



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**



BÁRBARA GOSZINIAC PAIVA

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE TRIAGEM E
COMPOSTAGEM DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO
MUNICÍPIO DE OURO PRETO - MG**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Ouro Preto, MG

2018

Bárbara Gosziniak Paiva

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE UMA USINA DE COMPOSTAGEM NO
MUNICÍPIO DE OURO PRETO - MG E SEUS DISTRITOS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenharia Ambiental.

Orientador: Aníbal Fonseca Santiago

Ouro Preto, MG

2018

P149e

Paiva, Bárbara Gosziniak.

Estudo de viabilidade de sistemas de triagem e compostagem dos resíduos sólidos urbanos do município de Ouro Preto - MG [manuscrito] / Bárbara Gosziniak Paiva. - 2018.

68f.: il.: color; tabs; quadros.

Orientador: Prof. Dr. Aníbal Fonseca Santiago.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Ambiental.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Lixo. 3. Usina de Triagem e Compostagem. 4. Viabilidade econômica. 5. Ouro Preto (MG). I. Santiago, Aníbal Fonseca. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 504

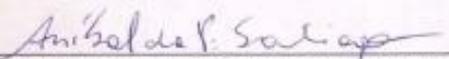
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas
Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental – CEAMB
Campus Universitário Morro do Cruzeiro-S/N - CEP:35400-000 Ouro Preto – MG
Brasil - Tel.: (31) 3559.1542 – e-mail: ceamb@em.ufop.br

Folha de Aprovação

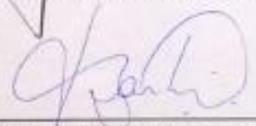
Bárbara Gosziniak Paiva

ESTUDO DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM DOS RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE OURO PRETO - MG

Trabalho Conclusão de Curso defendido e aprovado em 23/07/2018 pela comissão
avaliadora constituída pelos professores:


Prof. Dr. Anibal da Fonseca Santiago - UFOP (Orientador)


Prof. Dr. José Francisco do Prado Filho - UFOP


Dr. Antenor Rodrigues Barbosa Junior - Secretário de Meio Ambiente de Ouro
Preto/MG

Campus Universitário Morro do Cruzeiro-S/N - CEP:35400-000 Ouro Preto – MG Brasil - Tel.: (31)
3559.1542 – e-mail: ceamb@em.ufop.br

RESUMO

Ouro Preto vem tendo problemas com a gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) produzidos no município desde que seu aterro que foi projetado em 1996 para ser sanitário, (aterro do Marzagão) começou a oscilar entre ser um aterro controlado e um lixão. A disposição dos RSU em locais inadequados como está ocorrendo em Ouro Preto, polui o meio ambiente e prejudica a saúde da população. A fim de acabar com o os danos ambientais, econômicos e sociais que estão sendo causados devido a problemática da destinação dos RSU, esse trabalho avaliou a viabilidade da implantação de sistemas de triagem e compostagem no município, através do dimensionamento de Usinas de Triagem e Compostagem (UTCs) e estimativas dos custos de implantação. O resultado obtido foi que o melhor custo benefício seria implantar uma UTC na sede do município de Ouro Preto, e outras UTCs em cada um dos seus 12 distritos.

Palavras Chave: Resíduos sólidos urbanos, lixão, aterro controlado, Usina de Triagem e compostagem, viabilidade econômica, Ouro Preto.

ABSTRACT

Ouro Preto has been having problems with the management of urban solid waste (MSW) produced in the municipality since its landfill, which was designed in 1996 to be sanitary, (Marzagão landfill) began to oscillate between being a controlled landfill and a garbage dump. The disposal of MSW in inappropriate places as it is occurring in Ouro Preto, pollutes the environment and damages the health of the population. In order to eliminate the environmental, economic and social damages that are being caused due to the problematic of the USW destination, this work evaluated the feasibility of the implantation of systems of sorting and composting in the city, through the design of Sorting and Composting Plants (UTCs) and estimates of deployment costs. The result was that the best cost benefit would be to implement a UTC at the Ouro Preto municipality and other UTCs in each of its 12 districts.

Keywords: Solid urban waste, landfill, controlled landfill, Screening and Composting Plant, economic viability, Ouro Preto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Alternativas de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos.....	16
Figura 2: Esquema das etapas de compostagem.....	19
Figura 3: Etapas de decomposição.....	21
Figura 4: Comparação entre os métodos: leiras com revolvimento mecânico, leiras estáticas aeradas e reatores.....	23
Figura 5: Esquema das etapas de uma Usina de Triagem e Compostagem.....	24
Figura 6: Divisão por região da população brasileira não atendida pela coleta domiciliar.....	27
Figura 7: Situação de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos em Minas Gerais.....	29
Figura 8: Eco Ponto de Ouro Preto.....	30
Figura 9: Etapas da Metodologia.....	32
Figura 10: Localização de Ouro Preto.....	33
Figura 11: Distritos de Ouro Preto e suas distâncias até a sede.....	33
Figura 12: Área da seção triangular.....	38
Figura 13: Baias de recicláveis.....	42
Figura 14: Mesa de triagem transversal.....	44
Figura 15: Mesa de triagem linear.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação C:N em diferentes materiais.....	20
Tabela 2: Massa coletada per capta (IN021).....	28
Tabela 3: Destino final dos RSU do Brasil.....	28
Tabela 4: Informações da População de Ouro Preto.....	34
Tabela 5: Progressão Populacional.....	34
Tabela 6: Projeção populacional dos distritos de Ouro Preto.....	35
Tabela 7: Produção diária de resíduos sólidos urbanos.....	36
Tabela 8: Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares no Brasil.....	37
Tabela 9: Densidade típica da matéria orgânica.....	38
Tabela 10: Densidade dos materiais.....	41
Tabela 11: Tamanho das instalações de apoio por porte da UTC.....	46
Tabela 12: Valores da construção.....	47
Tabela 13: Valor do combustível.....	47
Tabela 14: Volume de resíduos sólidos coletado por rota.....	49
Tabela 15: Dimensões das leiras e dos pátios de compostagem.....	50
Tabela 16: Produção diária de materiais recicláveis.....	51
Tabela 17: Dimensões básicas das Baias papel.....	52
Tabela 18: Dimensões básicas das Baias de plástico.....	52
Tabela 19: Dimensões básicas das Baias de vidro.....	53
Tabela 20: Dimensões básicas das Baias de metal.....	53
Tabela 21: Área das baias de reciclagem.....	54
Tabela 22: Dimensões dos galpões de triagem.....	55
Tabela 23: Dimensão das mesas de triagem.....	55
Tabela 24: Custos da construção das Unidades de triagem e compostagem.....	56
Tabela 25: Custos com combustível para o transporte dos RSU.....	57
Tabela 26: Custos com mão de obra para o transporte dos RSU.....	57
Tabela 27: Custo do transporte dos RSU, com inflação.....	57
Tabela 28: Custo total do Cenário 1.....	58
Tabela 29: Custo total do Cenário 2.....	58
Tabela 30: Custo total do Cenário 3.....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Parâmetros físicos dos resíduos sólidos.....	10
Quadro 2: Parâmetros químicos dos resíduos sólidos.....	11
Quadro 3: Padrão de cores da coleta seletiva.....	14
Quadro 4: Opções de construção das Usinas de Triagem e Compostagem.....	31
Quadro 5: Porte dos galpões.....	46
Quadro 6: Equipamentos para cada tipo de galpão.....	46

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVOS.....	8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	9
3.2 COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	13
3.3 DESTINAÇÃO AMBIENTALMENTE ADEQUADA E DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	15
3.4 USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM.....	23
3.5 LEGISLAÇÃO.....	25
3.6 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	27
4. METODOLOGIA.....	31
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO.....	32
4.2 DIMENSIONAMENTO PARA O SISTEMA DE COMPOSTAGEM.....	35
4.3 DIMENSIONAMENTO DA BAIA DE RECICLÁVEIS.....	40
4.4 DIMENSIONAMENTO DO GALPÃO PARA A TRIAGEM.....	43
4.5 DIMENSIONAMENTO DA MESA DE TRIAGEM.....	43
4.6 CÁLCULOS DOS CUSTOS.....	45
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
6. CONCLUSÕES.....	60
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
8. ANEXOS.....	66

1. INTRODUÇÃO

A coleta e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos de um município é essencial para a manutenção da salubridade do mesmo e garantia de uma saúde adequada para a população. Projetado para ser um aterro sanitário em 1996, o local de disposição final dos resíduos sólidos de Ouro Preto vem oscilando ao longo dos anos, ora como um aterro controlado, ora como lixão. A problemática dos resíduos sólidos no município tomou grandes dimensões, pois o Ministério Público de Minas Gerais ajuizou ação em 2016 para que o município não mais disponha seus resíduos sólidos ali, sob pena de multa diária.

Esta problemática reforça a necessidade do município de promover a disposição adequada dos resíduos sólidos que possa eliminar, ou reduzir os impactos ambientais negativos de contaminação do ar, solo e água, a proliferação de doenças, e os impactos econômicos e sociais, como os custos gerados pela futura necessidade de recuperação das áreas degradadas.

No ano de 2013, o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos realizado pela Prefeitura de Ouro Preto não se encontrava em condições satisfatória de acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico de Ouro Preto – PMSB-OP (2013). Este plano apontava como principais problemas no município a falta de um aterro sanitário para a disposição dos resíduos sólidos, além de deficiências na coleta seletiva e na coleta dos resíduos sólidos no meio rural (PMSB-OP, 2013).

Diante dos problemas enfrentados pela Prefeitura para o gerenciamento dos resíduos sólidos em Ouro Preto, a implantação de Usinas de Triagem e Compostagem (UTCs) na sede do município e em todos os seus distritos se apresenta como alternativa na busca de um sistema de destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos.

As UTCs tiveram início no final do século XIX, com as unidades de Budapeste e Munique. No Brasil, tais usinas são utilizadas desde o final da década de 60, e foram mais popularizadas na década de 90. Essas unidades são consideradas uma opção adequada para a destinação final dos resíduos sólidos, especialmente em municípios de pequeno porte. As UTCs geram renda, reduzem a quantidade de resíduos a serem aterrados (aumentando a vida útil do aterro), preservam recursos naturais e reduzem a poluição ambiental através do reaproveitamento dos materiais recicláveis e compostagem dos resíduos orgânicos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Tendo como objeto de estudo alternativas de destinação final ambientalmente adequada para os resíduos sólidos urbanos do município de Ouro Preto – Minas Gerais, este trabalho avaliou a viabilidade ambiental e econômica da instalação de sistemas de triagem e compostagem no município de Ouro Preto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral, tem-se como objetivos específicos:

- Dimensionar unidades de triagem e compostagem (UTC) unificada para o município, uma UTC para cada um dos 12 distritos e uma UTC para a sede de Ouro Preto -MG, visando calcular e avaliar os custos de construção das mesmas;
- Planejar rotas de transporte dos resíduos sólidos urbanos dos distritos para a UTC unificada de Ouro Preto, e avaliar os custos do transporte dos resíduos dos distritos para Ouro Preto;
- Analisar a melhor opção para a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos de Ouro Preto: construir uma UTC integrada em Ouro Preto que receba os resíduos da sede e dos distritos, construir uma UTC em cada distrito e outra na sede. E também a viabilidade da instalação das UTCs apenas nos distritos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS (RS)

A correta destinação e disposição dos resíduos sólidos tornou-se um dos principais desafios do século, seu gerenciamento é um problema recorrente da nossa sociedade, e quando mal gerenciado pode comprometer a saúde e bem-estar da população, além de provocar danos graves ao meio ambiente (GRIPPI, 2001).

Para Calderoni (1997), resíduos sob o ponto de vista econômico, são todos os materiais que uma determinada sociedade desperdiça. De acordo com Calderoni:

Na linguagem corrente, o termo resíduo é tido praticamente como sinônimo de lixo. Lixo é todo material inútil. Designa todo material descartado posto em lugar público. Lixo é tudo aquilo que se “joga fora”. É o objeto ou a substância que se considera inútil ou cuja existência em dado meio é tida como nociva (CALDERONI, 1997, p. 49).

Segundo a Norma Brasileira NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação de 2004, da ABNT, resíduos sólidos são:

Resíduos que estão 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.

Para o âmbito deste estudo, o conceito a ser considerado é o de resíduos sólidos urbanos. De acordo com a Lei Federal 12.305/2010 eles são os resíduos originados em atividades domésticas em residências (resíduos domiciliares) e de serviços da limpeza urbana, como limpeza das vias públicas, varrição e limpeza de logradouros (resíduos de limpeza urbana) (BRASIL, 2010).

3.1.1 CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A caracterização dos resíduos sólidos objetiva planejar o tipo de destinação final mais adequado para ser empregado aos resíduos gerados em um município, analisar a possibilidade de implantação de algum método de tratamento como por exemplo a compostagem, e verificar a viabilidade do aproveitamento de resíduos não orgânicos para uma possível instalação de usina de triagem e venda de materiais recicláveis (STECH, 1990).

Os resíduos sólidos que, após esgotadas quaisquer possibilidades de tratamento e recuperação mediante os processos tecnológicos disponíveis e viáveis

economicamente, não apresentem outra alternativa que não a disposição final são chamados rejeitos (BRASIL, 2010).

As características dos resíduos sólidos podem variar em função de diversos aspectos, que podem ser sociais, geográficos, culturais, econômicos ou climáticos (IBAM,2001). Os parâmetros físicos e químicos dos resíduos sólidos de acordo com a NBR 10.004 da ABNT são apresentados respectivamente nos Quadros 1 e 2.

Quadro 1: Parâmetros físicos dos resíduos sólidos

PARÂMETROS FÍSICOS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	
Geração per capita	Relaciona a quantidade de resíduos sólidos urbanos geradas por dia, e a quantidade de habitantes de uma região. Sua unidade de medida é ton./hab. dia.
Composição gravimétrica	Representa a quantidade em porcento de cada componente (matéria orgânica, papel/papelão, plástico, metal, vidro) em relação ao peso total da amostra analisada.
Peso específico aparente	É a relação do peso do lixo sem qualquer compactação, com o volume por ele ocupado. Sua unidade de medida é kg/m ³ .
Teor de umidade	Indica a quantidade de água contida em determinada amostra de resíduos sólidos, medida em percentual do seu peso. É comum uma alteração deste parâmetro de acordo com as épocas do ano.
Compressividade	Indica qual a redução de volume que uma massa de resíduos sólidos pode sofrer quando submetida a uma pressão.

Fonte: Adaptado de Brasil, 2004.

Quadro 2: Parâmetros químicos dos resíduos sólidos

PARÂMETROS QUÍMICOS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	
Poder calorífico	Indica o potencial que determinado material tem de desprender uma quantidade de calor quando submetido à combustão.
Potencial hidrogeniônico (pH)	Especifica o teor de alcalinidade ou acidez do resíduo. Normalmente situa-se na faixa de 5 a 7.
Composição química	Determina os teores de matéria orgânica, carbono, cinzas, potássio, nitrogênio, cálcio, fósforo, gorduras e resíduo mineral solúvel e total.
Relação carbono/nitrogênio (C:N)	Indica o grau de decomposição da matéria orgânica dos resíduos sólidos nos processos de tratamento e disposição final. Geralmente situa-se entre 20:1 e 35:1.

Fonte: Adaptado de Brasil, 2004.

As características biológicas do resíduo sólido são definidas pelos microrganismos e agentes patogênicos presentes nele. O conhecimento das características biológicas dos resíduos é fundamental para a seleção dos métodos de tratamento e disposição final mais adequados. Com este conhecimento é possível desenvolver inibidores de odor e retardantes/aceleradores da decomposição da matéria orgânica (IBAM, 2001).

3.1.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com a norma 10.004/2010 da ABNT, os resíduos sólidos são classificados em:

- **CLASSE I - PERIGOSOS:**

São os resíduos que devido suas características peculiares de inflamabilidade, toxicidade, patogenicidade, reatividade ou corrosividade, expressam riscos à saúde pública, ou causam efeitos adversos ao meio ambiente se operados ou dispostos de maneira inadequada.

- **CLASSE II - NÃO PERIGOSOS**

São resíduos não perigosos e que não se enquadram na classificação classe I. Eles são divididos em: Resíduos classe II A, e classe II B.

- CLASSE II A – NÃO INERTES

São aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I ou classe II B, e podem ter características como solubilidade, combustibilidade ou biodegradabilidade.

- CLASSE II B – INERTES

São os resíduos que não apresentam riscos à saúde e ao meio ambiente devido suas características intrínsecas, e que quando uma amostra representativa for submetida à água destilada ou deionizada, por um contato dinâmico ou estático, a temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações acima dos padrões de potabilidade da água, com exceção dos padrões de turbidez, cor, sabor e aspecto.

A origem dos resíduos é um elemento fundamental para sua caracterização. De acordo com a Lei nº 12.305/2010, os resíduos sólidos podem ser definidos quanto a sua origem em 11 classes, sendo definidas aqui as classes que poderão ser encaminhadas para as UTCs.

- Resíduos domésticos;

São aqueles gerados pelas atividades diárias de uma residência.

- Resíduos comerciais;

São os gerados por estabelecimentos comerciais, suas características dependem da atividade que é desenvolvida em cada estabelecimento. O regulamento de limpeza urbana do município pode definir precisamente pequenos geradores e grandes geradores de resíduos comerciais, um parâmetro que pode ser adotado é que pequenos geradores são os estabelecimentos que geram até 120 litros de lixo por dia, e os grandes são os que geram mais do que isso. A coleta dos resíduos dos grandes geradores pode ser tarifada.

- Resíduos públicos;

São os resíduos presentes em locais públicos, tais como folhas e galhos de árvores, poeira, areia, terra, e os descartados pela população de forma indevida.

- Resíduos domiciliar especial;

São os entulhos de obras, pneus, pilhas, baterias, e lâmpadas fluorescentes.

3.2 COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo IBAM (2001), coletar os resíduos sólidos consiste em recolher os resíduos dispostos por quem os produziu, para conduzi-los por meio de um transporte adequado, a uma estação de transferência, a um tratamento e à disposição final.

