

JOÃO LUCAS LIMA AQUINO GANEM

**PROPOSIÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO PARA
UNIDADES DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM COM BASE EM CRITÉRIOS DE
SUSTENTABILIDADE E SAÚDE AMBIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Mônica de Abreu Azevedo

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

G196p
2022

Ganem, João Lucas Lima Aquino, 1993-
Proposição de parâmetros de projeto e dimensionamento
para unidades de triagem e compostagem com base em critérios
de sustentabilidade e saúde ambiental / João Lucas Lima Aquino
Ganem. – Viçosa, MG, 2022.

1 dissertação eletrônica (91 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Mônica de Abreu Azevedo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Civil, 2022.

Referências bibliográficas: f. 81-86.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.068>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Aterro sanitário. 2. Lixo - Eliminação. 3. Compostagem.
4. Limpeza urbana. 5. Lixeiros - Avaliação de riscos de saúde.
I. Azevedo, Mônica de Abreu, 1965-. II. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDD 22. ed. 628.44564

JOÃO LUCAS LIMA AQUINO GANEM

**PROPOSIÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO PARA
UNIDADES DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM COM BASE EM CRITÉRIOS DE
SUSTENTABILIDADE E SAÚDE AMBIENTAL**

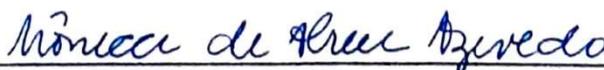
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 31 de outubro de 2022.

Assentimento:


João Lucas Lima Aquino Ganem

Autor



Mônica de Abreu Azevedo

Orientadora

*Dedico este trabalho à minha família,
por acreditar em mim sempre,
À minha namorada,
pela paciência e incentivo em todos os dias.
À minha orientadora,
pela paciência e engajamento a este trabalho.
Esta vitória também é de vocês!*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Paulo e Katiana, e minha irmã Paulinha pelo apoio e incentivo em todos os momentos da minha vida. Por acreditarem em mim, e não medirem esforços para a concretização dos meus sonhos. Distantes geograficamente, porém perto em todas as minhas decisões com apoio e amor incondicional.

À minha namorada e companheira Deyse, por todo amor, apoio, paciência e incentivo à conclusão deste trabalho, por compartilhar comigo os meus melhores e piores momentos, sempre ao meu lado.

Aos meus amigos conhecidos quando calouro de Engenharia Civil na UFV, que levarei por toda vida, que hoje são Engenheiros, Mestres e Doutores: Álvaro Carneiro, Beatryz Mendes, Douglas Coêlho, James Lucas Gilbert, Mateus Landim, Marco Antônio Nakata, Tarcísio, Rodrigo Felipe, Ruan Santos e outros com quem compartilhei os períodos mais difíceis e comemorei vitórias durante a minha vida acadêmica.

Aos profissionais do Cigedas, da Prefeitura Municipal de Viçosa e Serviço Autônomo de Água e Esgoto que me incluíram no caminho do Saneamento Básico desde meus estágios no IPLAM e SAAE. Eduardo Brustolini, George Aragão, José Horta, José Luiz, Lucas Santana, Lucas Castro, Lutércia, Marcos Nunes e outros que compartilharam seus conhecimentos e experiências comigo, contribuindo direta e indiretamente ao conteúdo deste trabalho, como inspiração nestes.

À minha Orientadora Mônica de Abreu Azevedo, por me guiar neste caminho, acreditar em mim, e compartilhar seus conhecimentos e experiências comigo. Sempre disposta, paciente e confiante em mim.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

GANEM, João Lucas Lima Aquino, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2022. **Proposição de parâmetros de projeto e dimensionamento para unidades de triagem e compostagem com base em critérios de sustentabilidade e saúde ambiental.** Orientadora: Mônica de Abreu Azevedo.

Inúmeros impactos ambientais e à saúde pública são causados pelo manejo inadequado de resíduos sólidos. Não somente às áreas em que se acumulam resíduos de forma inadequada, como também a população no entorno é afetada, poluindo-se o solo, ar e água. No Brasil implementaram-se diversas políticas públicas que almejavam o fim dos lixões, cabendo destaque o programa Minas Sem Lixões em 2003 no Estado de Minas Gerais, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos no ano de 2010 com o estabelecimento de metas de encerramento destes. Porém, percebe-se que a disposição inadequada em lixões ou aterros controlados ainda são métodos bastante utilizados no território nacional (39,8%). Popularizadas na década de 90 as Unidades de Triagem e Compostagem (UTC) são percussoras do tratamento de resíduos sólidos no Brasil, que visam a redução dos resíduos aterrados com a recuperação da matéria orgânica e do material reciclável, e também a geração de empregos. Entretanto, não obtiveram eficiência esperada, observando-se um grande encerramento das atividades das UTCs. Às margens de um sub emprego com gestão inadequada os triadores ficam à mercê de uma política digna com baixos os salários e pouca percepção sobre os altos riscos laborais aos quais estão expostos, operando em unidades defasadas e mal conservadas ou com erros de concepção. Dos 41 municípios associados ao Cimvalpi, 15 não possuem UTC, em 8 estão desativadas, 9 possuem UTC em funcionamento e 7 em são apenas unidades de triagem em funcionamento, sem compostagem. Obtiveram-se parâmetros mínimos que buscam a eficiência da operação das UTC, respeitando critérios para a saúde ocupacional. Dessa forma, dimensionou-se 3 unidades padrões para diferentes capacidades de processamento de resíduos, apresentando-se *layout* básicos para poderem ser implementados de acordo com o porte do município.

Palavras-chave: Unidades de Triagem e Compostagem. Riscos Ocupacionais. Exposição. Resíduos Sólidos. Lixões. Aterros sanitários. Tratamento de resíduos sólidos urbanos.

ABSTRACT

GANEM, João Lucas Lima Aquino, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, October, 2022. **Proposal of design and sizing parameters for sorting and composting units based on sustainability and environmental health criteria.** Adviser: Mônica de Abreu Azevedo.

Numerous environmental and public health impacts are caused by inadequate solid waste management. Not only the areas where waste accumulates in multiple ways, but also the surrounding population is sustained, polluting the soil, air and water. In Brazil, several public policies were implemented that aimed to end landfills, with emphasis on the Minas without dumps program in 2003 in the State of Minas Gerais, the National Policy on Solid Waste in 2010 with the establishment of goals for their closure. However, it is clear that the disposal acquired in dumps or controlled landfills are still methods widely used in the national territory (39.8%). Popularized in the 1990s, the Sorting and Composting Units (SCU) are pioneers in the treatment of solid waste in Brazil, which aim to reduce waste landfilled with the recovery of organic matter and recyclable material, and also to create jobs. However, they did not achieve the expected efficiency, with a large closure of SCU activities being observed. On the margins of an underemployment with achieved management, the sorters are at the mercy of a dignified policy with low signals and little perception of the high occupational risks to which they are exposed, operating in outdated and poorly maintained units or with design errors. Of the 41 municipalities associated with Cimvalpi, 15 do not have SCU, 8 are deactivated, 9 have SCU in operation and 7 in only sorting units are in operation, without composting. Minimum parameters were obtained that seek the efficiency of the SCU operation, respecting criteria for occupational health. Thus, 3 standard units were designed for different waste processing resources, presenting a basic layout so that they can be implemented according to the size of the municipality.

Keywords: Sorting and Composting Units. Occupational Hazards. Exposure. Solid Waste. Dumps. Sanitary Landfills. Urban Solid Waste Treatment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processo de operação de uma Unidade de Triagem e Compostagem.....	32
Figura 2 - Mapa dos municípios integrantes do Cimvalpi por faixa populacional	44
Figura 3 – Mapa da tipologia de destinação de resíduos dos municípios integrantes do Cimvalpi em 2021.....	45
Figura 4 - Mapa do ISLU dos municípios consorciados ao Cimvalpi.....	46
Figura 5 - Corte de uma área de recepção ideal.	52
Figura 6 - Espaçamento entre triadores em bancada estática de triagem.	53
Figura 7 - Prensa hidráulica para materiais recicláveis	55
Figura 8 - Modelo de revirador de leira encontrado no mercado nacional.	56
Figura 9 - Pátio de compostagem em planta.....	57
Figura 10 - Triagem em pátio de recepção com postura inadequada	63
Figura 11 - Unidades de Triagem e Compostagem dos municípios integrantes do Cimvalpi.....	66
Figura 12 - <i>Layout</i> Básico UTC Padrão Pequena (5 t/dia)	75
Figura 13 - <i>Layout</i> básico UTC Padrão Média (15 t/dia).	76
Figura 14 - <i>Layout</i> Básico UTC Padrão Grande (50 t/dia).....	77

