos e Metodologias de Coleta Seletiva no Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 30, p. 1–22, 28 abr. 2023. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/sn/a/94NNYLb9dGZq6LPK8mwcCpj/?lang=pt#>>. Acesso em: 04 de jul. de 2023.

MORAIS, C. A. S. e; FIORE, F. A.; ESPOSITO, E. Influência do uso de inóculo aclimatado em processo de compostagem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, p. 499-510, 2022.

NARDI, K. N. D.; PORTO, M. P. **Proposição de cenário para gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. Estudo de caso: município de Ihabela-SP.** UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. São Carlos, p. 157. 2020.

NOGUEIRA, V. de F. B.; DANTAS, J. S. **Impactos Ambientais em Região Semiárida: Análises e Abordagens** — Campina Grande: EPTEC, 2023.

NUNES, R. R. Transbordo de resíduos sólidos. **Pensar Engenharia** v.3, n.1, jan./2015.

OLIVEIRA, A. P. F. **Gestão de resíduos sólidos urbanos e do serviço de saúde** [recurso eletrônico] / Ana Paula Franco de Oliveira. Curitiba: Contentus, 2020.

PENNER, G. C. et al. VI-232 -**AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE PROJEÇÃO POPULACIONAL PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE SANEAMENTO BÁSICO EM BELÉM DO PARÁ.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2018/05/VI-232.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2023.

PEREIRA, K. Y. S. **Estimativa da quantidade de lixo no interior do Aterro Sanitário de Itabirito-MG.** Orientador: Prof. Dr. Guilherme José Cunha Gomes. 2021. 66 f. Monografia (Bacharelado). Graduação em Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

PIMENTA, J. T.; **Análise estatística da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de Minas Gerais.** Orientadora: Livia Cristina Dias Pinto. 2021. 48 p. Monografia Graduação em Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

PMGIRS Santa Bárbara - PRODUTOS. Disponível em: <<https://pmgirs.sb.gorceix.org.br/produtos>>. Acesso em: 28 de jun. 2023.

PREFEITURA DE ITABIRITO. Lei Municipal nº 2.412, de 11 de julho de 2005. **Institui o Programa de Coleta Seletiva de Lixo no Município de Itabirito e dá outras providências.** Disponível em: <<https://www.itabirito.mg.leg.br/legislacao/leis/legislacao-municipal>>. Acesso em: 05 de jun. de 2023.

PREFEITURA DE ITABIRITO. Lei Municipal nº 2.415, de 11 de julho de 2005. **Reconhece de Utilidade Pública Municipal a ASCITO - Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis de Itabirito.** Disponível em: <<https://www.itabirito.mg.leg.br/legislacao/leis/legislacao-municipal>>. Acesso em: 05 de jun. de 2023.

PREFEITURA DE ITABIRITO. Disponível em: <<https://itabirito.mg.gov.br/servicos/rota-da-coleta-de-lixo/rota-da-coleta-de-lixo>> Acesso em: 05 de jun. de 2023.

PREFEITURA DE OURO PRETO. Disponível em: <<https://ouropreto.mg.gov.br/noticia/1808>> Acesso em: 28 de jun. de 2023.

Projeções da população: Brasil e unidades da federação: revisão 2018 / IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. – 2. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

Queiroz Júnior, A. B. **PROPOSTA DE CENÁRIOS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA CIDADE DE ERERÉ-CE** Orientador: Joel Medeiros Bezerra. (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural do Semi-árido. 2020.

SAIANI, C. C. S.; DOURADO, J.; JUNIOR R. T. RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL: OPORTUNIDADES E DESAFIOS DA LEI FEDERAL NO 12.305 (LEI DE RESÍDUOS SÓLIDOS) Barueri, SP: **Minha Editora**, 2014.

RICARDO, M.; NET, G. M. **ESTUDO DE COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM MUNICÍPIOS DO SUL CATARINENSE.** [s.l: s.n.]. 2014. Disponível em: <<https://www.abes-rs.org.br/qualidade2014/trabalhos/id988.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SIAM. Sistema Integrado de Informação Ambiental. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/siam/empreendedor/consultar_list.jsp?pageheader=N&num_pt=00437&ano_pt=1998&num_pa=003&ano_pa=2006&num_proc_administrativo=003&ano_proc_administrativo=2006&cod_emprego=3898&cod_empendedor=3904&tipoProcesso=1> 2009. Acesso em: 20 de jul. de 2023.

SILVA, C. B. **Gestão dos resíduos sólidos urbanos e os impactos socioambientais na Bacia do Rio do Peixe-PB**. 2018. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

SILVA, J. D. S. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES: UM ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE SÃO FRANCISCO DE SALES - MG. 1. ed. - Jundiá [SP] : **Paco Editorial**, 2021.

SILVA, L. C.; ROZA, B. C.; RATHMANN, R.; GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA CIDADE DO PORTO (PORTUGAL): UM EXEMPLO DE PRÁTICA SUSTENTÁVEL? **Revista de Gestão Social e Ambiental - RGSA**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 60-78, maio/ago. 2012.

SILVEIRA A. **De volta ao ciclo: tecnologias para a reciclagem de resíduos**. Curitiba: InterSabers, 2021. (Série Química, Meio Ambiente e Sociedade)

SINIR. Sistema Nacional de Informações em Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR). Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/paineis/destinacao/>> Acesso em: 11 de jun. de 2023.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. Brasília, p. 72, dez, 2022.

SOARES, A. **CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO BAIXO JEQUITINHONHA / MINAS GERAIS -INSTRUMENTO PARA GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS SOB PERSPECTIVA REGIONAL**. 2013. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/III-054.pdf>>. Acesso em: 18 de jul. de 2023.

SOUZA, R. M. **Análise de eficiência do gerenciamento de resíduos sólidos no Hospital Universitário João de Barros Barreto**. 2017. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade

Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Belém, 2017. Programa de Pós-Graduação em Gestão Pública. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/10324>>. Acesso em: 01 de mai. de 2023.

SOUZA, Z. H. DE; MOURA, V. S. F.; MACHADO, B. L. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares dispostos no lixão do município de Mineiros – Goiás / Gravimetric composition of household solid waste disposed of in the dump in the municipality of Mineiros – Goiás. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 31392–31401, 27 maio 2020

TELLES, D. D. **Resíduos sólidos: Gestão responsável e sustentável**. Editora Blucher, 2022.

VILHENA, A. (Coord. geral). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. CEMPRES – Compromisso Empresarial para Reciclagem. 4. ed. São Paulo, São Paulo, 2018.