Em geral é o órgão municipal encarregado pela limpeza urbana que efetua a coleta e o transporte dos resíduos domiciliares, ou seja, em residências, estabelecimentos públicos e no comércio de pequeno porte. Esses serviços são executados pela prefeitura, ou empresas terceirizadas contratadas ou sistemas mistos. O resíduo sólido de estabelecimentos de grande porte deve ser coletado por empresas contratadas pelos próprios, cadastradas e autorizadas pela prefeitura.

A regularidade da coleta nos mesmos dias e horários é de extrema importância para habituar os cidadãos a colocar os resíduos sólidos nas calçadas nos dias e horários de passagem do veículo coletor. O contrário pode ocasionar em exposição demasiada dos resíduos, ocasionando a emissão de odor, atração de animais e vetores e prejuízo aos aspectos estéticos do meio urbano (IBAM,2001).

Os veículos de coleta e transporte de resíduo sólido urbanos, podem ser do tipo compactadores de carregamento traseiro ou lateral, ou sem compactação.

3.2.1 COLETA SELETIVA

Na coleta seletiva os resíduos sólidos urbanos são antecipadamente separados de acordo com sua composição ou constituição pelo próprio gerador (BRASIL, 2010). A coleta seletiva pode ser feita via porta a porta, onde os resíduos sólidos são recolhidos nas portas das casas das pessoas, ou pontos de entrega voluntária (PEV), onde as pessoas entregam os resíduos sólidos recicláveis previamente separados em pontos de coleta.

Um dos maiores desafios da coleta seletiva é o custo que é bem mais elevado que o da coleta convencional. De acordo com o CEMPRE (2018), o valor médio da coleta seletiva em 2016 era R\$ 389,46 por tonelada e da coleta convencional R\$ 95,00 por tonelada.

A implantação da coleta seletiva possibilita que os resíduos sólidos sejam encaminhados para as centrais de triagem já separados, deixando o processo de separação dos resíduos mais eficiente. Além disso a mistura dos resíduos orgânicos

e inorgânicos na fonte geradora reduz a possibilidade de reciclagem, pois uma limpeza posterior pode não ser possível ou inviável economicamente (LOPES, 2003).

Um dos grandes problemas da coleta seletiva é cultural, pois as pessoas não foram acostumadas a separar seus resíduos, por isso é importante realizar campanhas educativas que mostrem a importância da separação dos resíduos sólidos urbanos, e incentive a população a realizar essa ação. A Resolução CONAMA Nº 275, de 25 de abril de 2001 estabelece o padrão de cores de cada grupo, que são descritos no Quadro 3. Este padrão é importante de ser adotado para a identificação dos coletores e transportadores, para as campanhas informativas de coleta, e para facilitar a participação da população.

Quadro 3: Padrão de cores da coleta seletiva.

GRUPO	COR	EXEMPLOS DE CONSTITUINTES DO GRUPO
PAPEL	AZUL	Papelão, revistas, cadernos, jornais, embalagens, sacos e similares.
PLASTICO	VERMELHO	PVC, PET, frascos plásticos, sacolas, cartões magnéticos, copos descartáveis e similares
VIDRO	VERDE	Garrafas, copos, cacos e demais recipientes de vidro
METAL	AMARELO	Latas, parafusos, pregos, cliques, alumínio, engrenagens, dentre outros semelhantes
MADEIRA	PRETO	Madeira em geral
RESÍDUOS DE SAÚDE	BRANCO	Resíduos ambulatoriais e de serviços de saúde em geral
RESÍDUOS RADIOATIVOS	ROXO	Resíduos radioativos
RESÍDUOS ORGÂNICOS	MARROM	Resíduos orgânicos

Fonte: CONAMA Nº 275, 2001.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010), Lei 12305/2010, propõe que os municípios ofereçam a coleta seletiva à população além de incentivá-los financeiramente, mas segundo a última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

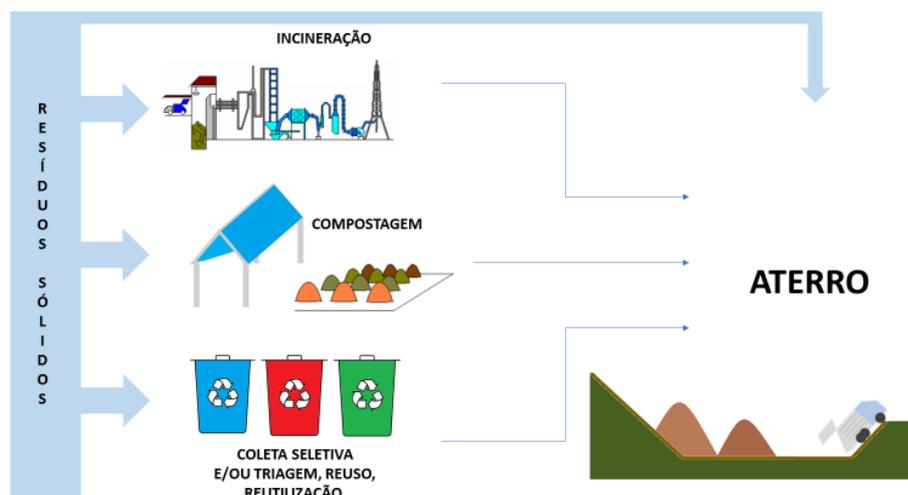
(2008) divulgada pelo IBGE, 994 municípios brasileiros (18% do total de municípios do país) realizaram coleta seletiva. As regiões Sul e Sudeste são as de maior representatividade, pois 81% dos municípios que oferecem o serviço estão nessas regiões. De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada - IPEA (2012), aumentou em 120% entre 2000 e 2008 o número de municípios que adotaram a coleta seletiva de materiais recicláveis.

Segundo o PMSB-OP (2013), o programa de coleta seletiva foi instituído no município em 2011, com a finalidade de reduzir a poluição ambiental, aumentar a vida útil do aterro controlado ainda existente na época, e permitir a ampliação da renda dos catadores de materiais recicláveis. Em 2017 foi criado o Programa Ouro Preto Recicla, que oferta a coleta seletiva no município, visando atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Os bairros atendidos pela coleta porta a porta no município são: Água Limpa, Alto da Cruz, Antônio Dias, Barra, Bauxita, Cabeças, Centro, Estação, Lagoa, Padre Faria, Pilar, Rosário, Taquaral e São Cristóvão. O programa conta com uma parceria entre a Secretaria de Meio Ambiente, e duas associações de catadores de Ouro Preto, a Associação de Beneficiamento e Reciclagem do Lixo e Meio Ambiente e Preservação Ambiental da Cidade de Ouro Preto (Associação de Catadores do Padre Faria), e a Associação de Catadores de Materiais Recicláveis da Rancharia (ACMAR).

3.3 DESTINAÇÃO AMBIENTALMENTE ADEQUADA E DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Existem algumas formas possíveis para o tratamento dos resíduos sólidos e sua disposição final na natureza. A Figura 1 mostra as principais formas de destinação final ambientalmente adequada, que são a incineração, a compostagem e a reciclagem, e a disposição final que deve ser feita em aterro sanitário. Apenas rejeitos que não podem passar pela alternativa de tratamento disponível (como por exemplo: papeis engordurados, papel higiênico usado), devem ir para a disposição final. O tratamento dos resíduos sólidos tem como finalidade reduzir a periculosidade e o volume dos rejeitos para a disposição final.

Figura 1: Alternativas de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos.



Fonte: Adaptado de LIBÂNIO, 2002.

A reciclagem é um processo de transformação dos resíduos sólidos que abrange a mudança de suas propriedades biológicas, físicas ou físico-químicas, visando à transformação em matéria-prima ou novos produtos (BRASIL, 2010). A incineração é um processo de queima, com excesso de oxigênio, em que os materiais carbonáceos são decompostos, emitindo calor e produzindo um resíduo de cinzas (IBAM,2001), porém esta forma de tratamento é proibida em Minas Gerais pela lei 21.557/2014.

A disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, deve ser feita com o aterramento dos rejeitos, que consiste no confinamento sistemático dos mesmos no solo em aterros, respeitando normas específicas de operação, de forma que evite prejuízos ou riscos à saúde e à segurança e minimize impactos ambientais. Existem dois tipos de aterro, o aterro sanitário e o aterro controlado. A diferença básica entre eles é que no aterro controlado não há coleta e tratamento do chorume, ou drenagem e queima do biogás (IBAM, 2001).

3.3.1 COMPOSTAGEM

O processo de decomposição biológica controlada da matéria orgânica por uma diversa população de organismos, em condições aeróbias e termofílicas é chamado de compostagem. O resultado da compostagem é um material estabilizado, com características completamente diferentes dos de sua origem (BRASIL, 2017).

Entende-se por matéria orgânica constituinte dos resíduos sólidos urbanos, restos de legumes e frutas, restos de alimentos, gramas, palhas de milho e de café, folhas de árvores (FEAM, 2005).

A população microbiana dos resíduos sólidos é variada, contendo bactérias, fungos e actinomicetos, os quais, em condições apropriadas e controladas, proliferam-se, acelerando a decomposição do material orgânico (FEAM, 2005). Também estão presentes nos resíduos sólidos microrganismos patogênicos, como estreptococos e salmonelas, que são eliminados pelo calor que o próprio processo libera, pois não sobrevivem por mais de 24 horas a temperaturas acima de 55°C (IBAM, 2001).

A compostagem aeróbia e termofílica é realizada por microrganismos que necessitam da presença do oxigênio para viver, a temperatura pode atingir até 70°C, a decomposição é mais rápida, e os odores emitidos não são fortes, o produto final deste processo é um composto orgânico (húmus), rico em nutrientes (IBAM,2001).

É importante ressaltar que a compostagem apresenta diversas vantagens ambientais, destacando-se o aumento da vida útil do aterro, uma menor emissão de gás metano e menor geração de lixiviado. Um benefício indireto é a diminuição nos custos de implantação e operação de sistemas de tratamento do chorume (MASSUKADO, 2008).

3.3.1.1 FATORES QUE INFLUENCIAM A COMPOSTAGEM

Condições físicas e químicas adequadas são fundamentais para a compostagem, por isso deve-se ter o controle do local, da disposição e configuração da matéria orgânica, umidade, aeração, temperatura, pH, nutrientes e tamanho das partículas (FEAM, 2005).

- LOCAL

O local onde será realizada a compostagem é chamado de pátio de compostagem, a luz solar deve incidir por toda a área, seu piso deve ser pavimentado e de preferência impermeabilizado, e conter um sistema de drenagem pluvial (FEAM, 2005). Para fazer o dimensionamento do pátio é preciso considerar áreas para estocar o composto orgânico final, e espaço entre as leiras para circulação de caminhões, pás carregadeiras ou máquinas de revolvimento (IBAM, 2001).

- DISPOSIÇÃO

A disposição do material orgânico no pátio deve acontecer ao final do processo de triagem de um volume determinado de lixo produzido por dia, formando uma leira (FEAM, 2005). O formato das leiras pode ser piramidal ou cônico, com dimensões aproximadas de 3 metros de largura ou 2 metros de diâmetro e cerca de 1,5 a 2 metros de altura. Sendo que alturas superiores a 2 metros dificultam a aeração da massa e o revolvimento do material (IBAM, 2001). Caso o lixo diário não seja suficiente para formar uma leira com essas dimensões, é preciso reunir contribuições diárias até que se consiga a formação geométrica desejada (FEAM,2005).

- UMIDADE

Os microrganismos que executam a compostagem têm uma estrutura formada por cerca de 90% de água, portanto o teor de umidade ao longo do processo precisa ser controlado (IBAM, 2001).

O teor ideal de umidade é de 55%, pois o excesso impedirá a passagem do ar pelo interior da leira e causará fortes odores, formação de chorume e atração de vetores, e a carência irá diminuir a taxa de estabilização (FEAM,2005). O teor de umidade deve ser corrigido durante os reviramentos, ou quando a matéria orgânica se apresentar muito seca (CAOPMA, 2013).

Uma das razões da compostagem ser uma alternativa interessante para a transformação dos resíduos domiciliares em húmus, é que estes contêm naturalmente uma umidade na ordem de 55% (BIDONE e POVINELLI, 1999).

- AERAÇÃO

O ambiente ideal para a compostagem é o aeróbico, por ser mais rápida a degradação da matéria orgânica e não produzir maus odores e não atrair vetores (BIDONE e POVINELLI, 1999).

O revolvimento é a atividade responsável pela aeração da leira, que tem a função de eliminar o calor excessivo, ou reduzir a umidade excessiva. As principais formas de aerar uma leira são o revolvimento manual, o revolvimento mecânico e a injeção de ar (MASSUKADO, 2008).

De acordo com Fernandes e Silva (1999), no método de revolvimento, a leira precisa ser revolvida pelo menos três vezes na semana, para ficar homogênea, aumentar a porosidade do meio, controlar a temperatura, diminuir o teor de umidade

e fazer as camadas mais externas terem contato com as temperaturas mais altas do interior da leira, aumentando a eficiência na desinfecção.

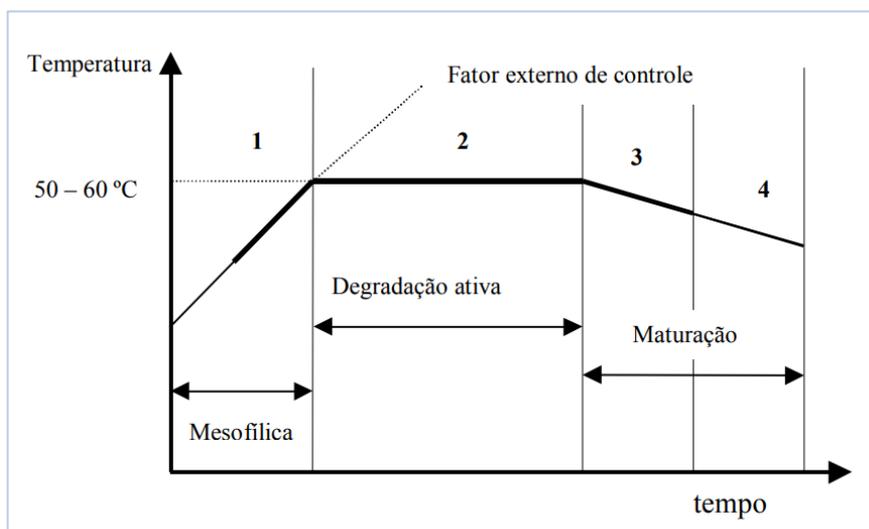
- TEMPERATURA

A compostagem aeróbia pode suceder em regiões termofílicas (temperatura entre 45°C e 85°C) e mesofílicas (temperatura entre 25°C e 43°C) (ANDREOLI, 2001).

Os principais fatores responsáveis pela eliminação dos patógenos dos RSU, são a manutenção da temperatura entre 65° e 70°, o período de exposição a essa temperatura, a cessação de substrato e nutrientes, e a competição entre as espécies (REIS, 2005).

Segundo Bidone e Povinelli (1999), existem 4 etapas no processo de compostagem pelo revolvimento em relação a temperatura. Na etapa 1 há um aumento da temperatura até o ponto apontado como ótimo na compostagem (55°C a 60°C), essa etapa pode levar entre 12 horas até alguns dias, isso vai depender das condicionantes ambientais do pátio. Após atingir essa temperatura é feito um revolvimento ou a aeração mecânica, levando a bioestabilização na faixa de temperatura apropriada. Na etapa 2 ocorre a degradação ativa da matéria orgânica, essa etapa pode demorar cerca de 30 dias (quando as leiras são operadas na forma estática aerada), ou de 60 a 90 dias (quando operadas no método convencional windrow). A etapa 3 é quando começa a fase de resfriamento do material compostado, ela leva de três a cinco dias. Na etapa 4 ocorre a maturação do material, pode levar de 30 a 60 dias. A Figura 2 mostra separadamente as quatro etapas.

Figura 2: Esquema das etapas de compostagem.



Fonte: BIDONE, 1999.

- pH

O pH ao longo da compostagem é autorregulado, portanto não há necessidade de preocupar em controlá-lo durante o processo (RUSSO, 2003). No início da compostagem o pH se torna mais ácido na faixa de 5 a 6, em consequência da formação de ácidos minerais e gás carbônico. Ao longo do processo esses desaparecem, dando lugar aos ácidos orgânicos, que ao reagirem com as bases liberadas da matéria orgânica tornam o meio alcalino, com o pH de 8 a 8,5 (BIDONE e POVINELLI, 1999).

- NUTRIENTES

O carbono é considerado a fonte de energia dos microrganismos e o nitrogênio um elemento crucial para a síntese de proteínas, portanto eles são elementos fundamentais para o crescimento e multiplicação dos mesmos. Para obter uma eficiente e rápida degradação da matéria orgânica é recomendável uma relação de C:N dentro do intervalo de 25:1 e 35:1 (KIEHL,2004).

Para que o processo de compostagem seja adequado, a relação C:N precisa ser atendida, pois se não houver nitrogênio suficiente o crescimento microbiano será limitado, e a degradação ficará lenta (MASSUKADO, 2008). Se o nitrogênio estiver em excesso, poderá ser perdido como amônia, gerando maus odores (REIS, 2005).

A Tabela 1 mostra referências de valores da relação C:N para alguns materiais. Conhecer as relações apresentadas nela é importante, para misturar os resíduos sólidos adequadamente e obter as relações C:N desejadas.