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Taxa de coleta de resíduos sólidos dos países por nível de desenvolvimento socioeconômico.....	22
Gráfico 2 - Métodos de disposição de resíduos sólidos por nível de desenvolvimento socioeconômico.....	23
Gráfico 3 - Evolução da disposição final de RSU coletados no Brasil de 2008 a 2020	24
Gráfico 4 - Crescimento populacional, geração, coleta e método de disposição final com ano base 2008.....	25
Gráfico 5 - Recursos aplicados pelos municípios brasileiros, por região, nos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de RSU, no ano de 2020.....	25
Gráfico 6 - Evolução da tipologia de destinação em Minas Gerais do ano 2001 a 2021.	29
Gráfico 7 - Tipologia de destinação final Minas Gerais no ano de 2018 (Percentual de Municípios).....	30
Gráfico 8 - Tipologia de destinação final Minas Gerais no ano de 2021 (Percentual de Municípios).....	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais tipos de tratamento de resíduos sólidos urbanos.	20
Quadro 2 - Vantagens e desvantagens na implantação de UTC no tratamento de RSU.	33
Quadro 3 - Motivos da interrupção do funcionamento das atividades das UTCs no Brasil.	33
Quadro 4 - Grau de risco das atividades relacionadas a resíduos	37
Quadro 5 - Classificação dos principais riscos ocupacionais em grupos e a padronização em cores	38
Quadro 6 - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente.....	39
Quadro 7 - Parâmetros físicos das UTCs a serem coletados.....	47
Quadro 8 - Parâmetros relativos aos riscos ocupacionais	48
Quadro 9 - Reviradores de leiras de compostagem encontrados na indústria nacional.	56
Quadro 10 - Principais fontes geradoras de ruído em UTCs e seus locais.	59
Quadro 11 - Principais fontes geradoras de riscos químicos em UTCs e seus locais.	61
Quadro 12 Principais fontes geradoras de riscos biológicos em UTCs e seus locais	63
Quadro 13 - Principais agentes geradores de riscos de acidentes em UTCs.	64
Quadro 14 - Tipos de tratamento de RSU adotado pelos municípios consorciados ao Cimvalpi.....	65
Quadro 15 - Resumo dos parâmetros mínimos obtidos recomendados	70
Quadro 16 – Mapa Simplificado de Riscos de uma UTC Padrão.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Métodos de Disposição final de Resíduos Sólidos.....	21
Tabela 2 - População brasileira, geração, coleta e disposição de resíduos sólidos por ano.	24
Tabela 3 - Disposição final de RSU no Brasil por região.....	26
Tabela 4 - Municípios mais bem pontuados pelo ISLU, com população acima de 250 mil habitantes.	26
Tabela 5 - Evolução da tipologia da destinação dos RSU em Minas Gerais do ano 2018 a 2021.	34
Tabela 6 - Evolução da tipologia da destinação final dos municípios do Cimvalpi de 2018 a 2021.	43
Tabela 7 - Média gravimétrica resumida calculada para o território do Cimvalpi.	67
Tabela 8 - Dados dos municípios que possuem UT ou UTC ativas.	68
Tabela 9 - Dimensionamento da UTC padrão para os municípios integrantes do Cimvalpi.....	72
Tabela 10 - Capacidade nominal das UTCs padrões por porte do município	73
Tabela 11 – Capacidade de processamento, dimensão do pátio de compostagem e composto gerado por porte da UTC.	73
Tabela 12 - Fluxos de recicláveis, rejeitos e áreas de estocagem	74
Tabela 13 - Dimensionamento do pátio de compostagem para UTC pequena.	87
Tabela 14 - Dimensionamento do pátio de compostagem para UTC média	87
Tabela 15 - Dimensionamento do pátio de compostagem para UTC grande.....	88
Tabela 16 - Dimensionamento do depósito para UTC pequena.....	89
Tabela 17 - Dimensionamento do depósito para UTC média.....	90
Tabela 18 - Dimensionamento do depósito para UTC grande.	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abrelpe	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AS	Aterro Sanitário
CISAB	Consórcio Intermunicipal de Saneamento Básico da Zona da Mata
Cimvalpi	Consórcio Intermunicipal Multissetorial do Vale do Piranga
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
DIRAP	Diretoria de Resíduos Sólidos Urbanos e Drenagem de Águas Pluviais
DN	Deliberação Normativa
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
ISLU	Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana
MTB	Ministério do Trabalho
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NR	Norma Regulamentadora
PGRS	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PMSL	Programa Minas Sem Lixões
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SUASA	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
SUGES	Subsecretaria de Gestão Ambiental e Saneamento
SSST	Secretário da Segurança Saúde e Trabalho
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
UTC	Unidade de Triagem e Compostagem
ZM	Zona da Mata de Minas Gerais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	17
	2.1 Objetivo geral	17
	2.2 Objetivos específicos.....	17
3	JUSTIFICATIVA.....	17
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
	4.1 Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e principais definições .	18
	4.1.1 Tratamento de resíduos sólidos urbanos	20
	4.1.2 Tipos de disposição final de resíduos sólidos urbanos.....	21
	4.2 Cenário mundial da destinação de resíduos sólidos	22
	4.3 Cenário brasileiro	23
	4.4 Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos em Minas Gerais	27
	4.4.1 Unidades de Triagem e Compostagem (UTC)	31
	4.4.2 UTCs em Minas Gerais	34
	4.5 Riscos ocupacionais e ambientais em Unidades Triagem e Compostagem	36
	4.5.1 Riscos físicos	39
	4.5.2 Riscos químicos	40
	4.5.3 Riscos biológicos.....	41
	4.5.4 Riscos ergonômicos	41
	4.5.5 Riscos de acidentes	42
5	MATERIAIS E MÉTODOS	43
	5.1 Caracterização da área de estudo	43
	5.2 Metodologia.....	47
	5.3 Avaliação dos riscos ocupacionais.....	47
	5.4 Parâmetros físicos das UTCs.....	48
	5.4.1 Localização	48
	5.4.2 Infraestrutura básica.....	50
	5.4.3 Área de recepção	51

5.4.4	Área de triagem.....	52
5.4.5	Área de enfardamento.....	53
5.4.6	Pátio de compostagem.....	55
5.4.7	Área de estocagem	58
5.4.8	Área de destinação de rejeitos	58
5.5	Parâmetros operacionais com foco na saúde ambiental e ocupacional	59
5.5.1	Proteção a riscos físicos.....	59
5.5.2	Proteção a riscos químicos	60
5.5.3	Proteção a riscos biológicos.....	62
5.5.4	Proteção a riscos ergonômicos	63
5.5.5	Proteção a riscos de acidentes	64
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	65
6.1	Empreendimentos de tratamento da área de estudo (Cimvalpi)	65
6.2	Parâmetros mínimos obtidos recomendados	70
6.3	<i>Layout</i> básico com base nos parâmetros obtidos	72
6.4	Mapa de Riscos para <i>Layout</i> básico	78
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
8	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	80
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
	APÊNDICE A - Memorial de cálculo dos pátios de compostagem propostos ...	87
	APÊNDICE B - Memorial de cálculo dos depósitos propostos	89

1 INTRODUÇÃO

O manejo inadequado dos resíduos sólidos urbanos (RSU) traz impactos ambientais e à saúde pública. Acarreta poluição do solo, água e ar, por serem fontes de compostos orgânicos voláteis, metais pesados, pesticidas e outros. O que como consequência atraem vetores de transmissão de doenças, cabendo destaque: diarreias, febres entéricas, hepatite A, dengue, febre amarela, malária, doença de chagas, esquistossomose, leptospirose, micoses dentre outras (AUAD *et al.*, 2021).

As áreas de disposição inadequada tornam-se inseguras, onde pode ocorrer a formação de gases tóxicos, explosivos e asfixiantes, que se acumulam no subsolo, ou são emitidos para atmosfera. E sem o devido monitoramento e técnicas de engenharia, há possibilidade de rompimentos e escorregamento dos taludes, gerando riscos de acidentes às propriedades vizinhas, rodovias, assoreamento ou represamento de cursos d'água, dentre outras diversas possibilidades se não respeitadas as recomendações normativas e critérios ambientais (GOUVEIA, 2012).

Países como a Alemanha, Dinamarca, Bélgica e Suécia apresentaram índices de aterramento de por volta de 1% dos RSU coletados. Para isto, a maioria são reciclados, compostados ou incinerados. Tendo em comum, também, índices de compostagem superiores a 15,6%, e reciclagem elevada, sendo o país que mais recicla a Alemanha, alcançando a marca de 47,8% de RSU reciclados no ano de 2016, atribuindo-lhe a posição de líder mundial em tecnologias e políticas de resíduos sólidos. Enquanto que no Brasil as taxas giram em torno de 1,4% para reciclagem e 0,2% para compostagem (IBIAPINA; OLIVEIRA; LEOCADIO, 2021; KAZA *et al.*, 2018).

Observa-se mundialmente uma preocupação com o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos. A taxa de coleta de resíduos sólidos em países subdesenvolvidos aumentou de 22% para 39%, além da tendência global de aumento da coleta, separação, reciclagem, compostagem e destinação final adequada, enquanto que países desenvolvidos já possuem taxa de coleta por volta dos 100%, com maior preocupação na redução da geração dos resíduos, melhoria nos métodos e processos de reciclagem, reutilização e reaproveitamento energético, para diminuição dos rejeitos dispostos em aterros sanitários (KAZA *et al.*, 2018).

Diante da necessidade de avançar quanto ao manejo de RSU no Brasil, lançou-se em 2010 a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS - Lei federal nº 12.305)

que estipulava o prazo de agosto de 2014 para a extinção dos lixões, e para serem enviados apenas rejeitos para os aterros sanitários. Tal prazo foi prorrogado para os anos de 2021 e 2024, a depender da quantidade de habitantes do município. A PNRS ainda contempla a implantação da prática da compostagem como destinação ambientalmente adequada para os resíduos sólidos orgânicos, e adoção de práticas de reutilização, reciclagem, recuperação e aproveitamento energético dos RSU, de modo a evitar e minimizar os impactos ambientais e para saúde pública (CAMPOS, 2014).

Enquanto isso, a Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, no estado de Minas Gerais, promoveu o programa Minas sem Lixões (PMSL¹), criado em agosto de 2003 que trouxe registros até julho de 2020, com o objetivo de apoiar os municípios mineiros na adequação da destinação dos resíduos sólidos urbanos, por meio de ações de orientação, licenciamento e fiscalização ambiental dos empreendimentos de tratamento e destinação de RSU, junto às administrações locais e regionais, convênios e parcerias com instituições privadas e públicas (FEAM, 2019b).

Utilizadas no Brasil desde o final da década de 1960, e com implantação popularizada nos anos 90, as Unidades de Triagem e Compostagem (UTC) têm sido consideradas uma opção para o tratamento adequado dos resíduos sólidos urbanos, especialmente em municípios de pequeno porte. A utilização destas unidades preconiza a valorização dos resíduos, já que o reaproveitamento dos materiais recicláveis e a compostagem da parcela orgânica pode acarretar na geração de renda e a redução da quantidade de resíduos a ser aterrada, além da preservação dos recursos naturais, da economia de energia e da redução da poluição (SIMÕES, 2012 apud LIMA; MANCINI, 2017).

No Brasil, de modo geral, os empreendimentos de Triagem e Compostagem não têm obtido a eficiência operacional esperada, com baixo aproveitamento dos materiais recicláveis, grande quantidade de inertes na compostagem e elevada porcentagem de rejeitos encaminhados para a disposição final, consequências das inadequações na infraestrutura, logística e organização do trabalho, que também prejudicam a saúde e segurança ocupacional (GUTBERLET et al., 2013; MOREIRA et al., 2019; SANTOS, 2017a).

¹ Programa Minas sem Lixões (PMSL) - <http://www.feam.br/biblioteca/minas-sem-lixoes>

Diante deste contexto, o objetivo do presente trabalho é realizar uma análise crítica do projeto e operação nas unidades de tratamento de resíduos sólidos urbanos “Unidades de Triagem e Compostagem”, a partir da revisão bibliográfica de textos técnicos relacionados ao manejo de RSU e a saúde ocupacional dos trabalhadores envolvidos no processo. Serão consideradas ainda as constatações registradas na literatura sobre as Unidades de Triagem e Compostagem, e as observações obtidas durante a experiência prática de verificação e acompanhamento dessas unidades na região da Zona da Mata do Estado de Minas Gerais

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho é propor parâmetros de projeto e dimensionamento das Unidades de Triagem e Compostagem baseados em critérios de sustentabilidade e saúde ambiental.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar instalações, projetos e condições de operação das Unidades de Triagem e Compostagem considerando como base os municípios integrantes do Consórcio Intermunicipal Multissetorial do Vale do Piranga de Minas Gerais para a obtenção dos parâmetros ideias de projeto e dimensionamento, observando critérios de sustentabilidade e saúde ambiental;

3 JUSTIFICATIVA

A principal motivação para este trabalho parte da lacuna de dados técnicos que justifiquem a adoção de parâmetros no projeto das UTCs. Salienta-se que não há normativa ABNT para dimensionamento de tal unidade. Estas são propostas utilizando critérios de cada projetista, com pouca padronização e apresentam ineficiência na operação, sendo um dos motivos para a paralisação das atividades destas.

Os trabalhadores dessas unidades estão expostos a diversos riscos ocupacionais que podem comprometer a sua segurança e saúde, ao mesmo tempo que são pouco valorizados com baixos salários, pouco ou nenhum rigor no uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), inobservância dos espaços laborais, instalações de uso comum, entre outros fatores. Assim, pretende-se avaliar estes riscos e apresentar medidas de segurança que podem ser adotadas, para eliminar ou mitigar riscos e acidentes no trabalho, a fim de promover saúde e segurança

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e principais definições

Frente a vícios no entendimento popular ou similaridade de ações, ou processos relativos a RSU, elenca-se as principais definições presentes na Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) para melhor compreensão deste presente trabalho, sendo elas:

- i. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos:** conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com o plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei (BRASIL, 2010).
- ii. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos:** o plano municipal de gestão integrada (PMGIRS) contempla as ações específicas a serem desenvolvidas no âmbito dos órgãos da administração pública, com a finalidade de racionalização dos recursos ambientais, combate a todas formas de desperdício e redução da geração de resíduos sólidos. Minimamente esse deve ter em seu conteúdo o diagnóstico da situação dos RSU gerados no município, identificação das áreas favoráveis para disposição final, das possibilidades de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas, dos RSU e dos grandes ou principais geradores, procedimentos operacionais, indicadores de desempenho, regras para o transporte, programas e ações de capacitação técnica, metas para redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, entre outros;
- iii. **Geradores de Resíduos Sólidos:** pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo;
- iv. **Resíduos Sólidos:** material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos

estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;

- v. **Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos:** coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição;
- vi. **Reciclagem:** processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e, se couber, do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa);
- vii. **Reutilização:** processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa;
- viii. **Rejeitos:** resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;
- ix. **Destinação Final Ambientalmente Adequada:** destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;
- x. **Disposição Final Ambientalmente Adequada:** distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

4.1.1 Tratamento de resíduos sólidos urbanos

O tratamento de RSU consistem e uma série de métodos, operações e uso de tecnologias apropriadas, aplicáveis aos resíduos, podendo ser processos por meio de físicos, químicos, biológicos ou combinados (Quadro 1), que têm por objetivo minimizar a carga poluidora no meio ambiente, reduzir os impactos sanitários negativos do homem e o beneficiamento econômico do resíduo (JUCÁ, 2014).

A falta de etapas de tratamento dos RSU torna a gestão pouco sustentável no reaproveitamento econômico do lixo. Mesmo que a disposição final em aterro sanitário seja ambientalmente adequada, a PNRS preconiza que sejam dispostos apenas rejeitos, com a finalidade de que a vida útil do aterro seja estendida, visto a dificuldade de aquisição de novas áreas, licenciamento e operação destes, além da possibilidade de reintegração dos materiais recicláveis e fração orgânica através de processos de compostagem, para poupar a extração de recursos naturais como matéria-prima (GRISA; CAPANEMA, 2018).

Quadro 1 - Principais tipos de tratamento de resíduos sólidos urbanos.

Sistemas Básicos	Processos	Descrição	Exemplos	Produtos
Triagem	Físico	Separação ou redução do tamanho dos resíduos, podendo ser utilizadas técnicas de quebra, trituração ou aglomeração para posterior classificação, separação ou compactação	Triagem de RSU manual ou mecanizada através de sensores, imãs ou peneiras	Matéria-Prima para Reciclagem e Energia
Tratamento Biológico	Biológico	Tratamento no qual há a ação de grupos de seres vivos, como as bactérias, que acabam por digerirem os resíduos, isso ocorre devido à quebra das moléculas maiores, tornando os resíduos em uma mistura de substâncias e em moléculas menores	Compostagem ou biodigestores anaeróbios	Composto orgânico e Energia
Incineração	Físico-químico	Os resíduos recebem, a partir de fontes externas, uma grande quantidade de calor (energia), o que acabam por gerar mudanças nas características dos diferentes materiais	Incineração ou plasma.	Vapor e Energia Elétrica

Fonte: Modificado de Jucá, 2012.

4.1.2 Tipos de disposição final de resíduos sólidos urbanos

Quando os resíduos não possuem possibilidade de reutilização, reciclagem ou recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, estes, agora passam a ser considerados rejeitos, e devem ser dispostos de forma ambientalmente adequada, sendo um grande desafio do gerenciamento de resíduos, dado que, diante das dificuldades da destinação adequada, as etapas de tratamento são insuficientes, pulando-se para a disposição final, que devido aos altos custos e complexidades técnicas nem todo resíduo gerado recebe uma disposição ambientalmente adequada.

Tabela 1 - Métodos de Disposição final de Resíduos Sólidos.

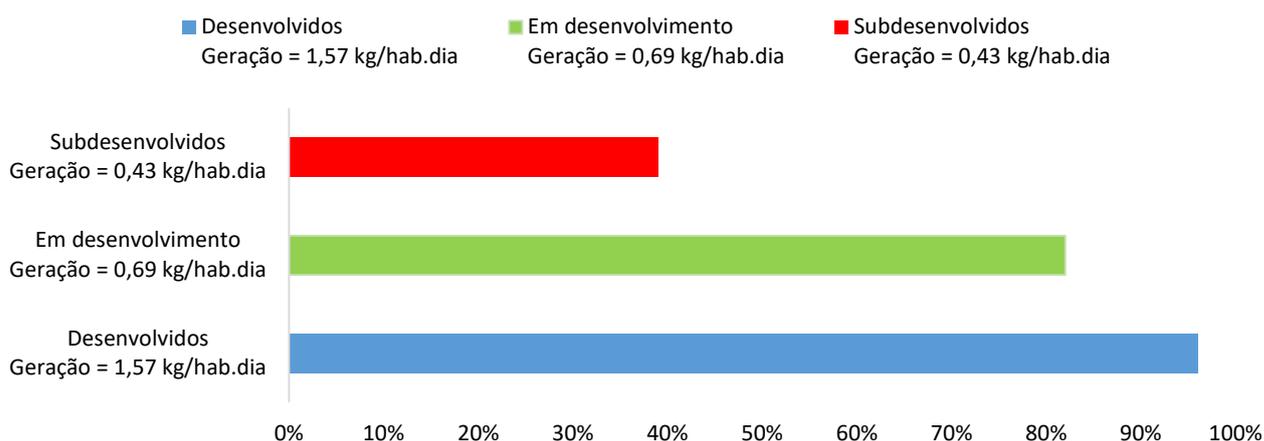
Método	Descrição	Problemáticas relacionadas
Lixão ou Vazadouro	Caracterizado pelo descarregamento dos resíduos sólidos sobre o solo, sem critérios técnicos e medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Considerado inadequado e ilegal segundo a legislação brasileira.	Contaminação do solo, ar, águas superficiais e subterrâneas. Risco de escorregamento de taludes.
Aterro Controlado	Consiste na técnica de confinamento dos resíduos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho. Técnica inadequada, já que não há impermeabilização da base, drenagem do chorume e gases.	Contaminação do solo, águas subterrâneas.
Aterro Sanitário	Técnica ambientalmente adequada de disposição de rejeitos no solo, sem causar danos à saúde pública e à segurança, minimizando impactos ambientais, pois utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, como impermeabilização da base, drenagem de chorume, gases, lixiviados, cobertura de camada de terra compactada a cada jornada de trabalho ou menor caso haja necessidade.	Alto custo de implantação, operação e encerramento. Complexidade técnica para atendimento dos requisitos ambientais.