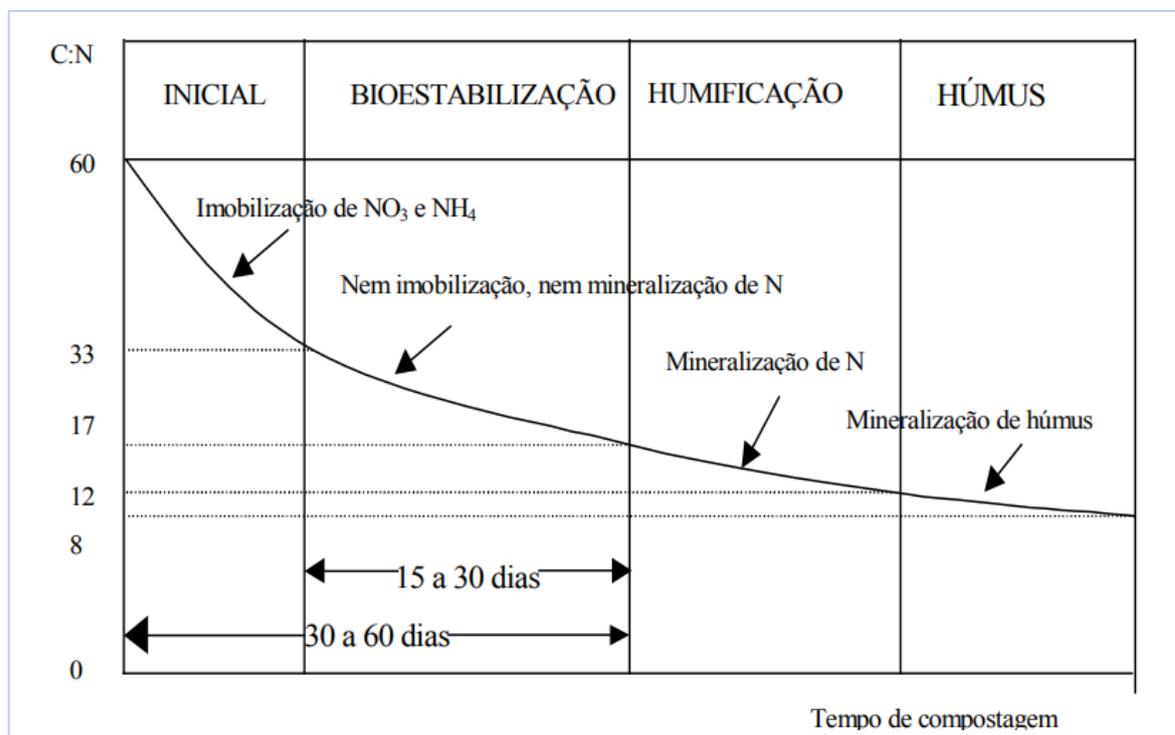
Tabela 1: Relação C:N em diferentes materiais.

MATERIAIS	RELAÇÃO C:N
Esterco bovino	28-25:1
Restos vegetais	15-20:1
Gramma	15-25:1
Folhas secas	30-80:1
Jornal	50-200:1
Palha de cereais	48-50:1
Serragem	20-500:1

Fonte: Adaptado de MASSUKADO, 2008.

A Figura 3 mostra as etapas de transformação do carbono e do nitrogênio no decorrer do processo de estabilização (KIEHL, 1985).

Figura 3: Etapas de decomposição



Fonte: KIEHL, 1985.

- TAMANHO DAS PARTÍCULAS

O tamanho das partículas influencia em diversos fatores da compostagem, como na temperatura, umidade e oxigenação (REIS, 2005).

Segundo Fernandes e Silva (1999), as partículas de resíduos sólidos orgânicos designadas à compostagem, precisam apresentar dimensões entre 2,5cm a 7,5cm. Bidone e Povinelli (1999) recomendam uma granulometria compreendida entre 1cm e 5cm.

Quanto menor as partículas forem, maior será a área para atuação dos microrganismos (RUSSO, 2003), porém partículas muito finas podem levar a uma compactação excessiva da leira, por isso deve-se evitá-las agregando material sólido à massa, o que irá ajudar na sustentação, além de melhorar a porosidade e a aeração. Já as partículas muito grossas devem ser trituradas antes de serem levadas as leiras (BIDONE e POVINELLI, 1999).

3.3.1.2 MÉTODOS DE COMPOSTAGEM

Segundo Reis (2005), a maior diferença entre os tipos de compostagem, está no método de aeração e de modo geral, os processos de compostagem podem ser divididos em três métodos:

- **COMPOSTAGEM EM LEIRAS COM REVOLVIMENTO MECÂNICO (SISTEMA WINDROW);**

Neste método a leira é montada sobre o solo, que deve ser compactado ou impermeabilizado. Um revolvimento manual ou mecânico é realizado para promover a aeração (MASSUKADO, 2008). Este é o método que demanda o menor investimento, tem o valor mais baixo de manutenção, e é o sistema mais utilizado para a compostagem de resíduos sólidos domiciliares. Na escolha do local para esse método de compostagem, é fundamental levar em conta as condições do solo, a topografia do local, e o sistema de drenagem existente (MASSUKADO, 2008).

- **COMPOSTAGEM EM LEIRAS ESTÁTICAS AERADAS;**

No sistema de leiras estáticas aeradas, as leiras são dispostas sobre uma tubulação com cerca de 10cm de diâmetro, perfurada, ligada a um exaustor, que aspira e inspira ar no material orgânico. Não há revolvimento nesse sistema, apenas injeção de ar (REIS, 2005).

O método de leira estática aerada é recomendado apenas para resíduos sólidos com material homogêneo, e com uma boa granulometria, que garanta a permeabilidade do ar inspirado (REIS, 2005).

- **COMPOSTAGEM EM REATORES BIOLÓGICOS.**

A compostagem em reatores biológicos, é um processo fechado, também chamado de In-vessel. Neste processo são utilizados equipamentos como bioestabilizadores e digestores. Os equipamentos usados no processo aceleram a compostagem e permitem um controle dos odores (MASSUKADO, 2008). Em virtude das condições operacionais desse sistema, considera-se que seja mais eficiente na mistura, mantendo a temperatura homogênea em toda massa, o que garante uma eliminação eficiente de patógenos (REIS, 2005).

A Figura 4 faz uma comparação dos três métodos, em relação ao uso de tecnologias, custos operacionais, área e complexidade. As leiras com revolvimento mecânico são as que requerem maior área, porém têm baixo custo e baixa complexidade; as leiras estáticas aeradas envolvem um pouco mais de tecnologia,

aumentando os custos e diminuindo a área requerida, já os reatores biológicos tem o custo mais elevado, envolve mais tecnologia, é mais complexo e demanda menos área que todos os outros métodos.

Figura 4: Comparação entre os métodos: leiras com revolvimento mecânico, leiras estáticas aeradas e reatores.



Fonte: Adaptado de REIS, 2005.

3.4 USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM

As UTCs surgiram no Brasil no fim da década de 60, e na década de 90 foram popularizadas, com a instalação de unidades simplificadas de triagem e compostagem (VIDAL, 2009). De acordo com a FEAM, Minas Gerais apresentava até o ano de 2017 125 UTCs licenciadas e 24 unidades não regularizadas, totalizando 17,5% da tipologia de destinação final dos resíduos sólidos urbanos em MG.

As UTCs separam os materiais dos resíduos sólidos urbanos, para que os materiais recicláveis sejam reintroduzidos no processo industrial, sendo reciclados ou transformados em novos produtos. Prado Filho e Sobreira (2007) verificaram que as UTCs de Minas Gerais têm grande facilidade de venda dos resíduos recicláveis, com exceção para o vidro que tem se acumulado por um grande período de tempo. A compostagem também é realizada nas UTCs produzindo o húmus, que é um material semelhante ao fertilizante orgânico.

Para que o processo de compostagem ocorra, são necessárias algumas etapas prévias e posteriores à compostagem. A coleta seletiva tem grande importância para facilitar a triagem e para a reciclagem, pois os resíduos recicláveis em contato com os

resíduos orgânicos podem perder a capacidade de ser reciclados ou ter o valor de venda reduzido. As outras etapas são executadas na usina de triagem e compostagem. A Figura 5 esquematiza essas etapas.

As UTCs são constituídas das seguintes unidades: recepção, galpão de triagem, pátio de compostagem, valas de aterramento e unidades de apoio.

A recepção é o local onde todo o resíduo sólido urbano é descarregado. Após a descarga, os resíduos são encaminhados para o galpão de triagem.

O galpão de triagem é o local no qual encontram-se a mesa de triagem; onde os resíduos sólidos recicláveis, orgânicos, específicos (pilhas, baterias e pneus) e os rejeitos são separados manualmente por triadores, e as baias de recicláveis, onde os resíduos recicláveis ficam até sua destinação final.

A matéria orgânica é encaminhada para o pátio de compostagem; após sua decomposição, é formado o composto maturado. Os procedimentos relacionados a este composto são o peneiramento, a estocagem e a utilização. De acordo com CEMPRE (2018), o preço de venda do composto varia entre R\$ 100,00 e R\$ 150,00 a tonelada.

A vala de aterramento é o local destinado à disposição final de rejeitos, sua dimensão é variável assim como o modo de compactação e recobrimento do rejeito, que pode ser manual ou com equipamentos a depender do tamanho da vala. A indicação da FEAM (2005) é que a vala de rejeitos receba no máximo 30% do resíduo sólido bruto que chega diariamente na usina de triagem e compostagem.

As unidades de apoio tratam-se de instalações e equipamentos do escritório, vestiário/banheiro e refeitório.

Figura 5: Esquema das etapas de uma Usina de Triagem e Compostagem.



Fonte: Próprio autor.

3.5 LEGISLAÇÃO

Diversas normas, leis, decretos e resoluções existem no Brasil sobre a gestão de resíduos sólidos. Elas evidenciam dentre outras coisas, os cuidados com o meio ambiente e a proteção à saúde pública. Para garantir esses cuidados, a compostagem é uma das sugestões de tratamento indicada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

3.5.1 LEI Nº 18.030 DE 27 DE DEZEMBRO DE 2009.

É uma Lei Estadual de Minas Gerais que dispõe sobre a distribuição da parcela da receita arrecadada pelo Imposto sobre Operações Relativas à circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS), pertencente aos municípios. Tal instrumento legal incentiva as administrações municipais a solucionar problemas nas áreas da saúde, educação, agricultura, preservação do patrimônio cultural e meio ambiente (relacionados aos resíduos sólidos urbanos), por meio da apresentação de projetos (BRASIL, 2009). Com essa Lei, as prefeituras podem apresentar o projeto mais viável para a construção de UTC para o município, e receber um apoio financeiro que ajude na operação da mesma.

3.5.2 PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO – PMSB

A Lei Nº 11.445/2007 de saneamento básico, institui que todas as prefeituras têm obrigação de elaborar seu Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB).

Este plano é um conjunto de diretrizes, projetos, estudos, metas, atos normativos, programas e procedimentos que avalia a salubridade ambiental, inclusive da prestação dos serviços públicos de saneamento, e define as ações e investimentos necessários para a prestação dos serviços de saneamento básico (FUNASA, 2016).

3.5.3 LEI Nº 12.305, DE 02 DE AGOSTO DE 2010, INSTITUI A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Lei Nº 12.305 dispõe sobre os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relacionados à gestão e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL,2010).

Art. 36. No âmbito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, cabe ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, observado, se houver, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos:

(...)

V - implantar sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido.

3.5.4 RESOLUÇÃO CONAMA Nº 481, DE 03 DE OUTUBRO DE 2017.

A Resolução Nº 481/2017 trata-se de uma deliberação do CONAMA, que estabelece critérios e procedimentos visando garantir o controle do processo de compostagem e a proteção do meio ambiente. As disposições da Resolução não se aplicam aos processos de compostagem de baixo impacto ambiental, em casos de o composto ser para uso próprio ou comercializado diretamente com o consumidor (BRASIL, 2017).

Quanto à qualidade ambiental do processo, esta Resolução estabelece o controle da temperatura (entre 55°C e 65°C) e o período termofílico para a redução de agentes patogênicos e a relação carbono/nitrogênio no composto final (menor ou igual a 20:1). As UTCs devem atender requisitos mínimos de controle ambiental que incluem minimizar lixiviados e emissão de odores, evitar a geração de chorume, proteção do solo, isolamento da área, controle dos tipos de resíduos a serem tratados e controle da destinação final dos líquidos gerados no processo.

A adição de lodos de estações de tratamento de esgoto sanitário - ETES é permitida, desde que com autorização do órgão ambiental competente. Alguns resíduos têm a adição coibida pela resolução, tais como os resíduos perigosos, lodo de ETES de serviços de saúde, portos, aeroportos e lodos de ETES classificados como perigosos.

Por fim, a Resolução determina que unidades de compostagem administradas pelo poder público devem priorizar a inclusão de associações de catadores. Os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PMGRS podem prever metas de aumento da reciclagem da fração orgânica dos resíduos. E em estabelecimentos sujeitos à elaboração de Planos de Gerenciamento de Resíduos deverá ser priorizada a destinação dos resíduos orgânicos para a compostagem.

3.6 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

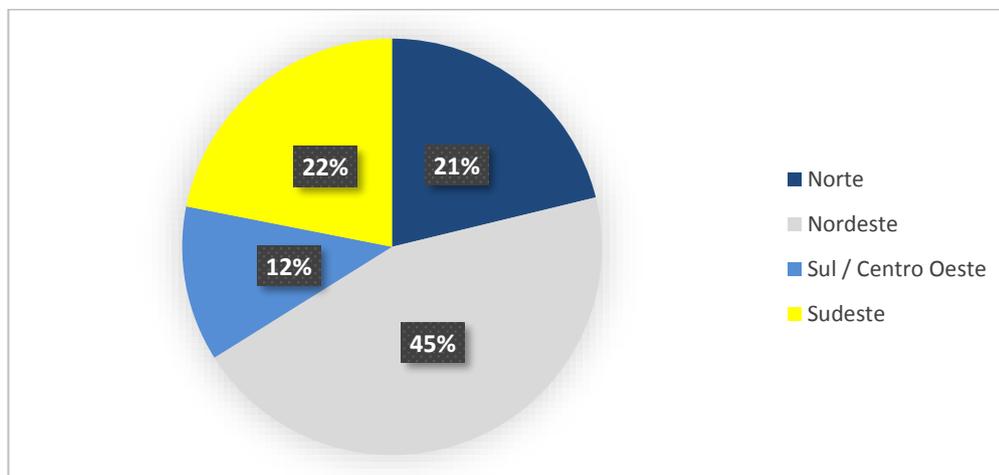
De acordo com o Art. 3º da Política Nacional de Resíduos Sólidos, o gerenciamento dos resíduos sólidos é um conjunto de ações praticadas, direta ou indiretamente, nos processos de coleta, transporte, transbordo, tratamento, e destinação final dos resíduos sólidos, e disposição final dos rejeitos de forma ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

3.6.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REALIDADE DO GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL E EM MINAS GERAIS

A população dos grandes centros urbanos se acostumou ao consumo excessivo, e a capitalização das classes mais pobres das zonas periféricas incrementou nessa, o consumo, sempre desejável na sociedade industrializada. Porém a sociedade atual ainda não conseguiu administrar as quantidades crescentes de resíduos sólidos geradas ao longo de todo o seu processo produtivo, e após o uso e despejo final. A injustiça social e a falta de conscientização sobre a preservação ambiental contribuem para agravar o quadro sanitário da grande maioria dos países em desenvolvimento (LIBÂNIO, 2002).

De acordo com o Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos realizado em 2016, 98,6% da população urbana do país têm cobertura regular de coleta domiciliar de resíduos, o que significa que aproximadamente 2,7 milhões de brasileiros não têm o atendimento. O gráfico da Figura 6 mostra a relação das regiões do país com a falta de coleta domiciliar (BRASIL, 2016).

Figura 6: Divisão por região da população brasileira não atendida pela coleta domiciliar



Fonte: adaptado de Brasil, 2016.

Segundo o Diagnóstico do Manejo de Resíduos sólidos Urbanos (2016), foram coletados 49,5 milhões de toneladas de resíduos domiciliares e públicos nos municípios, e a relação dessa quantidade coletada com a população resulta em um valor médio para o Brasil de 0,94 kg/hab./dia. Os valores máximos e mínimos são mostrados na Tabela 2. Extrapolando esses dados para municípios onde não houve coleta, o montante estimado da produção de resíduos sólidos urbanos no País é de 58,9 milhões de toneladas ao ano, ou 161,4 mil toneladas dia (BRASIL, 2016).

Tabela 2: Massa coletada per capita

POPULAÇÃO DO MUNICÍPIO (habitantes)	QUANTIDADE MÍNIMA COLETADA (kg/hab./dia)	QUANTIDADE MÁXIMA COLETADA (kg/hab./dia)
Até 250 mil	0,85	0,90
Acima de 250 mil	0,93	1,03

Fonte: adaptado de Brasil, 2016.

De acordo com a classificação fornecida pelos órgãos gestores municipais é possível deduzir o destino final de 85,2% dos resíduos sólidos urbanos – RSU coletados no País, a destinação dos outros 17,7% não são fornecidas pelos órgãos, ou seja, não existe um controle sobre essa parte dos RSU (Tabela 3).

Tabela 3: Destino final dos RSU do Brasil.