Fonte: Modificado de LANZA (2009) *apud* COIMBRA (2013).

4.2 Cenário mundial da destinação de resíduos sólidos

Atualmente em países desenvolvidos, a taxa de coleta de resíduos sólidos se aproxima dos 100% (Gráfico 1), e em países subdesenvolvidos esta taxa aumentou de 22% para 39%, complementada por um aumento da reciclagem e compostagem, junto à geração de energia por meio da incineração dos RSU de 0,1% para 10%, entre os anos de 2011 e 2017. Constatou-se também que a média de disposição em aterros sanitários está por volta de 54% nos países em desenvolvimento, grupo no qual o Brasil está inserido, enquanto que em países desenvolvidos a taxa está em 39% (KAZA *et al.*, 2018).

Gráfico 1 - Taxa de coleta de resíduos sólidos dos países por nível de desenvolvimento socioeconômico.

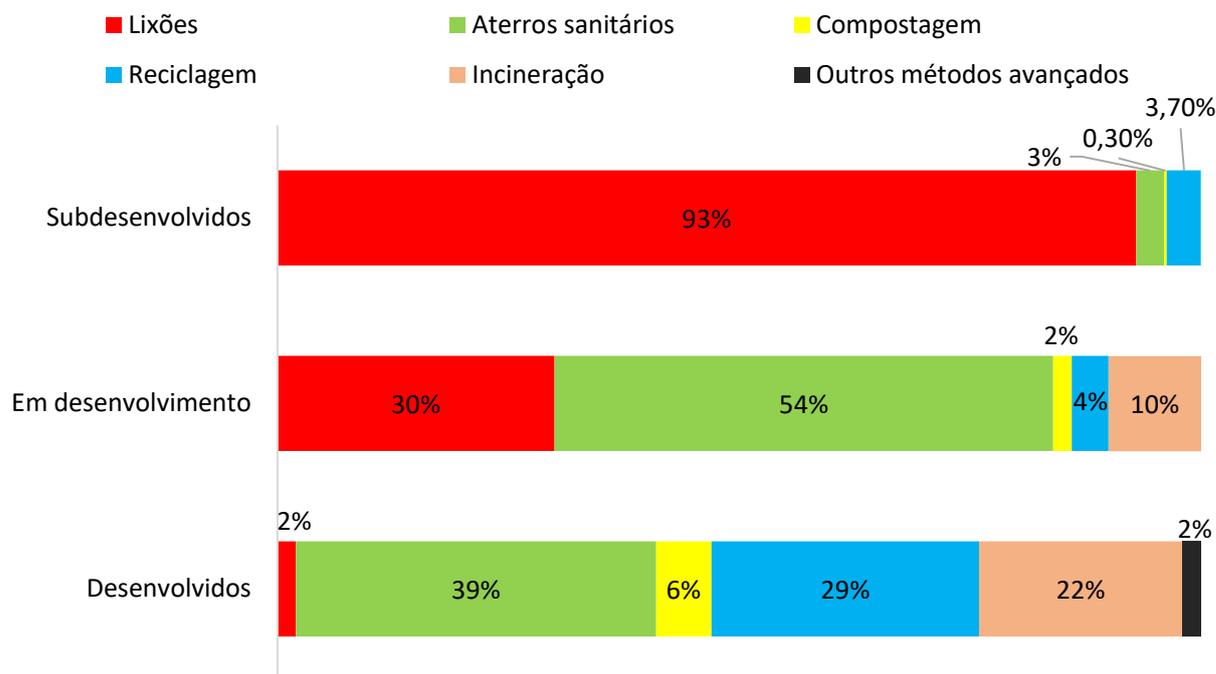


Fonte: Modificado de KAZA *et al.* (2018, tradução nossa).

Quanto ao método de disposição dos resíduos sólidos apresenta-se uma imensa desproporção nestes grupos de países. Muitos países desenvolvidos aproximam-se da nulidade de volume disposto em lixões, por outro lado, países subdesenvolvidos têm um cenário totalmente oposto, com 93% dos resíduos sendo dispostos em lixões a céu aberto, conforme Gráfico 2 (KAZA *et al.*, 2018).

Uma maior preocupação em relação à disposição dos RSU nos países desenvolvidos é agravada por mais áreas urbanizadas contendo uma população mais consumista. Neles percebe-se uma geração de resíduos de 1,57 *kg/hab.dia*, superando consideravelmente os países subdesenvolvidos que estão em 0,43 *kg/hab.dia* (KAZA *et al.*, 2018).

Gráfico 2 - Métodos de disposição de resíduos sólidos por nível de desenvolvimento socioeconômico.



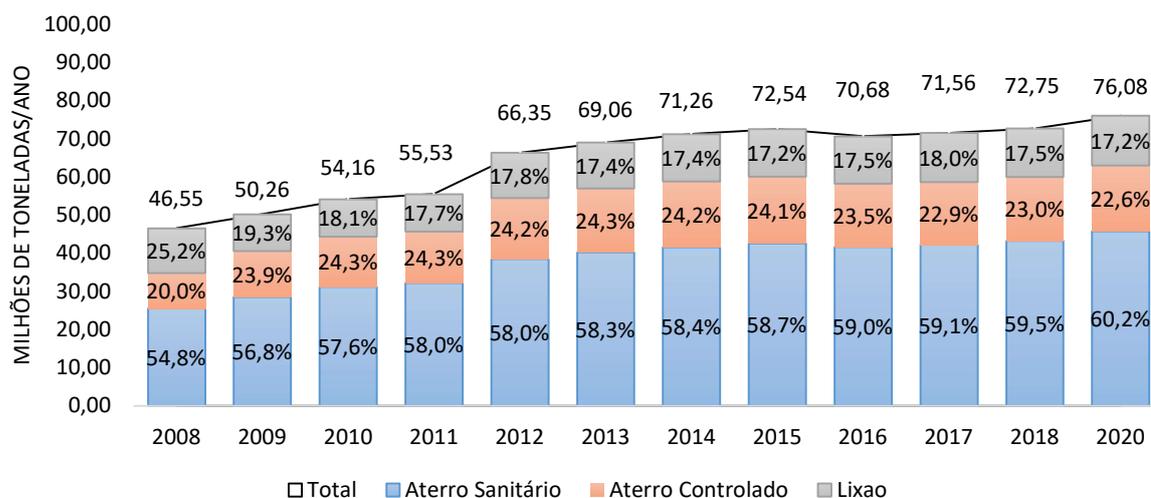
Fonte: Modificado de Kaza *et al.* (2018, tradução nossa).

4.3 Cenário brasileiro

Segundo a Abrelpe (2021), no ano de 2020 foram geradas no Brasil 82,5 milhões de toneladas de RSU, sendo coletados, deste montante 92,2% (76,1 milhões), nos quais 39,8% (30,3 milhões) foram destinados em locais inadequados, como lixões e aterros controlados. A realidade brasileira revela déficits consideráveis, e o caminho que os gestores responsáveis devem enfrentar para atender a lei federal nº 12.305 de 2010.

Houve uma evolução na disposição final ambientalmente adequada dos RSU, porém, ainda insuficiente, sendo suprimida pelo crescimento populacional e geração *per capita*. Embora a quantidade disposta em aterros sanitários passou de 25,5 milhões de toneladas no ano de 2008 para 45,8 milhões de toneladas no ano de 2020, o que representa um aumento de 79,6%, a geração total aumentou de 46,5 milhões de toneladas em 2008 para 76,08 milhões de toneladas em 2018. O Gráfico 3 apresenta o crescimento da disposição adequada dos resíduos coletados, que passou de 54,8% para 60,2%. (ABRELPE, 2021).

Gráfico 3 - Evolução da disposição final de RSU coletados no Brasil de 2008 a 2020



Fonte: Adaptado de Abrelpe (2021) e IBGE (2021).

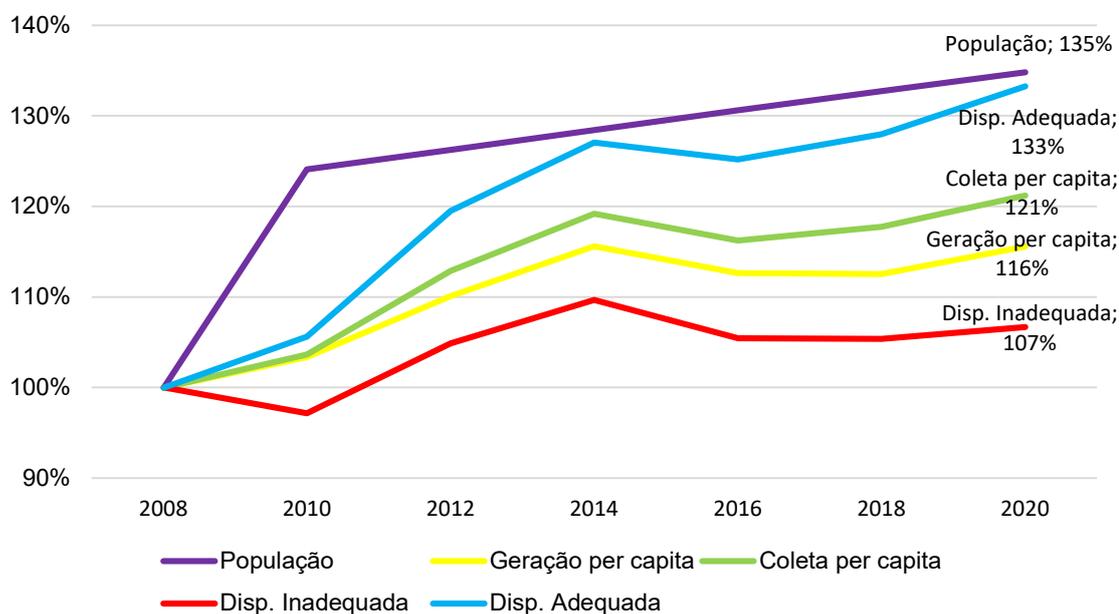
Adicionalmente, com o uso dos dados da Tabela 2, elaborou-se o Gráfico 4 utilizando o ano de 2008 como base, comprovando-se um crescimento populacional de 35% até o ano de 2020, aumento na geração per capita de 16%, tornando a massa de resíduos maior, sendo dispostos 33% a mais em locais adequados, e 7% a mais em locais inadequados, entrando em contradição com a 12305/2010 na qual prevalece a não geração e redução dos resíduos como princípios do gerenciamento dos RSU. Também é indicado no Gráfico 4 a expansão do atendimento da coleta em 21%.

Tabela 2 - População brasileira, geração, coleta e disposição de resíduos sólidos por ano.

Ano	População (hab)	Geração per capita (kg/hab/ano)	Coleta per capita (kg/hab/ano)	Disposição Inadequada (kg/ano)	Disposição Adequada (kg/ano)
2008	157.072.095	337,0	296,4	21.056.568	25.493.520,0
2010	194.890.682	348,3	307,1	25.389.400	33.406.260,0
2012	198.314.934	371,1	334,6	27.880.782	38.470.626,0
2014	201.717.541	389,6	353,3	29.659.170	41.600.875,0
2016	205.156.587	379,6	344,5	28.998.520	41.678.985,0
2018	208.494.900	379,2	348,9	29.448.200	43.300.315,0
2020	211.755.692	389,5	359,3	30.277.390	45.802.448,0

Fonte: Dados obtidos de Abrelpe (2021) e IBGE (2021).

Gráfico 4 - Crescimento populacional, geração, coleta e método de disposição final com ano base 2008.



Fonte: Elaboração própria. Dados de Abrelpe e IBGE (2021).

Ainda segundo a Abrelpe (2021), foram aplicados pelos municípios R\$ 27,3 bilhões por ano, nos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de RSU, que incluem a coleta, transporte e destinação final (adequada ou não), além dos serviços de varrição, capina e manutenção de parques e jardins, córregos, entre outros, o que, representa R\$10,75 por habitante/mês em média no Brasil, cabendo destaque a região Sudeste, conforme Gráfico 5 e Tabela 3, que demonstra uma maior aplicação de recursos *per capita*, e maior percentual de RSU dispostos adequadamente.

Gráfico 5 - Recursos aplicados pelos municípios brasileiros, por região, nos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de RSU, no ano de 2020.



Fonte: Adaptado de Abrelpe (2021).

Tabela 3 - Disposição final de RSU no Brasil por região.

Região	Disposição adequada		Disposição inadequada	
	t/ano	%	t/ano	%
Norte	1.773.927	35,6%	3.209.013	64,4%
Nordeste	6.016.948	36,3%	10.558.666	63,7%
Centro-Oeste	2.456.849	42,5%	3.323.972	57,5%
Sudeste	29.542.830	73,4%	10.706.257	26,6%
Sul	6.011.894	70,8%	2.479.482	29,2%
Brasil	45.802.448	60,2%	30.277.390	39,8%

Fonte: Adaptado de Abrelpe (2021).

Para mensurar o grau de aderência dos municípios brasileiros às diretrizes e metas PNRs, foi criado o índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana (ISLU), que utiliza como base os dados fornecidos pelo Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro (Siconfi), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD/ONU). Assim, elencou-se os 10 municípios mais bem avaliados pelo ISLU, com população acima de 250 mil habitantes (Tabela 4), sendo estes, em sua maioria, pertencentes a região Sudeste (SELURB, 2022).

Tabela 4 - Municípios mais bem pontuados pelo ISLU, com população acima de 250 mil habitantes.

Município	UF	ISLU 2020	ISLU 2021	ISLU 2022
Niterói	RJ	0,749	0,748	0,748
Londrina	PR	0,731	0,692	0,747
Rio de Janeiro	RJ	0,740	0,740	0,742
Blumenau	SC	0,739	0,741	0,741
Vila Velha	ES	0,499	0,659	0,739
Campinas	SP	0,712	0,713	0,735
São Vicente	SP	0,658	0,735	0,735
Praia Grande	SP	0,502	0,734	0,733
Santos	SP	0,760	0,759	0,728
Recife	PE	0,674	0,713	0,720

Fonte: Adaptado de SELURB (2022)

4.4 Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos em Minas Gerais

Em 2003, foi criado o Programa Minas Sem Lixões, com intuito de viabilizar a política de resíduos sólidos, introduzida no estado por meio da DN 52/2001 do COPAM, anos antes da Lei Federal nº 12.305/2010. O programa objetivava apoiar os municípios mineiros no atendimento às normas de gestão adequada de RSU definidas pelo COPAM, buscando a extinção dos lixões a céu aberto. O Programa viabilizou ações governamentais, em favor da boa gestão dos RSU no estado, e foi um grande impulsionador da efetivação do princípio do desenvolvimento sustentável, induzindo melhorias concretas no saneamento e na saúde pública dos mineiros (MAGALHÃES; RIBEIRO, 2017).

A FEAM iniciou fiscalizações e/ou visitas técnicas orientativas duas vezes por ano em cada empreendimento (aterro sanitário ou UTC) cadastrado e, os relatórios das visitas encaminhados para as administrações locais, a fim de auxiliar na melhoria da operação destes empreendimentos. A FEAM também realizava oficinas periódicas com os operadores das UTCs e AS para fomentar a troca de saberes com intuito de otimizar a operação desses empreendimentos (FEAM, 2019b).

Em seu “Panorama da destinação dos resíduos sólidos urbanos no estado de Minas Gerais em 2018”, a FEAM (2019b) afirma que:

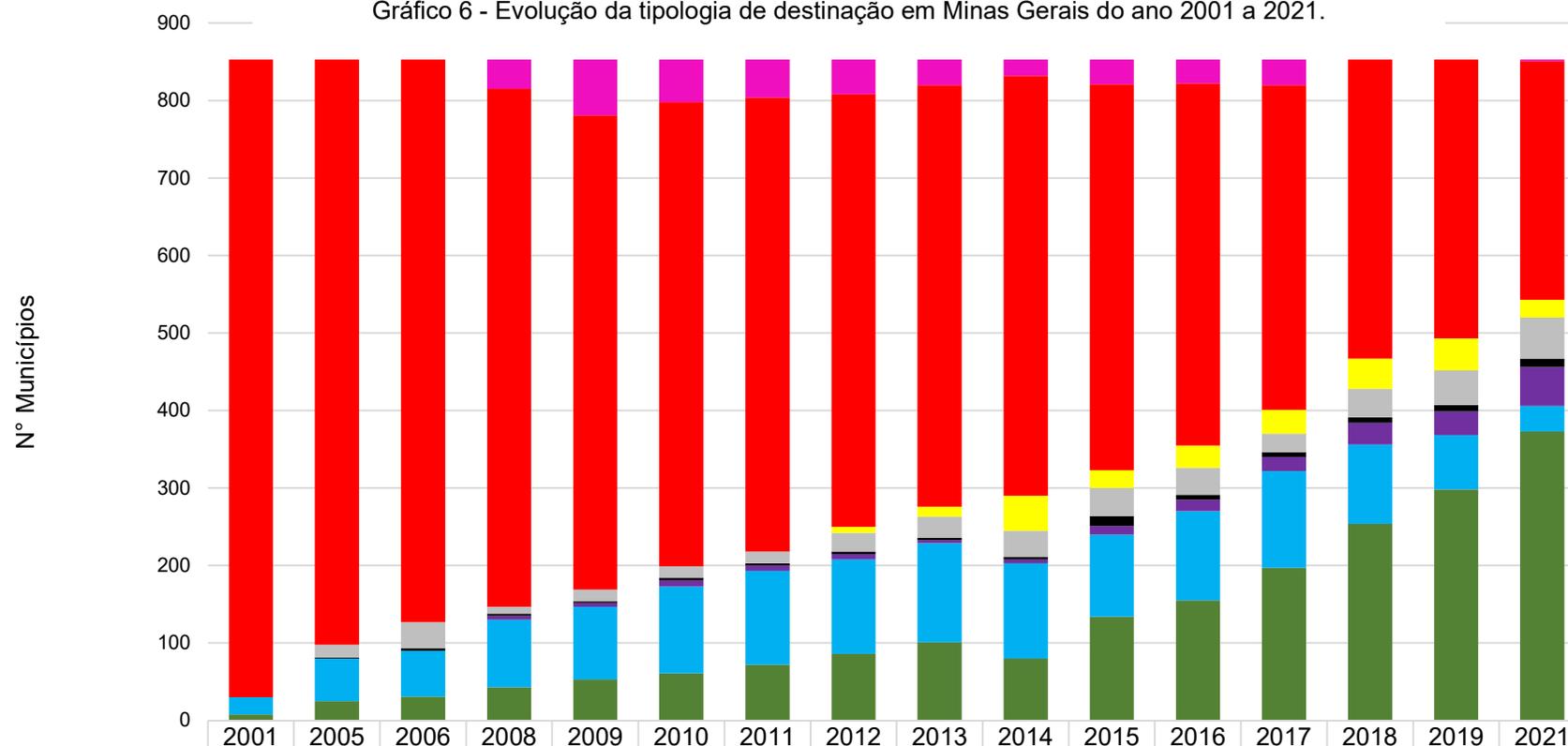
As vistorias e visitas técnicas orientativas passaram a ser amostrais e os seminários com os operadores suspensos a partir de 2011, isso fez com que o acompanhamento sistemático dos empreendimentos e a troca de experiências fossem interrompidos. Nesse cenário, empreendimentos considerados referências, naquela ocasião, hoje figuram como irregulares, inoperantes ou inativos.