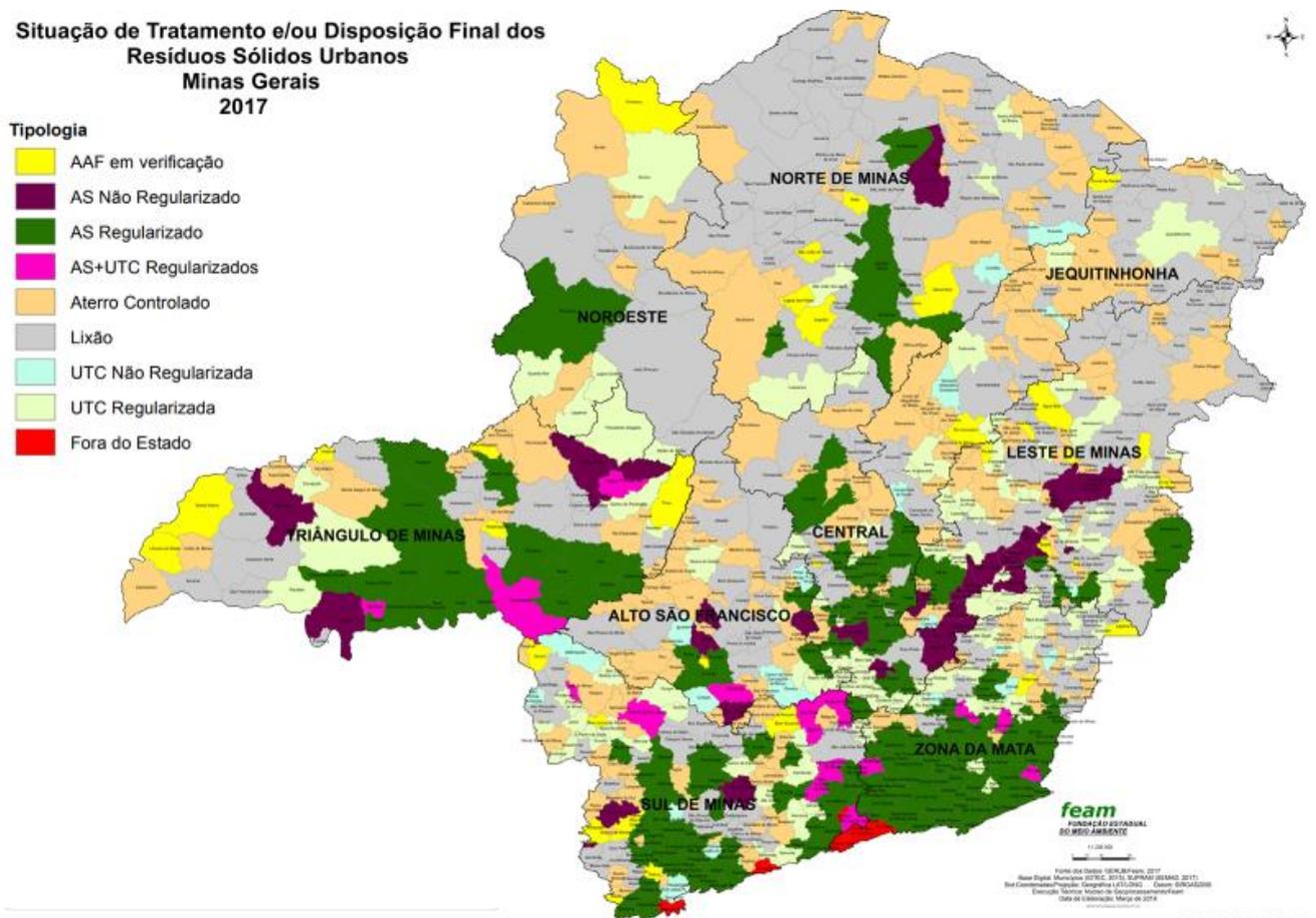
DESTINO FINAL	QUANTIDADE EM PORCENTAGEM (%)
Aterro Sanitário	59,0
Aterro Controlado	9,6
Lixões	10,3
UTC	3,4
Sem informação	17,7

Fonte: adaptado de Brasil, 2016.

O serviço de coleta seletiva é realizado em 21,8% dos municípios do País, 44,1% dos municípios não contam com o serviço, e em 34,1% não se tem esta informação. A quantidade de RSU coletada seletivamente em 2016 foi de 13,6 kg/hab./ano (BRASIL, 2016).

De acordo com a FEAM (2018), a disposição final da maior parte dos resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais ainda se dá em lixões, onde há apenas a disposição dos rejeitos a céu aberto, ou em aterros controlados, onde não há coleta e tratamento do chorume ou drenagem e queima do biogás. A Figura 7 mostra a situação da disposição final dos resíduos sólidos em Minas Gerais.

Figura 7: Situação de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos em Minas Gerais.



3.6.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REALIDADE DO GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM OURO PRETO

O setor responsável pelo manejo dos resíduos sólidos dispostos no aterro em Ouro Preto é a Secretaria Municipal de Meio Ambiente, que o faz por meio de

contratação de empresas terceirizadas. Ouro Preto dispõe de serviço de coleta de resíduos na sede e distritos, que não abrange todavia as áreas rurais

No momento presente, o município não conta com um aterro sanitário para dispor seus resíduos sólidos urbanos de maneira ambientalmente correta. O Aterro do Marzagão, que foi projetado em 1996 como aterro sanitário, foi operado no município como aterro controlado, porém a partir de 2008 o mesmo deixou de atender as características para ser considerado como tal, e passou a ser considerado um lixão. De acordo com o último relatório sobre o tratamento ou destinação final dos resíduos sólidos urbanos no estado de Minas Gerais publicado pela FEAM (2018), os resíduos sólidos de Ouro Preto atualmente são dispostos em lixão.

Um estudo realizado por TEIXEIRA (2017), calculou o Índice de Salubridade Ambiental - ISA de Ouro Preto, e apontou que o município se encontra no nível de baixa salubridade ambiental. Os indicadores de saneamento que apresentavam os menores valores eram o esgoto sanitário e os resíduos sólidos.

O município conta com 3 associações de reciclagem dos resíduos sólidos, a saber: Associação de Catadores de Materiais Recicláveis da Rancharia (ACMAR), a Associação de Beneficiamento e Reciclagem do Lixo e Meio Ambiente e Preservação Ambiental da Cidade de Ouro Preto (Associação de Catadores do Padre Faria), e o Clube da Melhor Idade Renascer. A coleta seletiva dos resíduos é feita de porta a porta pelas próprias associações, com caminhões que são revezados entre elas e apoio logístico da SEMMA. Ouro Preto também dispõe de um Eco Ponto (Figura 8), que é para onde são levados e armazenados os eletroeletrônicos, vidros, pneus, pilhas e baterias.

Figura 8: Eco Ponto de Ouro Preto



Fonte: Próprio autor.

4. METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos do trabalho, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre o tema. Depois foram realizados cálculos baseados em Pereira Neto (1996), para o dimensionamento básico das UTCs. Os dimensionamentos foram feitos de acordo com os cenários 1, 2 e 3 (Quadro 4), e considerando uma vida útil para as UTCs de 16 anos. Além disso foram estimados os custos de construção das Usinas de Triagem e Compostagem em todos os cenários e, para o cenário 1, o custo do combustível e da mão de obra para transportar os resíduos dos distritos à sede. Para elaborar as planilhas de resultados e otimizar os cálculos foi utilizado o *Software* Microsoft Excel.

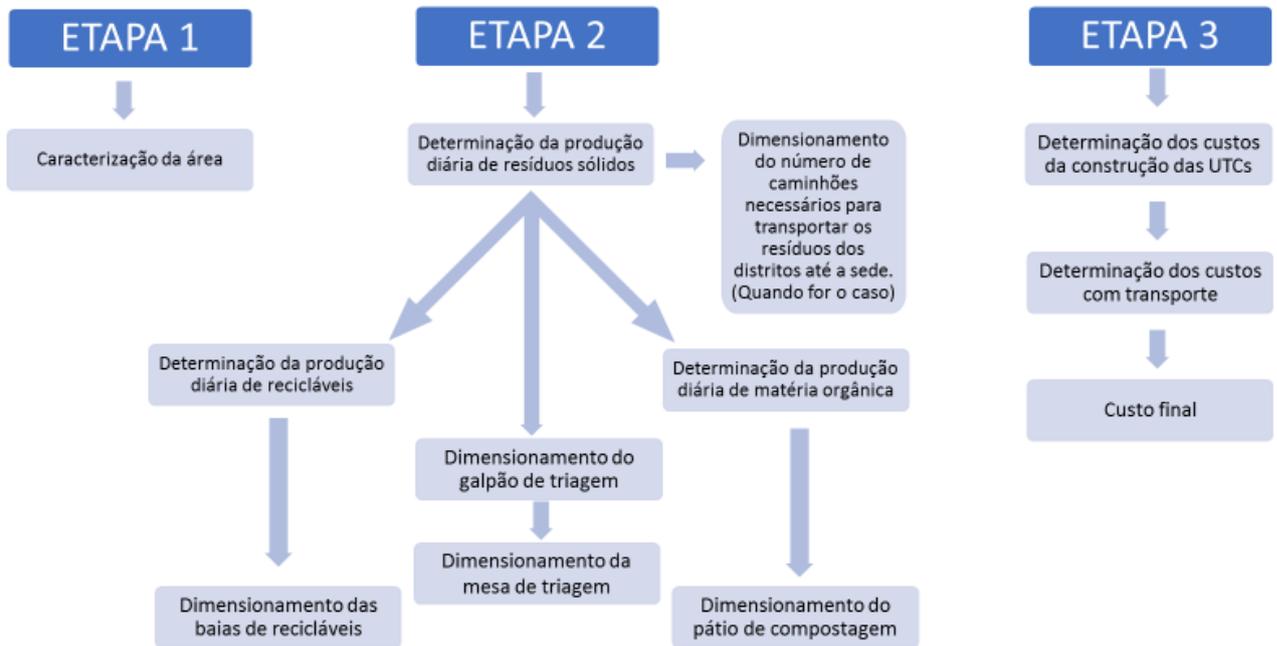
Quadro 4: Opções de construção das Usinas de Triagem e Compostagem.

CENÁRIO 1 Ouro Preto	CENÁRIO 2 Ouro Preto-Sede + Distritos	CENÁRIO 3 Distritos
Construção de uma única UTC em Ouro Preto, para receber diariamente os resíduos sólidos da sede e de todos os distritos.	Construção de uma UTC em Ouro Preto, e uma UTC em cada um dos distritos. Neste caso, cada usina receberia diariamente os resíduos sólidos locais.	Construção de uma UTC em cada um dos distritos, sem construir na sede do município. As usinas receberiam os resíduos produzidos pelos próprios distritos

Fonte: Próprio autor.

Para melhor compreensão da metodologia foi elaborado um fluxograma (Figura 9) que indica a ordem de cada etapa.

Figura 9: Etapas da metodologia.



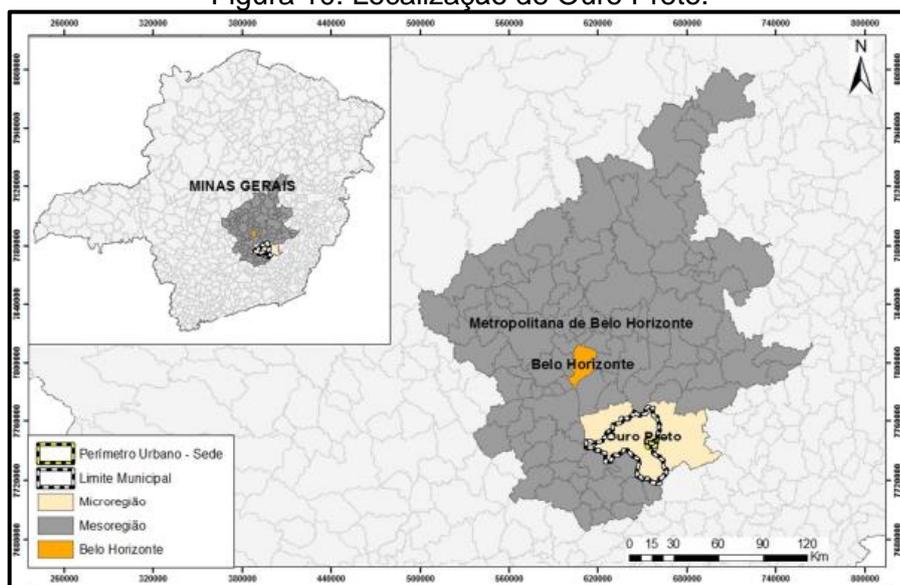
Fonte: Próprio autor.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

4.1.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

Ouro Preto é um município brasileiro pertencente ao estado de Minas Gerais, localizado na Serra do Espinhaço, região da Zona Metalúrgica (Quadrilátero Ferrífero), a 97,9 quilômetros de distância de Belo Horizonte (Figura 10). As coordenadas geográficas da sede são 20° 28' 80" Sul e 43° 50' 80" Oeste. O município faz parte da denominada microrregião homônima, acompanhado dos municípios de Mariana, Diogo Vasconcelos e Itabirito, que são integrantes também da mesorregião metropolitana de Belo Horizonte, sendo essa uma das doze mesorregiões do Estado (PMSB/OP - 2013). Ouro Preto faz divisa ao norte com Santa Bárbara e Itabirito, à leste com Mariana, à oeste com Moeda e Belo Vale, e ao sul com Congonhas, Ouro Branco, Itaverava, Catas Altas da Noruega e Piranga. O município tem uma área de 1.245.864 km² (IBGE - 2018).

Figura 10: Localização de Ouro Preto.

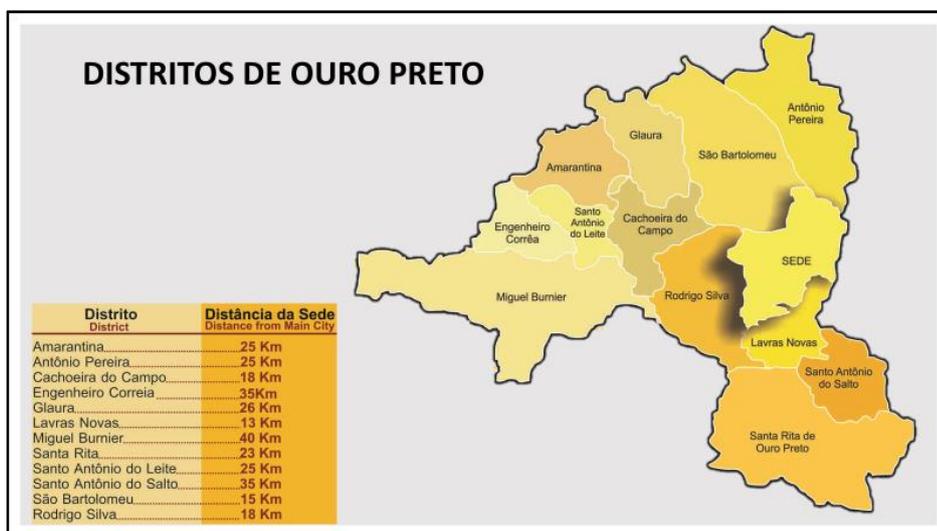


Fonte: Plano Municipal de saneamento básico de Ouro Preto – 2013

4.1.2 DISTRITOS DE OURO PRETO

Pela última divisão territorial realizada em 2007, o município de Ouro Preto é formado pela sede e 12 distritos: Amarantina, Antônio Pereira, Cachoeira do Campo, Engenheiro Correia, Glaura, Lavras Novas, Miguel Burnier, Rodrigo Silva, Santa Rita do Ouro Preto, Santo Antônio do Leite, Santo Antônio do Salto e São Bartolomeu (Biblioteca do IBGE, 2014). Essa característica peculiar do município de ter tantos distritos pode ser um desafio para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. A Figura 11 mostra os distritos de Ouro Preto e suas distâncias até a sede.

Figura 11: Distritos de Ouro Preto e suas distâncias até a sede.



Fonte: Adaptado de guia Cachoeira do Campo, 2009.

4.1.3 DADOS POPULACIONAIS

Ouro Preto é um município de médio porte, cuja a população em 2010 de acordo com o IBGE; era 70.281 habitantes (Tabela 4). A população de projeto (2033), estabelecida de acordo com a projeção realizada pelo Plano Municipal de Saneamento Básico de Ouro Preto - PMSB de 2013, é de 79.539 hab.

O PMSB-OP definiu o método aritmético como mais indicado para retratar a evolução da população e estimar a população futura. A taxa de crescimento encontrada foi de 0,54% ao ano. O PMSB-OP apresentou a projeção populacional de Ouro Preto até 2033 (Tabela 5).

Tabela 4: Informações da População de Ouro Preto.

População em 2010 (hab.)	70.281
Área total do município (km²)	1.245,865
Densidade Demográfica (hab./km²)	56,41

Fonte: IBGE, 2017.

Tabela 5: Progressão Populacional.

ANO	POPULAÇÃO (hab.)
2010	70.281
2015	72.294
2020	74.306
2025	76.319
2030	78.331
2033	79.539

Fonte: Adaptado do Plano Municipal de Saneamento Básico de Ouro Preto – 2013.

De acordo com os dados do IBGE alguns distritos do município como Amarantina e Cachoeira do Campo vêm crescendo populacionalmente, e outros

como Miguel Burnier e Rodrigo Silva vêm tendo uma diminuição populacional, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Projeção populacional dos distritos de Ouro Preto.

Distritos	2010 (hab.)	2015 (hab.)	2020 (hab.)	2025 (hab.)	2030 (hab.)	2033 (hab.)
Amarantina	3.577	3.946	4.352	4.800	5.295	5.616
Antonio Pereira	4.480	4.768	5.055	5.343	5.630	5.803
Cachoeira do Campo	8.923	9.533	10.142	10.752	11.361	11.727
Engenheiro Correia	403	409	414	420	425	428
Glaura	1.418	1.482	1.546	1.610	1.674	1.712
Lavras Novas*	929	-	-	-	-	-
Miguel Burnier	809	737	664	592	519	476
Rodrigo Silva	1.080	987	893	800	706	650
Santa Rita de Ouro Preto	4.243	4.080	3.923	3.772	3.627	3.543
Santo Antônio do leite	1.705	1.829	1.963	2.106	2.260	2.357
Santo Antônio do salto	1.068	1.019	969	920	870	840
São Bartolomeu	730	704	678	653	630	616

* Não foi possível realizar a projeção populacional por falta de disponibilidade de dados do IBGE.

Fonte: Adaptado do Plano Municipal de Saneamento Básico de Ouro Preto – 2013.

4.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE COMPOSTAGEM

O dimensionamento do sistema foi feito para o método de compostagem em leiras com revolvimento mecânico, por ser o método mais simples, que demanda o menor investimento, e tem a manutenção mais barata.

4.2.1 DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DIÁRIA DE RESÍDUOS DE OURO PRETO

Para estimar a produção diária de resíduos em Ouro Preto - sede e nos distritos, foi utilizada a Tabela 7, e o PMSB de Ouro Preto que considera uma geração diária de resíduos sólidos (G_{PC}) no município de 0,7 kg por hab./dia. Como a população de todos os distritos é menor que 30 mil habitantes, foi considerada uma geração diária (G_{PC}) de 0,5 kg/hab./dia.