No Gráfico 6 pode-se perceber que, mesmo com o Programa Minas sem Lixões, somente a partir de 2008 inicia-se a redução do número de aterros controlados/lixão, embora somente a partir de 2018 percebe-se uma redução considerável dos primeiros, sendo substituídos por Aterros Sanitários (AS).

Minas Gerais, em 2018, registrou mais municípios com empreendimentos irregulares ou inadequados para a destinação final de resíduos sólidos, do que regulares e adequados. O Gráfico 7 apresenta a tipologia de destinação final dos

resíduos no Estado de Minas Gerais. Dele, pode-se depreender que 45,25%, o que representa 386 dos 853 municípios ainda possuem aterros controlados e lixões (FEAM, 2019b). Três anos após, em 2021, verifica-se no Gráfico 8, uma inversão deste cenário. Passou-se a ter mais empreendimentos regularizados, Aterro Controlado/Lixão reduziram-se para 36,19%, e Aterros Sanitários Regularizados atingem o percentual de 43,83% (DIRAP, 2022).

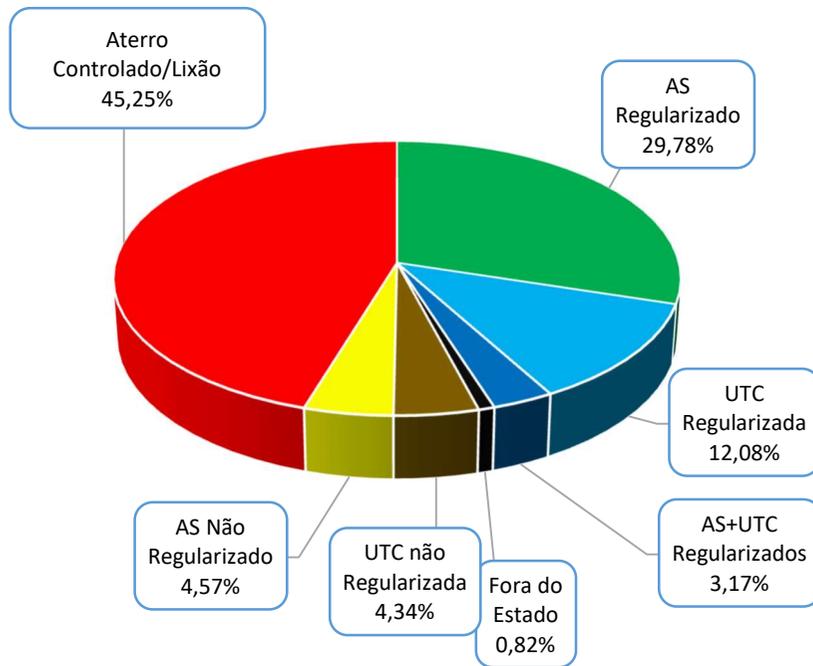
Gráfico 6 - Evolução da tipologia de destinação em Minas Gerais do ano 2001 a 2021.



	2001	2005	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2021
AAF em Verificação	0	0	0	38	72	55	49	45	33	21	32	31	33	0	0	2
Aterro Controlado/Lixão	823	755	726	668	612	599	586	558	544	542	498	467	419	386	360	308
AS Não Regularizado	0	0	0	0	0	0	0	8	13	45	23	29	31	39	41	23
UTC Não Regularizada	0	17	34	9	15	15	15	24	27	34	36	35	24	37	45	53
Fora do Estado	0	1	3	3	2	3	3	3	3	3	13	6	6	7	8	11
AS+UTC Regularizados	0	0	0	5	5	8	7	7	4	5	11	15	18	28	31	50
UTC Regularizada	22	55	59	87	94	112	121	122	128	123	106	115	125	102	70	33
AS Regularizado	8	25	31	43	53	61	72	86	101	80	134	155	197	254	298	373

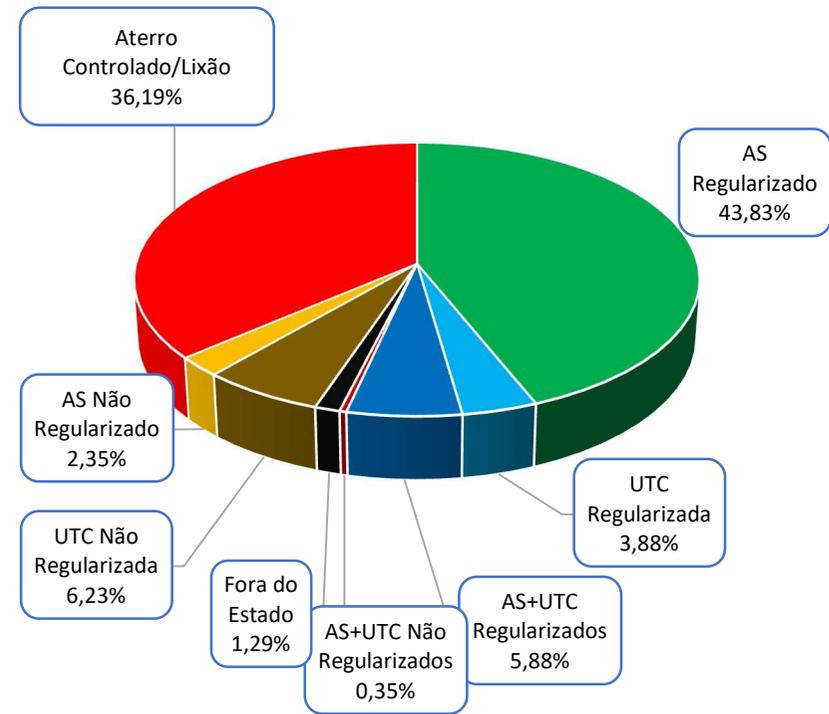
Fonte: Adaptado de FEAM (2019b) e DIRAP (2022).

Gráfico 7 - Tipologia de destinação final Minas Gerais no ano de 2018
(Percentual de Municípios)



Fonte: Adaptado de FEAM (2019).

Gráfico 8 - Tipologia de destinação final Minas Gerais no ano de 2021
(Percentual de Municípios).



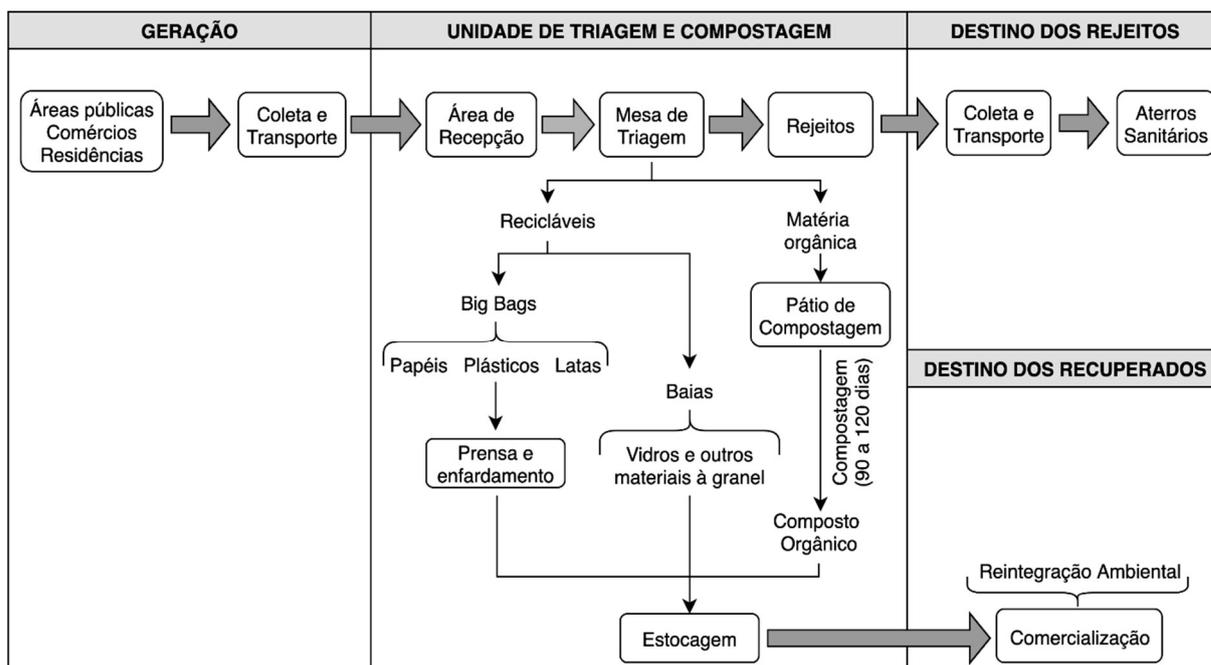
Fonte: Adaptado da DIRAP (2022).