Tabela 7: Produção diária de resíduos sólidos urbanos.

TAMANHO DA CIDADE	POPULAÇÃO URBANA (hab.)	GERAÇÃO PER CAPITA (kg/hab./dia)
PEQUENA	Até 30 mil	0,5
MÉDIA	De 30 mil a 500 mil	0,5 a 0,8

Fonte: Adaptado de IBAM, 2001.

Para o cálculo da produção diária de resíduos (M_d) em kg/dia, usou-se a Equação 1, com a população estimada para 2033 (P_T).

$$M_d = P_T \times GPC \quad (1)$$

Em que:

P_T = População total em 2033, em hab;

G_{PC} = Geração *Per Capita*, em kg/hab.dia

4.2.2 DIMENSIONAMENTO DO NÚMERO DE CAMINHÕES

Os caminhões utilizados para a coleta dos resíduos sólidos gerados serão sem compactação para facilitar a posterior triagem dos resíduos, com caçamba fechada de até 50m³. A densidade média (D_m) dos resíduos sólidos urbanos sem compactação é 230kg/m³ segundo IBAM (2001). O volume (V) de resíduos sólidos gerados por dia é calculado pela Equação 2.

$$D_m = M_d / V; \quad (2)$$

$$V = M_d / 230$$

Em que, V é medido em m³/dia para M_d em kg/dia.

Com o valor do volume de resíduos sólidos gerados por dia e sabendo-se a capacidade de coleta (C_c) do caminhão com caçamba fechada, torna-se possível

calcular a quantidade de caminhões (Q_c) necessárias para o transporte diário dos resíduos dos distritos até a sede, como mostrado na Equação 3.

$$Q_c = V / C_c \quad (3)$$

Apoiando-se no Google Maps, foram definidas quatro rotas para o transporte dos resíduos dos distritos até a UTC de Ouro Preto, de acordo com a quantidade de resíduos produzidos por distrito.

4.2.3 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE MATÉRIA ORGÂNICA NOS RESÍDUOS

O Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Ouro Preto (2013) evidenciou que não era feito o levantamento gravimétrico dos resíduos sólidos urbanos, nem pela Prefeitura Municipal, nem pela empresa terceirizada responsável pelo manejo dos mesmos. Entretanto, um estudo realizado em Ouro Preto por Prado Filho (1996) caracterizou os resíduos sólidos do município, e forneceu a composição gravimétrica destes. Neste estudo; a média dos resíduos recicláveis foi de 36,8%, e dos resíduos orgânicos 53,7%. Já Cabral (2010) considera a proporção dos resíduos orgânicos no Brasil sendo 57%, e dos recicláveis 34,6% (Tabela 8). Como os dados de Cabral (2010) consideram uma maior proporção de resíduos orgânicos, eles foram usados para os cálculos deste trabalho, diminuindo a possibilidade de os pátios de compostagem serem menores que o necessário.

Tabela 8: Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares no Brasil.

COMPOSTO	BRASIL (%)
Matéria Orgânica	57,41
Vidro	2,34
Metal	2,07
Plástico	16,49
Papel	13,16
Rochas, solos	0,46
Outros	8,08

Fonte: Adaptada de Abrelpe, 2006 apud Cabral, 2010.

Assim, a quantidade de matéria orgânica (MO), em kg/dia, foi estimada multiplicando a produção diária de resíduos pela porcentagem referente a matéria orgânica (Equação 4).

$$MO = Md \times 0,57(4)$$

A Tabela 9 mostra a densidade típica da matéria orgânica (D_{mo}). Foi feita a média aritmética dos valores mínimo e máximo de acordo com a tabela, e adotou-se como densidade da matéria orgânica $D_{mo} = 376 \text{ kg/m}^3$.

Tabela 9: Densidade típica da matéria orgânica.

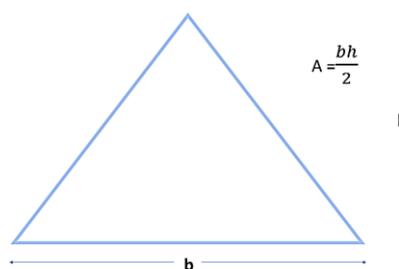
MATERIAIS RECUPERADOS	DENSIDADE (kg/m ³)
Matéria orgânica	352 – 401

Fonte: Adaptada de Diaz (1996) apud Barros (2012).

4.2.4 DIMENSIONAMENTO DAS LEIRAS

Para o dimensionamento das leiras, foram adotadas leiras geometricamente piramidais (Figura 12):

Figura 12: Área da seção triangular



Fonte: Próprio autor.

Com base no apresentado por IBAM (2001), no dimensionamento de uma leira triangular deve-se usar 3m de largura e entre 1,5m a 2m de altura. No caso, foi adotado $b = 3\text{m}$ e $h = 2\text{m}$. A área da seção (A_s) foi calculada com a Equação 5.

$$A_s = (b \times h) / 2 \quad (5)$$

$$A_s = (3,0 \text{ m} \times 2,0 \text{ m}) / 2 = 3,0 \text{ m}^2$$

O volume da leira (V_L), em m³/dia, foi estabelecido por meio da Equação 6.

$$V_L = MO / D_{mo} \quad (6)$$

Como o volume de resíduos orgânicos é relativamente alto para a unidade de Ouro Preto sede, adotou-se a montagem de 3 leiras diárias, para uma melhor distribuição do volume nesta sede. O volume individual das leiras da sede Ouro Preto (V_i) foi então calculado com a Equação 7.

$$V_i = VL / 3 \quad (7)$$

Para as unidades dos distritos, foi usado uma única leira com o volume V_L calculado pela Equação 6.

O comprimento da leira (L) foi calculado pela da equação 8.

$$L = VL / As \quad (8)$$

4.2.5 DIMENSIONAMENTO DO PÁTIO DE COMPOSTAGEM

Para dimensionar o pátio de compostagem foram calculadas as áreas das bases das leiras, a área de folga para reviramento, e a área total ocupada por cada leira. A área da base da leira (A_b) foi calculada com a Equação 9.

$$Ab = b \times L \quad (9)$$

Em que:

b = Largura da leira;

L = Comprimento da leira.

A área de folga para reviramento (A_f) tem o exato tamanho da área de base da leira antes do reviramento, como mostrado na Equação 10.

$$Af = Ab \quad (10)$$

A área total ocupada por cada leira será dada pela Equação 11.

$$A = Ab + Af \quad (11)$$

Considerando que uma leira por reviramento mecânico leva aproximadamente 100 dias para estabilização completa, em que nos primeiros 70 dias ocorre a degradação ativa, e nos outros 30 dias a maturação (BIDONE, 1999). O pátio da sede de Ouro Preto terá espaço para 300 leiras onde serão formadas 3 leiras por dia, e os pátios dos distritos terão espaço para 100 leiras, neste será formada 1 leira por dia, para que ao fim do centésimo dia, possam ser retirados os compostos das leiras construídas no primeiro dia, dando continuidade ao processo. Assim, tem-se uma área útil (A_u) do pátio de acordo com a Equação 12, equivalente a:

$$Au = N^{\circ} \text{ de leiras} \times A \text{ m}^2 \text{ (12)}$$

Para a área total do pátio (A_T) acrescentam-se 10% (PEREIRA NETO, 1996) da área calculada como coeficiente de segurança, em virtude de necessidades de circulação e estacionamento. A área total é finalmente calculada pela Equação 13.

$$AT = Au + 0,1 \times Au \text{ (13)}$$

4.3 DIMENSIONAMENTO DA BAIJA DE RECICLÁVEIS

4.3.1 QUANTIDADE DE MATERIAIS RECICLÁVEIS NOS RESÍDUOS

De acordo com a Tabela 8 usada anteriormente, identificou-se a proporção dos materiais recicláveis, como papel, plástico, vidro e metal, para a determinação do tamanho da baia de armazenamento de recicláveis. As quantidades de resíduos a serem reciclados, em kg/dia, foram calculadas por meio das Equações 14, 15, 16, 17.

Papel:

$$MPA = Md \times 0,1316 \text{ (14)}$$

Plástico:

$$MPL = Md \times 0,1649 \text{ (15)}$$

Vidro:

$$MV = Md \times 0,0234 \text{ (16)}$$

Metal:

$$MM = Md \times 0,0207 \text{ (17)}$$

4.3.2 DENSIDADE DOS MATERIAIS RECICLÁVEIS

A densidade dos materiais é apresentada na Tabela 10, de acordo com Diaz (1996) apud Barros (2012). Para o cálculo da massa específica do papel e do plástico, fez-se a média aritmética dos materiais misturados, no caso do papel (papel e papelão) e do plástico (Polietileno, Polipropileno, Poliestireno e PVC). Portanto a massa específica do papel será considerada 809 kg/m³ e do plástico 1034 kg/m³.

Tabela 10: Massa específica dos materiais

MATERIAL	MASSA ESPECÍFICA (kg/m³)
Alumínio	2.693
Papel	929
Papelão	689
Polietileno	946
Polipropileno	898
Poliestireno	1.042
PVC	1.250
Vidro	2.501

Fonte: Adaptado de Diaz (1996) apud Barros (2012).

4.3.3 VOLUME DOS MATERIAIS RECICLÁVEIS

A partir dos valores de massa específica, pode-se calcular os volumes de resíduos recicláveis gerados diariamente, em m³/dia, pelas Equações 18, 19, 20, 21.

Papel:

$$VPA = MPA / 809 \quad (18)$$

Plástico:

$$VPL = MPL / 1034 \quad (19)$$

Vidro:

$$VV = MV / 2501 \quad (20)$$

Metal:

$$VM = MM / 2693 \quad (21)$$

Para MPA, MPL, MV e MM em kg/dia.

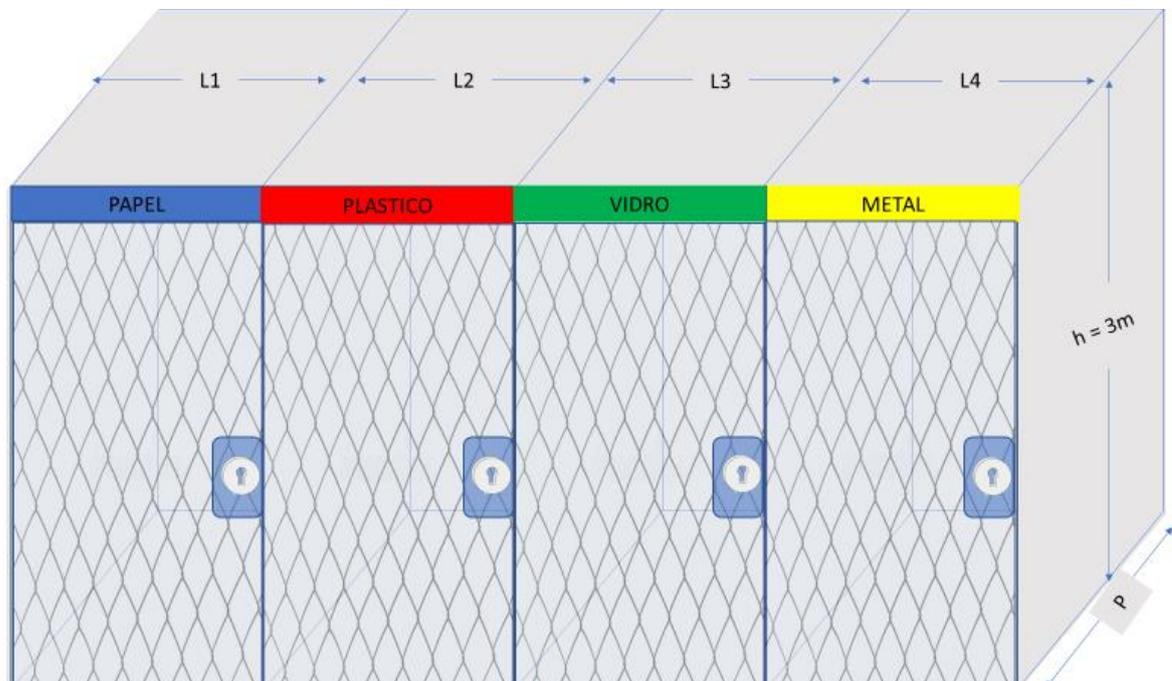
Segundo Barros (2012), a compressibilidade dos resíduos sólidos está entre 1:3 e 1:4. Adotou-se o grau de compactação na proporção de 1:4, e os volumes diários de materiais recicláveis foram divididos por 4. Portanto em todas as UTCs há a necessidade de uma prensa, para compactar os resíduos recicláveis, antes de serem levados para suas respectivas baias.

4.3.3 DIMENSÕES DA BAIAS PARA CADA TIPO DE RESÍDUO RECICLÁVEL

Os volumes das baias de recicláveis foram calculados para armazenar os resíduos até a obtenção de uma quantidade razoável para a venda. Adotou-se o período de armazenamento de um mês (30 dias) para vidros e metais, e uma semana (7 dias) para os plásticos e papéis em Ouro Preto (Caso 1) e Ouro Preto sede (Caso 2). Já para as unidades dos distritos (Casos 2 e 3) adotou-se um mês (30 dias) para os papeis e plásticos e 120 dias para os vidros e metais, pois a geração de resíduos nos distritos é baixa. A cada volume calculado foram acrescentados mais 10% como fator de segurança.

As baias serão construídas com mesma altura em todas as UTCs ($h=3m$), e as quatro baias de cada UTC terão a mesma profundidade (P), variando apenas a largura de acordo com a necessidade. Foram fixadas a largura $L_m = 2m$ e a profundidade $P_m = 1,5m$, mínimas das baias, para que os triadores consigam entrar nas mesmas. A Figura 13 mostra como as baias devem ser construídas.

Figura 13: Baias de recicláveis



Fonte: Próprio autor.

4.4 DIMENSIONAMENTO DO GALPÃO PARA A TRIAGEM

De acordo com o Manual Para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos do Ministério do Meio Ambiente - MMA (BRASIL, 2010), para triagem de 4 toneladas de resíduos são necessários aproximadamente 1.200 m². O dimensionamento do galpão foi feito considerando portanto, 300m² por tonelada de resíduo.

4.5 DIMENSIONAMENTO DA MESA DE TRIAGEM

De acordo com Brasil (2008), cada triador consegue separar cerca de 200 kg/dia. Desse modo, como a quantidade de triadores para a UTC dos resíduos de Ouro Preto é alta, a melhor opção são as mesas de triagem transversais, que permitem a operação de um maior número de triadores por unidade de área, como mostra a Figura 14. Já as mesas para as UTCs dos distritos serão as mesas lineares, como mostra a Figura 15.

Para cada 4 triadores são necessários 3,8 m nas mesas de triagem transversal (Figura 16), portanto para 1 triador é necessário 0,95m. As mesas de triagem linear necessitam de 1,5m por triador.

O espaço lateral (EMT) ocupado pela mesa transversal foi definido pela Equação 22.

$$EMT = LM + CM + EP \quad (22)$$

$$EMT = 0,5m + 2,8m + 1m$$

$$EMT = 4,3m$$

Em que:

LM = Largura da mesa principal

CM = comprimento das mesas transversais

EP = espaço para passagem

E o espaço lateral (EML) da mesa linear foi definido pela equação 23.

$$EML = MTL + TR + BP + EP \quad (23)$$

$$EML = 0,5m + 2,4m + 1,0m + 1,0m$$

$$EML = 4,9m$$

Em que:

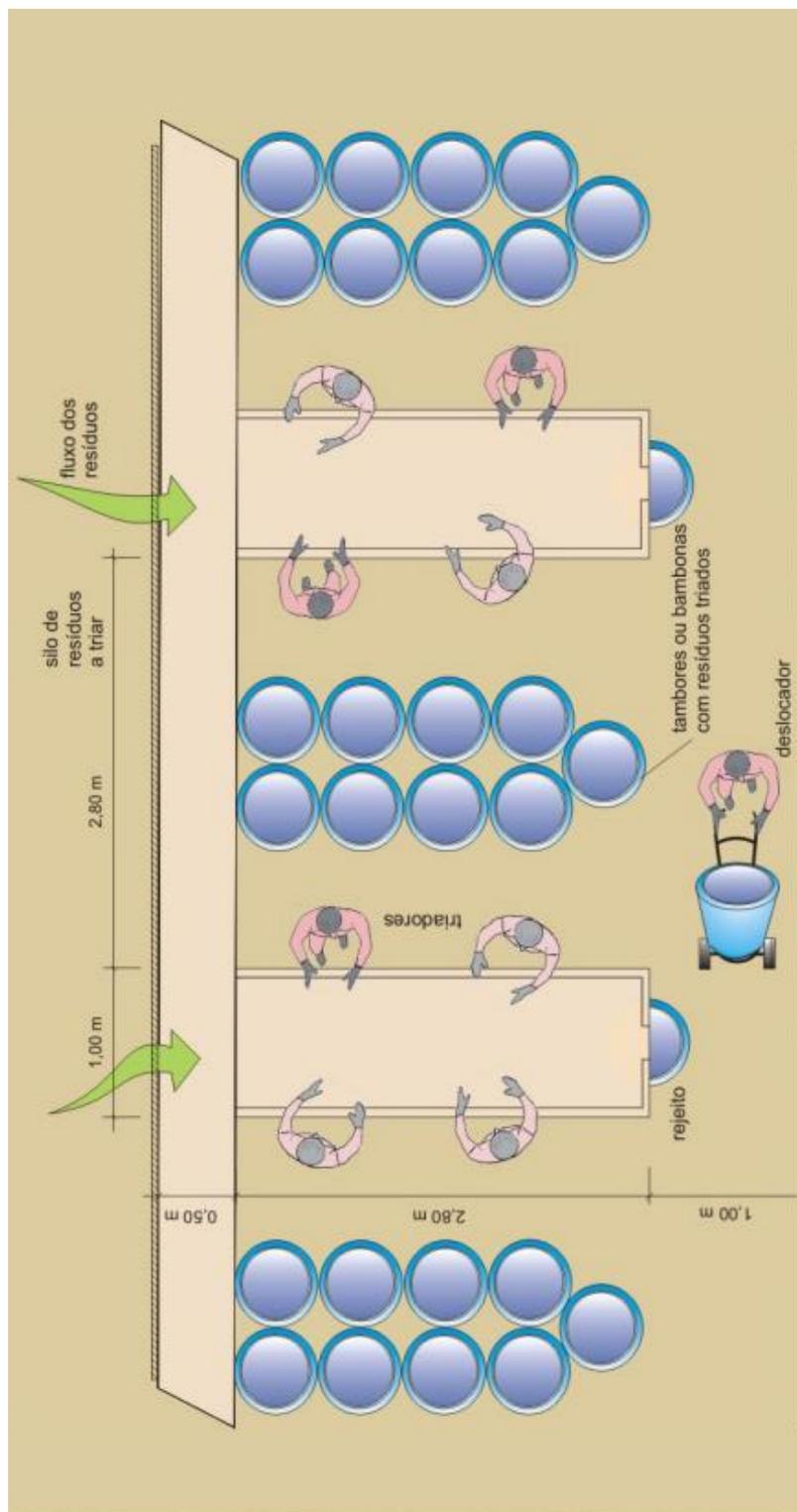
M_{TL} = Mesa de triagem linear

TR = Tambores com resíduos triados

BP = Bags para papelão

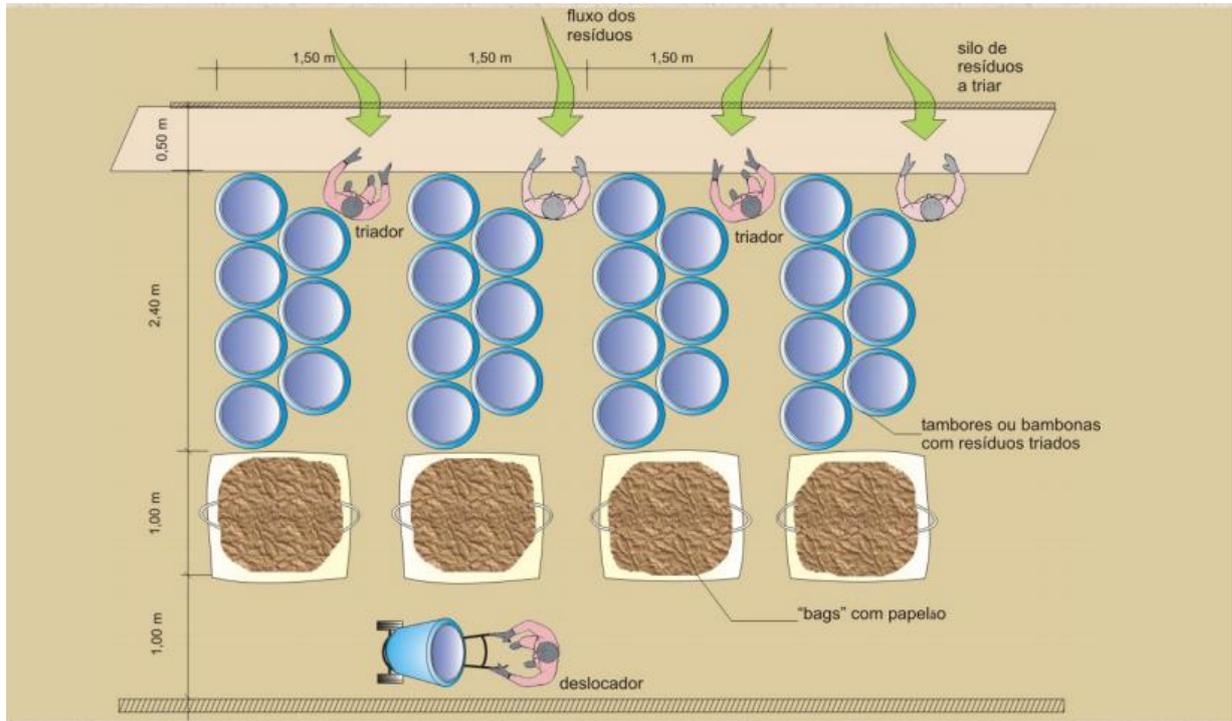
EP = Passagem

Figura 14: Mesa de triagem transversal.



Fonte: Brasil, 2008.

Figura 15: Mesa de triagem linear.



Fonte: Brasil, 2008.

4.6 CÁLCULO DOS CUSTOS

Para o cálculo dos custos da construção de cada UTC, foi levado em consideração o custo dos equipamentos e da construção dos seguintes espaços da usina:

- Galpão de triagem
- Pátios de compostagem
- Instalações de apoio (escritório, banheiros/vestiários, refeitório)

Os valores dos equipamentos e do metro quadrado de cada tipo de construção foram estimados com referência nos valores usados pelo Caderno de Especificações Técnicas e Desenho Técnico (2013). Para estimar os custos dos equipamentos, o porte dos galpões foi dividido entre pequeno, médio, grande e muito grande, de acordo com o tamanho calculado para cada galpão (Quadro 5).

Quadro 5: Porte dos galpões

Porte do galpão	Pequeno	Médio	Grande	Muito grande
Tamanho (m ²)	Até 300	Entre 300-600	Entre 600-1200	Acima de 5000

Fonte: Adaptado de Caderno de Especificações Técnicas e Desenho Técnico (2013).

Os equipamentos necessários para cada UTC (Quadro 6), foram previstos conforme o Caderno de Especificações Técnicas e Desenho Técnico (2013), de acordo com o porte de cada galpão de triagem.

Quadro 6: Equipamentos para cada tipo de galpão

Porte do galpão	Pequeno	Médio	Grande	Muito grande
Equipamentos	1 prensa	1 prensa	2 prensas	4 prensas
	1 balança	1 balança	1 balança	2 balanças
	1 carrinho	1 carrinho	2 carrinhos	4 carrinhos
		1 empilhadeira	1 empilhadeira	2 empilhadeiras

Fonte: Adaptado de Caderno de Especificações Técnicas e Desenho Técnico (2013).

O tamanho das instalações de apoio também foi definido de acordo com o porte dos galpões. Para os escritórios foi considerado um tamanho padrão, com a mesma medida para todas as UTCs, como mostra a tabela 11.

Tabela 11: Tamanho das instalações de apoio por porte da UTC

PORTE DA UTC	TAMANHO DO BANHEIRO/ VESTIÁRIO (m ²)	TAMANHO DO REFEITÓRIO (m ²)	TAMANHO DO ESCRITÓRIO (m ²)
PEQUENO	5	12	15
MÉDIO	12	15	15
GRANDE	12	20	15
MUITO GRANDE	20	60	15

Fonte: Próprio autor.

Os valores estabelecidos para a construção de cada área da UTC são apresentados na Tabela 12. O valor do m³ de concreto para a construção do pátio foi estabelecido em R\$ 210,00. Esses valores foram baseados no Caderno de Especificações Técnicas e Desenho Técnico (2013), e em consultas a lojas de construção.

Tabela 12: Valores da construção

Área da UTC	Valor por m ²
Galpão	R\$ 240,00
Banheiro / vestiário	R\$ 1300,00
Refeitório	R\$ 1000,00
Escritório	R\$ 1000,00

Fonte: Próprio autor.

Também foi estimado neste trabalho o valor gasto com combustível e mão de obra para o transporte dos resíduos dos distritos até a UTC de Ouro Preto (Cenário 1), de acordo com o preço atual da gasolina e do diesel (Tabela 13), e da inflação, calculada em 5,84% ao ano de acordo com dados do IBGE. O cálculo da inflação foi feito de acordo com a equação 24.

$$Inf = Inf Trimestral \times 4 \quad (24)$$

Em que:

Inf = Inflação

Inf Trimestral = Inflação do último trimestre fornecida pelo IBGE.

Tabela 13: Valor do combustível.

TIPO DE COMBUSTÍVEL	VALOR (R\$ / l)
Diesel	3,7
Gasolina	4,9

Fonte: Próprio autor.

Para a mão de obra do transporte dos resíduos sólidos considerou-se necessário 1 motorista e 1 coletor de lixo (para colocar os RUS no caminhão). O custo da mão de obra do motorista foi calculado com a equação 25, e o custo da mão de obra do coletor de lixo com a equação 26.

$$\text{Custo mensal (Motorista)} = \text{Salário} \times \text{Encargos} \quad (25)$$

$$\text{Custo mensal} = \text{R\$ } 2.000,00 \times 1,8 = \text{R\$ } 3.600,00$$

$$\text{Custo mensal (Coletor)} = \text{Salário} \times \text{Encargos} \times \text{Insalubridade} \quad (26)$$

$$\text{Custo mensal} = \text{R\$ } 2.000,00 \times 1,8 \times 1,1 = \text{R\$ } 3.960,00$$

Para que fosse possível uma comparação da viabilidade econômica dos três cenários, foi calculado o Valor Presente Líquido (VPL) para transformar o valor dos pagamentos futuros (gastos anuais com combustível e mão de obra), em valores presentes. A taxa de juros usada foi a do Tesouro Direto (5,54% a.a). A equação 27 foi usada para encontrar o VPL.

$$VPL = \frac{1}{(1+i)^t} \quad (27)$$

Em que:

i = Taxa de juros;

t = Tempo em anos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A projeção da produção de resíduos sólidos gerados em Ouro Preto (com os distritos) em 2033 é de 55 toneladas por dia, ou em volume, 242 m³/dia. O volume em m³/dia gerado no mesmo ano em cada distrito, o volume a ser coletado por rota e a quilometragem total percorrida na ida aos distritos e volta a Ouro Preto diariamente em cada rota é apresentado na Tabela 14. Cabe ressaltar que para os cálculos desse trabalho foram usados os dados do IBGE de população, e que este não considera a “população universitária” (aproximadamente 10 mil hab.) da Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP que reside no município.

Tabela 14: Volume de resíduos sólidos coletado por rota.

Distritos	Volume de resíduos sólidos (m ³ /dia)
ROTA 1 - 31,7 km	
Antonio Pereira	12,62
Volume total coletado pelo caminhão	12,62
ROTA 2 - 132 km	
Amarantina	12,21
Cachoeira do Campo	25,49
Engenheiro Correia	0,93
Glaura	3,72
Miguel Burnier	1,03
Rodrigo Silva	1,41
Santo Antônio do Leite	5,12
Volume total coletado pelo caminhão	49,93
ROTA 3 - 75,2 km	
Lavras Novas	3,26
Santo Antônio do Salto	1,83
Santa Rita de Ouro Preto	7,70
Volume total coletado pelo caminhão	12,79
ROTA 4 - 38,9 km	
São Bartolomeu	1,34
Volume total coletado pelo caminhão	1,34

Fonte: Próprio autor.

A rota 1 abrange apenas um distrito, Antônio Pereira. Será usado um caminhão basculante com capacidade de 15 m³, que fará a coleta diariamente no distrito. A rota 2 compreende os distritos Amarantina, Cachoeira do Campo, Engenheiro Correia, Glaura, Miguel Burnier, Rodrigo Silva e Santo Antônio do Leite, para a coleta dos resíduos dessa rota será usado um caminhão caçamba com capacidade de 50m³. Para a coleta da rota 3, será usado o mesmo caminhão da rota 1, que fará a coleta em turnos distintos. Essa rota engloba os distritos de Lavras Novas, Santo Antônio do Salto e Santa Rita de Ouro Preto. A rota 4 inclui apenas o distrito de São Bartolomeu;

o volume de resíduos sólidos produzido diariamente é baixo, portanto será usada para a coleta uma Fiorino com 3m³ de capacidade.

A Tabela 15 mostra a projeção da quantidade de matéria orgânica gerada diariamente, a área em metros quadrados que cada leira irá ocupar e as áreas uteis e totais dos pátios de compostagem em Ouro Preto com todos os distritos, nos distritos individualmente e em Ouro Preto – sede, em 2033, calculadas pelas equações 5 a 13. A área total do pátio de compostagem da UTC de Ouro Preto do caso 1 é quase o dobro da área da UTC de Ouro Preto do caso 2. Os pátios de compostagem das UTCs dos distritos necessitam de uma área bem menor do que as duas opções de Ouro Preto, devido à produção de resíduos sólidos nos distritos ser menor. Visando facilitar a triagem dos resíduos sólidos urbanos nas UTCs, os caminhões propostos são do tipo não compactadores.

Tabela 15: Dimensões das leiras e dos pátios de compostagem.

Distritos	MO Matéria orgânica (kg/dia)	A Área total ocupada por leira (m ²)	Au Área útil do pátio (m ²)	AT Área total do pátio (m ²)	AT Área total do pátio (ha)
Ouro Preto	31736,1	168,8	16880,9	18569,0	1,857
Amarantina	1600,6	8,5	851,4	936,5	0,093
Antonio Pereira	1653,9	8,8	879,7	967,7	0,096
Cachoeira do Campo	3342,2	17,8	1777,8	1955,5	0,195
Engenheiro Correia	122,0	0,6	64,9	71,4	0,007
Glaura	487,9	2,6	259,5	285,5	0,029
Lavras Novas	427,5	2,3	227,4	250,1	0,025
Miguel Burnier	135,7	0,7	72,2	79,4	0,008
Rodrigo Silva	185,3	1,0	98,5	108,4	0,011
Santa Rita de Ouro Preto	1009,8	5,4	537,1	590,8	0,059
Santo Antônio do Leite	671,7	3,6	357,3	393,0	0,039
Santo Antônio do Salto	239,4	1,3	127,3	140,1	0,014
São Bartolomeu	175,6	0,9	93,4	102,7	0,010
Ouro Preto – Sede	17664,1	94,0	9395,8	10335,4	1,033

Fonte: próprio autor.

A Tabela 16 apresenta a projeção da produção diária em 2033, de resíduos recicláveis (papel, plástico, vidro e metal) em Ouro Preto com todos os distritos, nos distritos individualmente e em Ouro Preto – sede.

Tabela 16: Produção diária de materiais recicláveis

Distritos	Mpa produção diária de papel (kg)	Mpl produção diária de plástico (kg)	Mv produção diária de vidro (kg)	Mm produção diária de metal (kg)
Ouro Preto	7327,13	9181,19	1302,85	1152,52
Amarantina	369,53	463,04	65,71	58,13
Antonio Pereira	381,84	478,46	67,90	60,06
Cachoeira do Campo	771,64	966,89	137,21	121,37
Engenheiro Correia	28,16	35,29	5,01	4,43
Glaura	112,65	141,15	20,03	17,72
Lavras Novas	98,70	123,68	17,55	15,53
Miguel Burnier	31,32	39,25	5,57	4,93
Rodrigo Silva	42,77	53,59	7,61	6,73
Santa Rita de Ouro Preto	233,13	292,12	41,45	36,67
Santo Antônio do Leite	155,09	194,33	27,58	24,39
Santo Antônio do Salto	55,27	69,26	9,83	8,69
São Bartolomeu	40,53	50,79	7,21	6,38
Ouro Preto – Sede	4078,24	5110,20	725,16	641,49

Fonte: Próprio autor.

As dimensões das baias de recicláveis de cada material, da UTC de Ouro Preto, das UTCs de cada distrito e da UTC Ouro Preto - sede, são apresentadas nas Tabelas 16,17,18 e 19. A área total destinada às baias de recicláveis de cada UTC é apresentada na Tabela 21.

Como os distritos têm uma baixa produção de resíduos, mesmo aumentando o tempo dos resíduos recicláveis nas baias, as dimensões das mesmas ainda são pequenas.

Tabela 17: Dimensões básicas das baias papel

Distritos	Altura (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Volume da baia (m³)	Área total da baia - papel (m²)
Ouro Preto	3,0	3,0	2,0	18,0	6
Amarantina	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Antonio Pereira	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Cachoeira do Campo	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Engenheiro Correia	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Glaura	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Lavras Novas	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Miguel Burnier	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Rodrigo Silva	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Santa Rita de Ouro Preto	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Santo Antônio do Leite	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Santo Antônio do Salto	3,0	2,0	1,5	9,0	3
São Bartolomeu	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Ouro Preto – Sede	3,0	2,5	1,5	11,25	3,75

Fonte: Próprio autor.

Tabela 18: Dimensões básicas das baias de plástico

Distritos	Altura (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Volume total da baia (m³)	Área total da baia - plástico (m²)
Ouro Preto	3,0	3,0	2,0	18,0	6
Amarantina	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Antonio Pereira	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Cachoeira do Campo	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Engenheiro Correia	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Glaura	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Lavras Novas	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Miguel Burnier	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Rodrigo Silva	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Santa Rita de Ouro Preto	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Santo Antônio do Leite	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Santo Antônio do Salto	3,0	2,0	1,5	9,0	3
São Bartolomeu	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Ouro Preto – Sede	3,0	2,5	1,5	11,25	3,75

Fonte: Próprio autor.

Tabela 19: Dimensões básicas das baias de vidro.

Distritos	Altura (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Volume total da baia (m³)	Área total da baia - vidro (m²)
Ouro Preto	3,0	2,0	2,0	12,0	4
Amarantina	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Antonio Pereira	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Cachoeira do Campo	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Engenheiro Correia	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Glaura	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Lavras Novas	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Miguel Burnier	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Rodrigo Silva	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Santa Rita de Ouro Preto	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Santo Antônio do Leite	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Santo Antônio do Salto	3,0	2,0	1,5	9,0	3
São Bartolomeu	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Ouro Preto - Sede	3,0	2,0	1,5	9	3

Fonte: Próprio autor.

Tabela 20: Dimensões básicas das baias de metal.

Distritos	Altura (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Volume total da baia (m³)	Área total da baia - metal (m²)
Ouro Preto	3,0	2,0	2,0	12,0	4
Amarantina	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Antonio Pereira	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Cachoeira do Campo	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Engenheiro Correia	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Glaura	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Lavras Novas	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Miguel Burnier	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Rodrigo Silva	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Santa Rita de Ouro Preto	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Santo Antônio do Leite	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Santo Antônio do Salto	3,0	2,0	1,5	9,0	3
São Bartolomeu	3,0	2,0	1,5	9,0	3
Ouro Preto - Sede	3,0	2,0	1,5	9	3

Fonte: Próprio autor.

Tabela 21: Área das baias de reciclagem.

Distritos	Área da baia - papel (m ²)	Área da baia - plástico (m ²)	Área da baia - vidro (m ²)	Área da baia - metal (m ²)	Área total das baias (m ²)
Ouro Preto	6,0	6,0	4	4,0	20,0
Amarantina	3,0	3,0	3	3,0	12,0
Antonio Pereira	3,0	3,0	3	3,0	12,0
Cachoeira do Campo	3,0	3,0	3	3,0	12,0
Engenheiro Correia	3,0	3,0	3	3,0	12,0
Glaura	3,0	3,0	3	3,0	12,0
Lavras Novas	3,0	3,0	3	3,0	12,0
Miguel Burnier	3,0	3,0	3	3,0	12,0
Rodrigo Silva	3,0	3,0	3	3,0	12,0
Santa Rita de Ouro Preto	3,0	3,0	3	3,0	12,0
Santo Antônio do Leite	3,0	3,0	3	3,0	12,0
Santo Antônio do Salto	3,0	3,0	3	3,0	12,0
São Bartolomeu	3,0	3,0	3	3,0	12,0
Ouro Preto – Sede	3,75	3,75	3	3,0	13,5

Fonte: Próprio autor.

A área necessária para cada galpão de triagem e as dimensões (altura, largura e comprimento) propostas para cada um, são apresentadas na Tabela 22.

A quantidade necessária de triadores para cada UTC e a dimensão das mesas de triagem (espaço lateral e comprimento necessário para a mesa) estão apresentadas na Tabela 23. Como o comprimento da mesa de Ouro Preto é muito grande, ela foi dividida em 5 mesas, e o da UTC de Ouro Preto – Sede foi dividida em 3 mesas.

A quantidade de resíduos recolhidos diariamente nos distritos é baixa, portanto a quantidade de triadores necessárias para cada UTC dos distritos também é baixa. Já para a UTC unificada em Ouro Preto e para Ouro Preto – sede, a quantidade requisitada é alta, portanto a geração de muitos empregos pela UTC unificada em Ouro Preto é um ponto a ser considerado.

Tabela 22: Dimensões dos galpões de triagem.

Distritos	Área (m ²)	Altura (m)	Largura (m)	Comprimento (m)
Ouro Preto	16800	3	100	168
Amarantina	880	3	22	40
Antonio Pereira	900	3	30	30
Cachoeira do Campo	1800	3	40	45
Engenheiro Correia	66	3	6	11
Glaura	260	3	10	26
Lavras Novas*	230	3	10	23
Miguel Burnier	77	3	11	7
Rodrigo Silva	100	3	10	10
Santa Rita de Ouro Preto	550	3	10	55
Santo Antônio do Leite	360	3	10	36
Santo Antônio do Salto	130	3	10	13
São Bartolomeu	99	3	9	11
Ouro Preto – Sede	9300	3	93	100

Fonte: Próprio autor.

Tabela 23: Dimensão das mesas de triagem.

Distritos	Triadores	Quantidade de mesas	Comprimento da mesa (m)	Largura da mesa (m)
Ouro Preto	278	5	52,8	4,3
Amarantina	14	1	21,1	4,9
Antonio Pereira	15	1	21,8	4,9
Cachoeira do Campo	30	1	44,0	4,9
Engenheiro Correia	1	1	1,6	4,9
Glaura	5	1	6,4	4,9
Lavras Novas*	4	1	5,6	4,9
Miguel Burnier	2	1	1,8	4,9
Rodrigo Silva	2	1	2,4	4,9
Santa Rita de Ouro Preto	9	1	13,3	4,9
Santo Antônio do Leite	6	1	8,8	4,9
Santo Antônio do Salto	3	1	3,2	4,9
São Bartolomeu	2	1	2,3	4,9
Ouro Preto – Sede	155	3	49	4,3

Fonte: Próprio autor.

Para efeito de comparação das vantagens entre os cenários 1, 2 e 3, foram analisados os custos de construção das UTCs e do transporte (combustível e mão de obra) dos resíduos dos distritos produtores, até a usina integrada.

Os custos estimados dos equipamentos, da construção de cada área da UTC, e a soma de todos os custos da construção da Usina de Triagem e Compostagem são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24: Custos da construção das Unidades de Triagem e Compostagem.

Distritos	Galpão (R\$)	Equipamentos (R\$)	Vestiário (R\$)	Refeitório (R\$)	Escritório (R\$)	Pátio (R\$)	Valor da UTC (R\$)
Ouro Preto	4032000,00	105400,00	26000,00	60000,00	15000,00	584922,61	4.823.322,61
Amarantina	211200,00	32100,00	15600,00	15000,00	15000,00	29499,68	318.399,68
Antonio Pereira	216000,00	32100,00	15600,00	15000,00	15000,00	30481,96	324.181,96
Cachoeira do Campo	432000,00	52700,00	15600,00	20000,00	15000,00	61599,50	596.899,50
Engenheiro Correia	15840,00	23100,00	6500,00	12000,00	15000,00	2248,20	74.688,20
Glaura	62400,00	23100,00	6500,00	12000,00	15000,00	8992,78	127.992,78
Lavras Novas*	55200,00	23100,00	6500,00	12000,00	15000,00	7879,19	119.679,19
Miguel Burnier	18480,00	23100,00	6500,00	12000,00	15000,00	2500,33	77.580,33
Rodrigo Silva	24000,00	23100,00	6500,00	12000,00	15000,00	3414,32	84.014,32
Santa Rita de Ouro Preto	132000,00	23100,00	6500,00	12000,00	15000,00	18610,64	207.210,64
Santo Antônio do Leite	86400,00	23100,00	6500,00	12000,00	15000,00	12380,83	155.380,83
Santo Antônio do Salto	31200,00	23100,00	6500,00	12000,00	15000,00	4412,35	92.212,35
São Bartolomeu	23760,00	23100,00	6500,00	12000,00	15000,00	3235,72	83.595,72
Ouro Preto – Sede	2232000,00	105400,00	26000,00	60000,00	15000,00	325564,93	2.763.964,93

Fonte: Próprio autor.

O valor gasto com transporte dos resíduos dos distritos até a sede são apresentados nas Tabelas 25 e 26. Já o custo com combustível e mão de obra ao longo dos 16 anos do projeto considerando a inflação, é apresentado na Tabela 27.

Tabela 25: Custos com combustível para o transporte dos RSU.

ROTAS	Valor do combustível para a coleta ao dia (R\$)	Valor do combustível para a coleta ao mês (R\$)	Valor do combustível para a coleta ao ano (R\$)
1	29,32	879,68	10.556,10
2	122,10	3.663,00	43.956,00
3	69,56	2.086,80	25.041,60
4	16,15	484,60	5.815,22
TOTAL	237,14	7.114,08	85.368,92

Fonte: Próprio autor.

Tabela 26: Custos com mão de obra para o transporte dos RSU.

Mão de obra	Custo total do salário + encargos ao mês (R\$)	Custo total do salário + encargos ao ano (R\$)
Motorista	3.600,00	43.200,00
Coletor	3.960,00	47.520,00
Total	7.560,00	90.720,00

Fonte: Próprio autor.

Tabela 27: Custo do transporte dos RSU, com inflação.

ANO	Custo do combustível com inflação (R\$)	Custo da mão de obra com inflação (R\$)
2018	85.368,92	90.720,00
2019	90.354,47	96.018,05
2020	95.631,17	101.625,50
2021	101.216,03	107.560,43
2022	107.127,04	113.841,96
2023	113.383,26	120.490,33
2024	120.004,84	127.526,97
2025	127.013,13	134.974,54
2026	134.430,69	142.857,05
2027	142.281,45	151.199,91
2028	150.590,68	160.029,98
2029	159.385,18	169.375,73
2030	168.693,27	179.267,27
2031	178.544,96	189.736,48
2032	188.971,99	200.817,09
2033	200.007,95	212.544,81
TOTAL	2.163.005,02	2.298.586,12

Fonte: Próprio autor.

Para trazer esses valores que seriam gastos no futuro para o presente, possibilitando a comparação dos custos, foi calculado o Valor Presente Líquido (VPL) dos custos com combustível e dos custos com mão de obra para o transporte. Apenas o cenário 1 inclui transporte, portanto os cenários 2 e 3 contam apenas com o valor do investimento inicial. Cabe ressaltar que não estão inclusos na análise financeira as despesas de manutenção das UTCs, despesas de coleta dos resíduos, custos dos caminhões, despesas operacionais e salário dos triadores. As Tabelas 28, 29 e 30 apresentam os custos totais de cada cenário.

Tabela 28: Custo total do Cenário 1.

CENÁRIO 1					
ANO	VALOR INICIAL DE INVESTIMENTO (R\$)	Custos anuais do combustível com inflação (R\$)	VPL COMBUSTÍVEL	Custos anuais de MAO DE OBRA com inflação + encargos	VPL MÃO DE OBRA
2018	4.823.322,61	85.368,92	80.886,86	90.720,00	85.957,90
2019		90.354,47	81.117,00	96.018,05	86.202,00
2020		95.631,17	81.348,00	101.625,50	86.447,29
2021		101.216,03	81.579,00	107.560,43	86.693,00
2022		107.127,04	81.811,00	113.841,96	86.939,45
2023		113.383,26	82.043,00	120.490,33	87.186,58
2024		120.004,84	82.276,00	127.526,97	87.433,75
2025		127.013,13	82.510,00	134.974,54	87.682,90
2026		134.430,69	82.745,00	142.857,05	87.932,18
2027		142.281,45	82.980,00	151.199,91	88.182,14
2028		150.590,68	83.216,00	160.029,98	88.432,79
2029		159.385,18	83.453,00	169.375,73	88.684,17
2030		168.693,27	83.690,00	179.267,27	88.936,25
2031		178.544,96	83.932,00	189.736,48	89.189,06
2032		188.971,99	84.166,00	200.817,09	89.442,58
2033		200.007,95	84.405,00	212.544,81	89.696,82
TOTAL CUSTO TOTAL	7.550.519,33	2.163.005,02	1.322.157,86	2.298.586,12	1.405.038,86

Fonte: Próprio autor.

Tabela 29: Custo total do cenário 2.

CENÁRIO 2			
ANO	VALOR INICIAL DE INVESTIMENTO (R\$)	Custos anuais do combustível com inflação (R\$)	Custos anuais de MAO DE OBRA com inflação + encargos
2018	R\$ 5.025.800,42	0	0
CUSTO TOTAL			R\$ 5.025.800,42

Fonte: Próprio autor.

Tabela 30: Custo total do cenário 3.

CENÁRIO 3			
Ano	Valor inicial de investimento (R\$)	Custos anuais do combustível com inflação (R\$)	Custos anuais de mão de obra com inflação + encargos (R\$)
2018	R\$ 2.261.835,49	0	0
CUSTO TOTAL			R\$ 2.261.835,49

Fonte: Próprio autor.

Portanto, como apresentado nas Tabelas 28, 29 e 30 o cenário com melhor custo benefício é o cenário 2, pois neste caso todos os resíduos sólidos produzidos em Ouro Preto sede e nos distritos terão uma destinação final ambientalmente adequada, com o valor mais baixo. O cenário 1 também destinaria corretamente todos os RSU do município, porém mesmo tendo um valor inicial de investimento inferior ao cenário 2, o custo para transportar os resíduos dos distritos até a sede ao longo dos 16 anos de vida útil da UTC, tornam o cenário mais caro. O cenário 3 é uma boa opção caso o município não tenha verba suficiente para construir todas as 13 UTC's, pois só com a construção das 12 UTC's nos distritos, 31,7% do total dos resíduos produzidos no município teriam uma destinação final adequada.

6. CONCLUSÕES

O único tratamento para resíduos sólidos realizado em Ouro Preto é a reciclagem, portanto, a adoção da prática da compostagem é uma boa alternativa de destino para os resíduos orgânicos do município.

A quantidade de resíduos sólidos reciclados em Ouro Preto é muito baixa. Das 42 toneladas produzidas atualmente por dia, apenas 3 toneladas são recicladas e 39 toneladas vão para o lixão, aproximadamente. Com a construção de uma UTC em Ouro Preto que receberia os resíduos da sede e dos distritos, até 2033 das 55 toneladas produzidas diariamente, 19 toneladas seriam recicladas e 32 toneladas seriam compostadas, portanto apenas 4 toneladas seriam aterradas. Já com a construção das UTCs independentes em cada distrito, 10 toneladas de resíduos poderiam ser compostadas e 6 toneladas poderiam ser recicladas ao todo, nas 12 unidades. Ou seja, aproximadamente 31,7% da produção de resíduos diários de Ouro Preto poderiam deixar de ser aterrados com a construção das UTC's independentes em todos os distritos.

O melhor custo benefício encontrado neste trabalho foi o cenário 2, que daria a destinação final ambientalmente adequada para todos os resíduos sólidos produzidos no município pelo melhor custo.

Para alcançar esses resultados, uma transformação profunda no gerenciamento dos resíduos sólidos será necessária. Estruturar a cidade com equipes que apresentem à comunidade o programa de coleta seletiva e a importância ambiental de separar os resíduos sólidos gerados é fundamental, pois facilitará a triagem e permitirá atingir o melhor aproveitamento possível dos recicláveis com o melhor valor agregado dos mesmos.

Difícilmente a venda dos recicláveis cobrirá os investimentos financeiros nas construções dessas unidades, e as despesas operacionais. Porém devem ser avaliados positivamente diversos lucros ambientais obtidos, como uma menor demanda da natureza com o aumento da reciclagem, o aumento do tempo de vida dos aterros sanitários ou sua substituição por valas de aterramento nas próprias UTCs, e o menor impacto ambiental causado pela disposição final dos rejeitos, além de criar melhores condições de trabalho para os classificadores de materiais recicláveis. Ademais, o estado de Minas Gerais incentiva financeiramente esse tipo de projeto.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C.V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: ABES. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004 - Resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos**. Rio de Janeiro, 1992.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14.001. Sistemas de Gestão Ambiental. Especificação e diretrizes para uso**. 2.ed. Rio de Janeiro. 2004.

BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos. **Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos**. 1ª Edição. Belo Horizonte: Ed. Tessitura, 2012. 423 p.

BIDONE, F.R.A; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos, São Paulo: USP 1999.

BRASIL, MINAS GERAIS. **LEI Nº 18.030, DE 12 DE JANEIRO DE 2009**. Dispõe sobre a distribuição da parcela da receita do produto da Arrecadação do ICMS pertencente aos municípios.

BRASIL. LEI Nº 12.305, DE 2 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.

BRASIL. Ministério das Cidades - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2016**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2016>. Acesso em: 17 abril 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Ministério das Cidades. **Elementos para a Organização da Coleta Seletiva e Projeto dos Galpões de Triagem**. 2008. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/publicacao/125_publicacao20012011032243.pdf. Acesso em 15 de maio de 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Manual Para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos**. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf_2010 Acesso em: 19 de maio de 2018.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 275/2001. Estabele 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. Data

da legislação: 25/04/2001 - Publicada no DOU no 117-E, de 19 de junho de 2001, Seção 1, página 80.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 481/2017 - Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. - Data da legislação: 09/10/2017 - Publicação DOU, de 04/10/2017, Seção 1, página 51.

CABRAL, E. **Considerações sobre resíduos sólidos**. IFCE, Ceará. 2010.

Disponível em:

http://www.deecc.ufc.br/Download/Gestao_de_Residuos_Solidos_PGTGA/CONSIDERACOES SOBRE RESIDUOS SOLIDOS.pdf. Acesso em: 28 maio 2018.

Caderno de Especificações Técnicas e Desenho Técnico – Curitiba 2013. Disponível em: http://www.meioambiente.mppr.mp.br/arquivos/File/Caderno_de_Especificacoes_Final_Pos_Print.pdf. Acesso em: 4 junho 2018.

CALDERONI, S. **Os Bilhões Perdidos no Lixo**. São Paulo, USP: Ed. Humanista 1997. 343 p.

CAOPMA - Centro de Apoio Operacional às Promotorias de Proteção ao Meio Ambiente. Unidades de Triagem e compostagem de Resíduos sólidos urbanos. Curitiba, 2013. Disponível em:

http://www.meioambiente.mppr.mp.br/arquivos/File/Apostila_compostagem_Final_Pos_Print.pdf. Acesso: 3 junho 2018.

CEMPRE – **Compromisso Empresarial Para Reciclagem**. Disponível em <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/10/composto-urbano>. Acesso em: 08 jul. 2018

FEAM. **FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE**. Disponível em: <http://www.feam.br/>. Acesso em: 28 Jun. 2018.

FERNANDES, F; SILVA, S. M. C. P **Manual prático para a compostagem de Biossólidos**. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA.1999. Paraná.

FUNASA. **Planos municipais de saneamento básico**. 2016 Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/uploads/2016/09/PMSB.pdf>. . Acesso em: 23 março de 2018.

Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Orientações técnicas para a operação de usina de triagem e compostagem do lixo**. Belo Horizonte: FEAM, 2005. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Usina2.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2018.

GRIPPI, S. **Lixo, Reciclagem e sua História**. Guia para as Prefeituras Brasileiras. Rio de Janeiro – RJ: Editora Interciência, 2001. 134p.

Guia Cachoeira do Campo. Disponível em:

<http://guiacachoeiradocampo.com.br/distritos/>. Acesso em: 20 jun. 2018.

IBAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE GESTÃO MUNICIPAL. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Disponível em: <<http://197.249.65.74:8080/biblioteca/bitstream/123456789/573/1/manual.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2018.

IBGE. **Biblioteca do IBGE - Ouro Preto – MG 2014**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/minasgerais/ouropreto.pdf>. Acesso em: 13 Fev. 2018.

IBGE. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2017**. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas de Populacao/Estimativas 2017/estimativa TCU 2017_20180207.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2017/estimativa_TCU_2017_20180207.pdf). Acesso em: 8 maio 2018.

IBGE. **Estimativas de População**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?&t=downloads>. Acesso em: 19 março 2018.