Um dos fundamentos da PNRS é a solução consorciada entre os municípios, de forma a suprimir a deficiência técnica e financeira dos municípios de pequeno porte, constituindo uma alternativa para melhorar a eficiência da prestação de serviços públicos e possibilitar uma discussão de um planejamento regional, de forma a ampliar a oferta de serviços por parte dos municípios, racionalizar equipamentos, ampliar a cooperação regional, flexibilizar mecanismos de aquisição de equipamentos e contratação de pessoal entre outras vantagens (IBGE, 2015 apud SIMÃO *et al.*, 2018). Assim, em Minas Gerais, um importante incentivo à adoção de soluções consorciadas para a gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU), no âmbito do ICMS Ecológico, introduziu-se através do Decreto Estadual nº 45.181 de 2009, que regulamentou a Lei Estadual nº 18.031, em seu artigo 19, prevendo incentivo para os municípios que participarem de soluções consorciadas para a gestão dos RSU. A implantação desse incentivo veio com a publicação da Resolução Conjunta SEMAD-SEPLAG nº 1.212/2010 que atualizou os procedimentos para cálculo e publicação dos índices municipais referentes ao ICMS Ecológico, subcritério Saneamento Ambiental.

4.4.1 Unidades de Triagem e Compostagem (UTC)

Popularizadas no Brasil, na década de 90 as UTCs, eram ditas como solução para a questão dos resíduos sólidos municipais, onde os recicláveis seriam triados para posterior venda, o material orgânico compostado para ser utilizado como adubo orgânico, e ao final restariam apenas rejeitos a serem dispostos em aterros sanitários (SANTOS, 2017a). Consideradas como uma forma de tratamento adequada para a destinação final ambientalmente correta, quando cumprem com os requisitos operacionais. Entretanto, na prática, estas unidades não têm obtido eficiência operacional esperada, com baixo aproveitamento dos recicláveis, elevada quantidade de materiais inertes no composto maturado e grande percentual de rejeitos encaminhados para a disposição final (PESSIN *et al.*, 2006 apud SANTOS, 2017a).

Figura 1 - Processo de operação de uma Unidade de Triagem e Compostagem



Fonte: Modificado de MOREIRA, GÜNTHER, SIQUEIRA (2019).

No diagnóstico do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), foi constatado que no ano de 2018 foram recuperados apenas 2,2% da massa total de RSU coletados (BRASIL, 2019). Neste mesmo diagnóstico, foi constatado que as Unidades de Triagem (galpão ou usina) receberam 3,13 milhões de toneladas, equivalente a 5,1% do total coletado, em 2018, e apenas 127 mil toneladas ou seja, 0,18% do total coletado² foram enviadas para unidades de compostagem (BRASIL, 2019).

Santos (2017a) elencou as vantagens e desvantagens da implantação de UTC nos municípios para o tratamento dos RSU (Quadro 2). Estas Unidades ganharam popularidade entre os pequenos municípios por necessitarem de mão de obra pouco qualificada, geração de postos de trabalho, e custos relativamente baixos para a implantação do galpão de triagem, e possibilidade de retorno financeiro com a venda dos materiais recicláveis.

² No ano de 2018 foram coletados 72,75 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (Abrelpe, 2019).

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens na implantação de UTC no tratamento de RSU.

Parâmetros	Vantagens	Desvantagens
Financeiros	Custo de investimento inicial baixo se comparado a outras tecnologias, como o aterro sanitário; Tecnologia relativamente simples, operação simplificada;	Se não houver uma boa administração e gerenciamento da unidade ela pode encerrar a operação, desperdiçando todo o investimento da implantação. Custo da implantação da coleta seletiva, que, caso não seja realizada corretamente, a UTC produz material e composto de baixa qualidade.
Sociais	Exige pouca mão de obra especializada; Geração de emprego e possibilidade de geração de renda extra aos funcionários com a venda do material;	Condições ruins de trabalho, trabalho que exige grande esforço físico, principalmente, nos casos em que o quadro de funcionários não é adequado para a quantidade de resíduos destinados às UTC.
Ambientais	Permite a recuperação do resíduo orgânico e do material reciclável, evitando o aterramento ou disposição em lixões.	Disposição final dos rejeitos do processo desassociada de medidas protetivas contra os impactos ambientais da disposição no solo.

Fonte: Modificado de Santos, 2017a.

Entretanto, segundo Eigenheer; Ferreira e Adler (2005, apud Santos, 2017), a baixa aceitação de interesse dos gestores públicos, falta de conhecimento e domínio sobre a tecnologia e UTCs mal planejadas fomentaram a inoperabilidade de vários destes empreendimentos. Motivos relacionados desde o projeto à implantação ou gestão (Quadro 3).

Quadro 3 - Motivos da interrupção do funcionamento das atividades das UTCs no Brasil.

Projeto/Implantação	Promoção mal planejada da instalação de UTCs, o que acarretou a disputa dos recursos pelos construtores, cujas convicções técnicas e mercadológicas nem sempre foram ao encontro das necessidades dos municípios
Gestão	Ausência de capacitação institucional e/ou gerencial e/ou operacional para condução das atividades
Gestão/Projeto/Implantação	Entendimento equivocado das unidades como capazes de “fazer desaparecer o lixo”, com a consequente ausência de previsão de espaço – e de capacitação operacional – para instalação dos necessários aterros sanitários receptores de rejeito
Gestão/Implantação	Exploração do argumento sobre geração de empregos (por exemplo, para absorver catadores do lixão) como motivação social da opção pelas unidades
Gestão	Ausência de integração orçamentária, institucional e operacional das unidades com o serviço de limpeza pública local
Projeto/Implantação	Localização inadequada das UTCs, acarretando problemas ambientais e a consequente rejeição ao seu funcionamento pela população afetada
Gestão	Questões ligadas às disputas político-partidárias locais ou a preconceitos, chegando a acontecer a paralisação das atividades de uma unidade recém-inaugurada devido, simplesmente, à mudança de governo
Gestão/Implantação	Antevisão equivocada dos gestores municipais da possibilidade de “lucro” operacional das unidades

Gestão	Incapacidade de obter produtos com as características de qualidade necessárias para uso agrícola, em virtude da má operação da UTC
Projeto/Implantação	Má concepção de projetos, instalações incompletas ou mal dimensionadas, equipamentos inadequados, alto custo de manutenção, falta de recursos e dificuldades para colocar os produtos no mercado

Fonte: Modificado de VILHENA *et al.*(2018)

Figueiredo (2022) evidencia que entre as dificuldades da economia circular estão os custos dos processos de reciclagem, alta carga tributária, o que inviabiliza as empresas optarem por produtos reciclados, ao invés de novos, que ao exemplo de uma embalagem plástica, no Norte do país, a diferença pode estar em 600% de custos. Demonstrando um desafio financeiro para a prática da reciclagem, conseqüentemente, também, para implantação de empreendimentos de tratamento de RSU.

4.4.2 UTCs em Minas Gerais

Através dos dados da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad) e Diretoria de Resíduos Sólidos Urbanos e Drenagem de Águas Pluviais (DIRAP), no Estado de Minas Gerais percebeu-se uma diminuição significativa da disposição em lixões em 2021, embora se contata uma redução nas Unidades de Triagem e Compostagem regularizadas conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Evolução da tipologia da destinação dos RSU em Minas Gerais do ano 2018 a 2021.

Tipologia	Ano base 2018	Ano base 2021	Variação	Impacto
AS Não Regularizado	39	23	-41%	Positivo
AS Regularizado	254	375	+48%	Positivo
AS+UTC Regularizados	27	50	+85%	Positivo
Aterro Controlado/Lixão	386	308	-20%	Positivo
Fora do Estado	7	11	+57%	-
UTC Não Regularizada	37	53	+43%	Negativo
UTC Regularizada	103	33	-68%	Negativo

Fonte: Adaptado da FEAM (2019) e DIRAP (2022).

De acordo com a FEAM (2019), no ano de 2005, Minas Gerais apresentava 55 (6,45%) municípios, dos 853 totais, atendidos por UTCs regularizadas, ou seja, unidades que possuíam licença ou autorização ambiental para operar. Em 2014, já

eram contabilizados 123 (14,59%) municípios com UTCs licenciadas, reduzindo 103 (12,08%) UTCs regularizadas em 2018. O motivo principal da diminuição de UTCs regularizadas refere-se a perda ou da não renovação da licença ambiental pelos municípios. Em alguns, por poder de fiscalização verificam-se unidades operando inadequadamente, portanto, tais empreendimentos têm suas atividades embargadas.

Comparando-se os dados do ano de 2018 com 2021 (Tabela 5), nota-se a diminuição dos lixões em 20% nos municípios mineiros, porém a erradicação destes ainda se apresenta bem distante de ser realidade. Período no qual também houve uma diminuição das UTCs em funcionamento, de 167 para 136 (considerando regulares e irregulares) nos municípios mineiros, e a redução de 103 para 33 UTCs regularizadas, fato conseqüente também do período pandêmico, no qual devido às medidas protetivas tiveram as suas atividades reduzidas e/ou interrompidas.

SANTOS (2017) identificou 95 municípios mineiros com UTCs que apresentavam informações decorrentes de vistorias realizadas pela equipe da FEAM nos anos de 2014, 2015 e 2016. Assim, avaliou os aspectos relativos ao desempenho operacional e ambiental destas Unidades. Seu estudo compreendeu uma amostra de 60 UTCs, e complementando a pesquisa documental, realizou visitas em campo a 9 destas. Verificou-se que parte das UTCs de Minas Gerais estão subdimensionadas.