IBGE. Ouro Preto, Minas Gerais -MG. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/dtbs/minasgerais/ouropreto.pdf>. Acesso em: 07 março 2018.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/impressao/ppts/0000000105.pdf>. Acesso em: 9 jul 2018.

IPEA – Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos. Brasília, 2012. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf. Acesso em: 24 abril 2018.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Ceres, 1985. 492p.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: Maturação e qualidade do composto**. 4ª ed. Piracicaba: Editora Ceres, 1998. 2004 173p.

LIBÂNIO, P. A. C. **Avaliação da eficiência e aplicabilidade de um sistema integrado de tratamento de resíduos sólidos urbanos e de chorume**. 2002. 149 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária, Ambiental e de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 2002.

LOPES, A.A. **Estudo da gestão e do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos Urbanos no município de São Carlos – SP**. 2003. 194 p. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

MASSUKADO, L.M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. 2008.182 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

Minas Gerais, LEI 21557, DE 22/12/201. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos, com o objetivo de proibir a utilização da tecnologia de incineração nos casos que especifica.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CAOPMA. **Apostila para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos**, 2º edição. Disponível em: http://www.meioambiente.mppr.mp.br/arquivos/File/Apostila_compostagem_Final_Pos_Print.pdf Acesso em: 12 maio 2018.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56 p.

PRADO FILHO, J. F.; SOBREIRA, F. G. Desempenho operacional e ambiental de unidades de reciclagem e disposição final de resíduos sólidos domésticos financiados pelo ICMS Ecológico de Minas Gerais. Artigo Técnico. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental** – ABES, Rio de Janeiro, v. 12 n.1, jan./mar. 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO (PMOP). **Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Ouro Preto**. Produto 2 - Diagnóstico da Situação do Saneamento Básico. Ouro Preto, 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO. Disponível em: <<http://www.ouropreto.mg.gov.br/informacoes-gerais>>. Acesso em: 12 Abril 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO. **PLANO DE SANEAMENTO DE OURO PRETO**. 2013. Disponível em: http://cbhvelhas.org.br/images/subcomites/planosmunicipais/PMSB/Ouro_Preto/8_Relatorio_Final_do_PMSB_OP_Documento_Sintese.pdf. Acesso em: 04 jun. 2018.

REIS, M.F.P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. Tese (Doutorado). 2005. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2005.

RUSSO, M.A.T. **Tratamento de resíduos sólidos**. Disponível em: http://www1.ci.uc.pt/mhidro/edicoes_antigas/Tratamentos_Residuos_Solidos.pdf. Acesso em: 01 maio 2018.

STECH, P.J., **Resíduos Sólidos: Caracterização, Resíduos Sólidos Domésticos: Tratamento e Disposição Final**, São Paulo, CETESB, 1990;

TEIXEIRA D. A. **Construção e determinação do indicador de salubridade ambiental (ISA/OP) para as áreas urbanas do município de Ouro Preto, MG**. UFOP, Ouro Preto. 2013. 170 p.

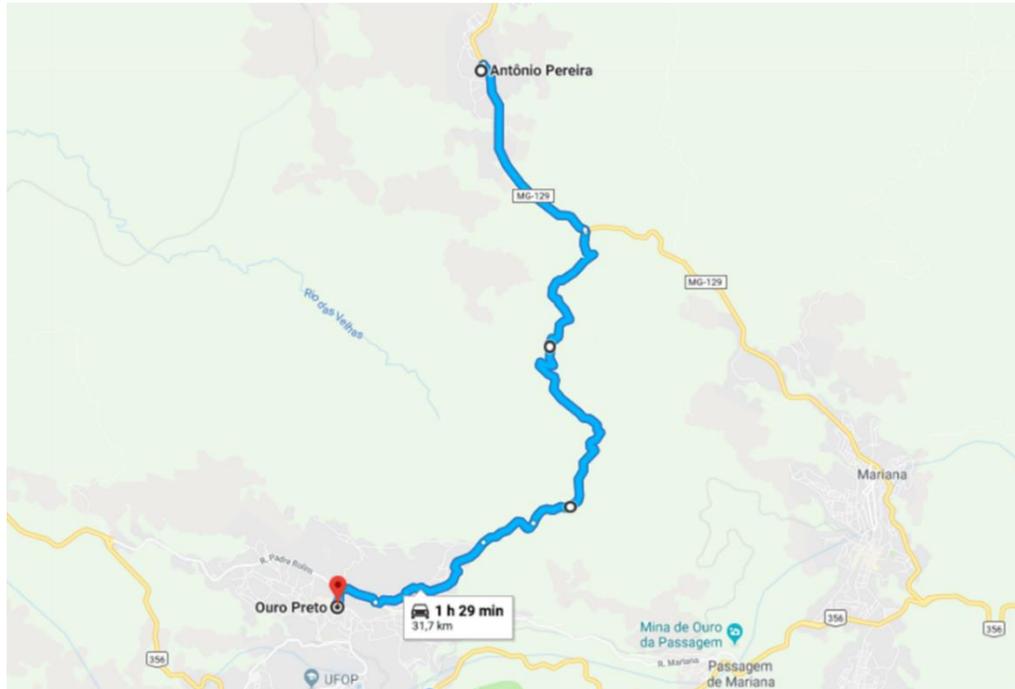
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. **Guia para normalização bibliográfica de trabalhos acadêmicos**. Ouro Preto, 2017. Disponível em: <http://www.repositorio.sisbin.ufop.br/>. Acesso em: 21 jun. 2018.

VIDAL V, G; ZILLE P, L; LANGE, L, C. Trabalho e qualidade de vida em usinas de triagem e compostagem de resíduos urbanos. **Revista de Administração, FACES**, Universidade FUMEC Minas Gerais, Brasil, vol. 8, núm. 2, pp. 94-105 abril-junho, 2009.

ANEXOS

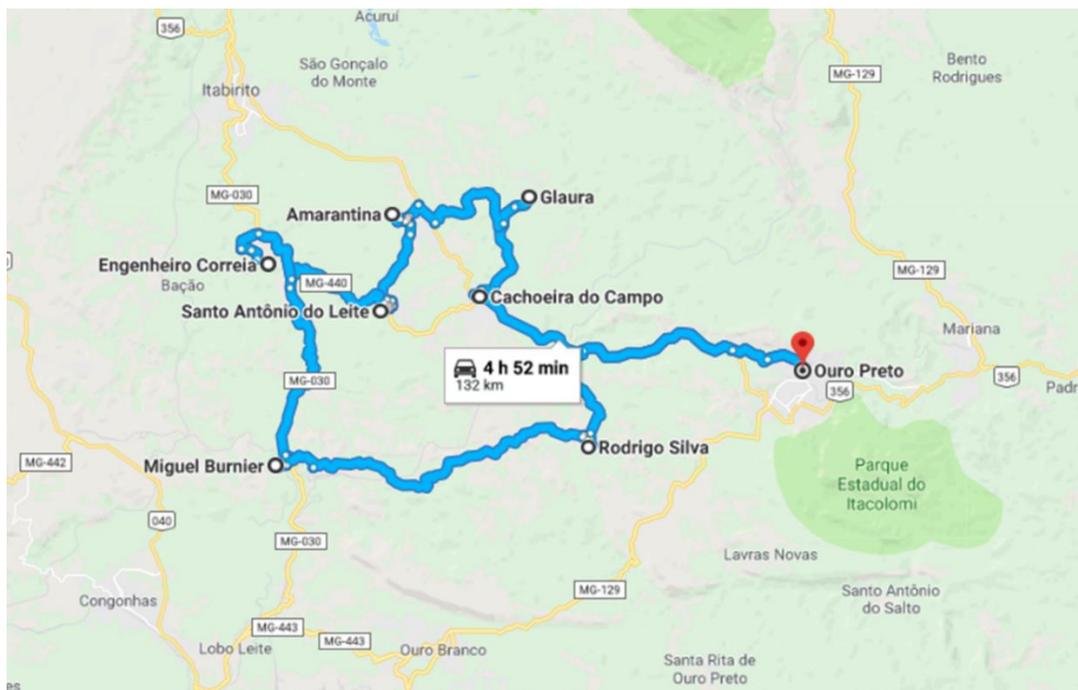
I - Rotas de coletas nos distritos

Rota 1 de coleta nos distritos



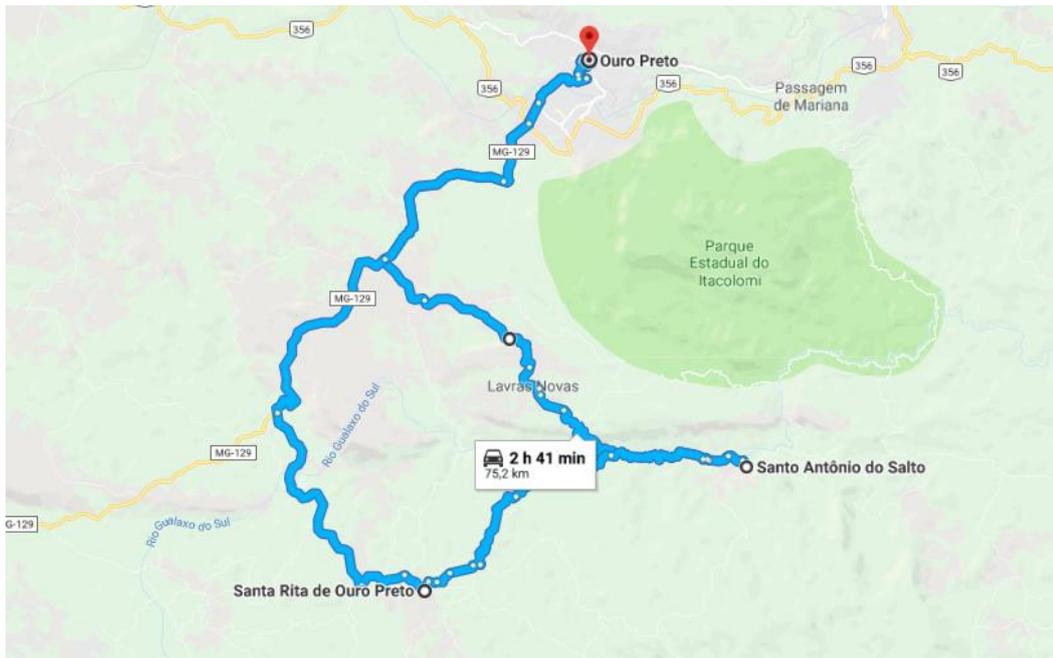
Fonte: Google Maps, 2018.

Rota 2 de coleta nos distritos



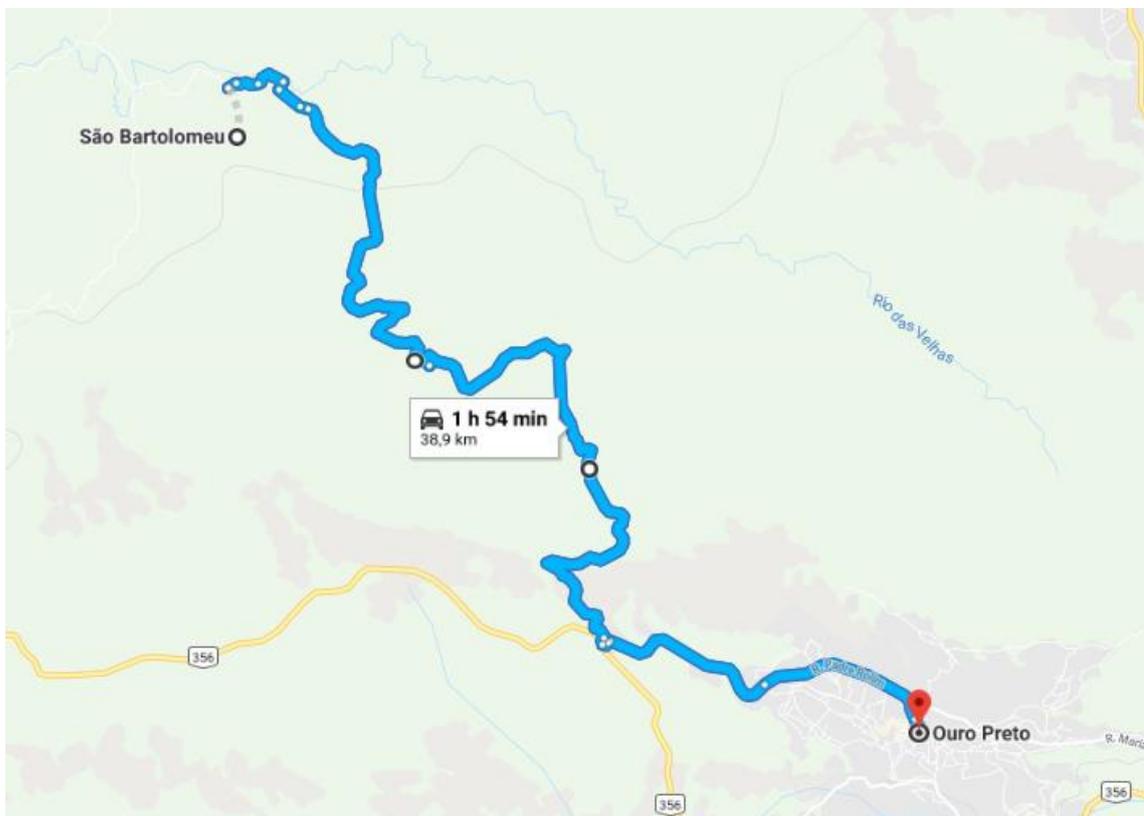
Fonte: Google Maps, 2018.

Rota 3 de coleta nos distritos



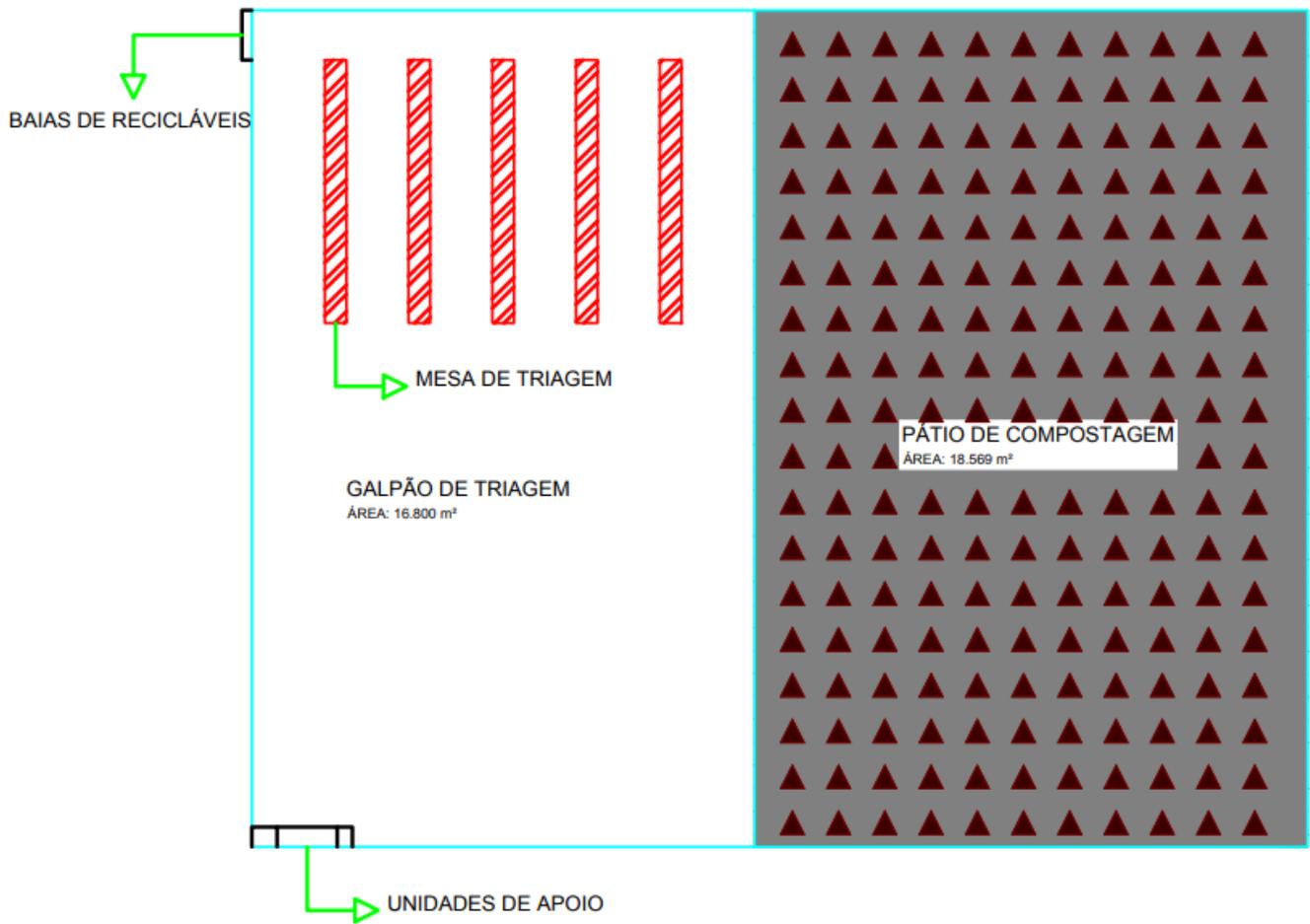
Fonte: Google Maps, 2018.

Rota 4 de coleta nos distritos



Fonte: Google Maps, 2018.

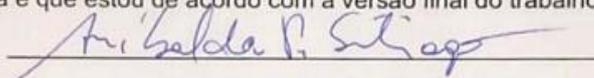
II- Exemplo do projeto da UTC do cenário 1.



Fonte: Próprio autor.

DECLARAÇÃO

Certifico que o aluno Bárbara Gosziniak Paiva, autor do trabalho de conclusão de curso intitulado "**ESTUDO DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE OURO PRETO- MG**", efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.



(Aníbal Fonseca Santiago)

Orientador

Ouro Preto, 30 de julho de 2018.