Alvarenga (2014) avaliou municípios integrantes do Consórcio Intermunicipal da Zona da Mata (CISAB – ZM) quanto ao gerenciamento de RSU em municípios da Zona da Mata, utilizando indicadores de sustentabilidade em consonância com a PNRS, estabelecendo notas de 0 a 10 pontos, sendo as notas mais elevadas indicativos de melhor sustentabilidade. O autor indicou notas baixas de acordo com o índice proposto com auxílio de especialistas. Dos 26 municípios analisados, 18 ficaram abaixo da faixa considerada de baixa sustentabilidade (abaixo de 5 pontos), e os demais obtiveram pontuação de média sustentabilidade (entre 5 e 8 pontos), com Viçosa na liderança, atingindo a marca de 6,68 pontos.

Outro erro citado por Eigenheer et al (2005, apud Silva 2011), é a implantação das UTCs como solução para os problemas da limpeza pública, sendo deixados de lado a coleta seletiva e os aterros sanitários. Acreditou-se que não haveria necessidade de coleta seletiva, pois na UTC seria realizada a triagem dos materiais, que, além disso, com o máximo aproveitamento dos recicláveis se eliminaria a necessidade de aterros sanitários. Contudo, a implementação da coleta seletiva é de

extrema necessidade para a viabilidade econômica de uma UTC, uma vez que o RSU coletado é a matéria prima para a produção dos compostos triados, sendo a segregação na fonte grande responsável pela geração de materiais de melhor qualidade (CETESB, 2014; QUEIROZ; SILVA, 2020).

Em Minas Gerais, com a intenção de incentivar coleta seletiva, com a inclusão social dos catadores de materiais recicláveis foi instituída a Lei Estadual nº 19.823/2011 conhecida como Bolsa Reciclagem, que dispõe sobre a concessão de incentivo financeiro a catadores de materiais recicláveis, com pagamentos trimestrais, em forma de auxílio pecuniário, tendo como fatos geradores a segregação, o enfardamento e a comercialização dos materiais recicláveis: papel/papelão, plástico, metais e vidros. Essa lei configurou como opção para correção de falhas do mercado de recicláveis (SANTANA; LANGE; MAGALHÃES, 2022).

Entre os anos de 2012 a 2018, no painel do Bolsa Reciclagem, disponibilizado no site da SEMAD³, registra-se por volta de R\$ 20,2 milhões de repasse, possuindo, atualmente 159 associações/cooperativas cadastradas.

4.5 Riscos ocupacionais e ambientais em Unidades Triagem e Compostagem

Em qualquer atividade laboral, os trabalhadores estão expostos à algum risco ocupacional que pode comprometer a sua segurança e a sua saúde. Assim, para proteger a integridade física dos trabalhadores, o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) criou, em 1978, normas regulamentadoras (NRs) para orientar medidas a serem adotadas pelos empreendimentos. Mesmo com todas essas regulamentações, em 2017, foram contabilizados 574.050 acidentes e 1.989 mortes (BRASIL, 2017).

O gerenciamento dos resíduos sólidos mostra-se uma tarefa árdua, pois, sujeita os profissionais responsáveis pela coleta, tratamento e disposição final a múltiplos riscos ocupacionais. A Norma Regulamentadora nº 4 (BRASIL, 1978d) classifica esta atividade como de grau de risco 3, com o intervalo da classificação de 1 a 4, sendo as atividades mais perigosas à saúde ocupacional classificadas com um grau de risco maior (Quadro 4). Tais resíduos, se geridos ou dispostos inadequadamente causam impactos socioambientais, tais como degradação do solo,

³ Bolsa Reciclagem, Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - Semad. Disponível em :<<http://www.meioambiente.mg.gov.br/saneamento/bolsareciclagem>>. Acesso: 18 de janeiro de 2022

comprometimento dos corpos d'água e mananciais, intensificação de enchentes, contribuição para a poluição do ar e proliferação de vetores de importância sanitária nos centros urbanos e catação em condições insalubres nas ruas e nas áreas de disposição final (BESEN et al., 2010 *apud* JACOBI; BESEN, 2011).

Segundo Santos (2017a) são evidentes as más condições às quais os trabalhadores são expostos nas UTCs, principalmente no reaproveitamento de resíduos de coleta convencional, nas quais são comuns acidentes com materiais perfurocortantes. Estes trabalhadores são expostos a riscos biológicos, físicos, químicos, ergonômicos e mecânicos, todos causando altos índices de lesões e doenças no local de trabalho (MOREIRA; GÜNTHER; SIQUEIRA, 2019; SILVA; SIQUEIRA, 2017).

Há uma defasagem entre as normas de segurança e o saber comum dos trabalhadores, que demanda uma construção de noção de risco ocupacional integrando a experiência do trabalhador às políticas de prevenção, possibilitando que o conhecimento técnico possa servir como ferramenta de auxílio a prevenção. Como o objetivo principal desses trabalhadores é garantir o sustento para si próprio e para seus dependentes, conseqüentemente, eles tendem a ignorar situações perigosas, considerando-as como parte do trabalho, e não como resultado da sua precariedade (DALL'AGNOLL; FERNANDES, 2007 *apud* MOREIRA; GÜNTHER; SIQUEIRA, 2019; TEIXEIRA, 2015).

Quadro 4 - Grau de risco das atividades relacionadas a resíduos

E	ÁGUA, ESGOTO, ATIVIDADES DE GESTÃO DE RESÍDUOS E DESCONTAMINAÇÃO	
38	COLETA, TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS; RECUPERAÇÃO DE MATERIAIS	
38.1	Coleta de resíduos	
38.11-4	Coleta de resíduos não-perigosos	3
38.12-2	Coleta de resíduos perigosos	3
38.2	Tratamento e disposição de resíduos	
38.21-1	Tratamento e disposição de resíduos não-perigosos	3
38.22-0	Tratamento e disposição de resíduos perigosos	3
38.3	Recuperação de materiais	
38.31-9	Recuperação de materiais metálicos	3
38.32-7	Recuperação de materiais plásticos	3
38.39-4	Recuperação de materiais não especificados anteriormente	3
39	DESCONTAMINAÇÃO E OUTROS SERVIÇOS DE GESTÃO DE RESÍDUOS	
39.0	Descontaminação e outros serviços de gestão de resíduos	
39.00-5	Descontaminação e outros serviços de gestão de resíduos	3

Fonte: Adaptado de Norma regulamentadora n° 4 (Brasil, 1978b).

Um dos direitos sociais instituídos pela Constituição da República de 1988, descrito no Art 7º, inciso XXII, é o da redução dos riscos inerentes ao trabalho, por meio de normas da saúde, higiene e segurança. Assim, faz-se necessário conhecer os riscos ambientais que incidem sobre os mais variados ambientes laborais e apontar soluções visando a tutela do direito fundamental do ser humano, que é o direito à vida. Desta forma, pela portaria nº25/1994 do Secretário de Segurança e Saúde no Trabalho (SSST) (1994), o Quadro 5 classifica os principais riscos ocupacionais, quanto a riscos físicos, químicos, biológicos, ergonômicos ou de acidentes, e os subdivide quanto às consequências fisiológicas que podem causar (Brasil, 1988, 1994 *apud* RENNÓ, 2010).

Quadro 5 - Classificação dos principais riscos ocupacionais em grupos e a padronização em cores

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
Verde	Vermelho	Marrom	Amarelo	Azul
Físicos	Químicos	Biológicos	Ergonômicos	Acidentes
Ruídos	Poeiras	Vírus	Esforço físico intenso	Arranjo físico inadequado
Vibrações	Fumos	Bactérias	Levantamento e transporte manual de peso	Máquinas e equipamentos sem proteção
Radiações ionizantes	Névoas	Protozoários	Exigência de postura inadequada	Ferramentas inadequadas ou defeituosas
Radiações não ionizantes	Neblinas	Fungos	Controle rígido de produtividade	Iluminação inadequada
Frio	Gases	Parasitas	Imposição de ritmos excessivos	Eletricidade
Calor	Vapores	Bacilos	Trabalho em turno e noturno	Probabilidade de incêndio ou explosão
Pressões anormais	Substâncias, compostos ou produtos químicos		Jornadas de trabalho prolongadas	Armazenamento inadequado
Umidade			Monotonia e repetitividade	Animais peçonhentos
			Outras situações causadoras de stress físico e/ou psíquico	Outras situações de risco que poderão contribuir para a ocorrência de acidentes

Fonte: Portaria SSST N°25/1994 (BRASIL, 1978e).

4.5.1 Riscos físicos

Os riscos físicos são as diversas formas de energia a que possam estar expostos os trabalhadores, gerados por intercâmbios bruscos de energia ou exposição contínua, entre o organismo e o ambiente, em quantidade superior àquela que o organismo é capaz de suportar, podendo acarretar uma doença profissional. Os fatores físicos mais importantes são as temperaturas extremas, os ruídos, vibrações, pressões anormais, radiações ionizantes, radiações não ionizantes, bem como o infrassom e o ultrassom (BRASIL, 1978d; GUTBERLET *et al.*, 2013).

O ruído pode ser definido como contínuo ou intermitente, que compreende todos aqueles que não podem ser classificados como ruído de impacto ou impulsivo, sendo estes últimos aqueles que apresentam picos de energia acústica de duração inferior a um segundo, em intervalos superiores a um segundo (Fundacentro, 1999 *apud* POMKERNER, 2014).

A NR-15, em seus anexos determina os limites de exposição quanto a intensidade, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará danos à saúde do trabalhador durante a sua atividade laboral. No caso de ruídos, para 85 dB(A) e 115 dB(A), o tempo de exposição diária limite são 8 horas para a menor exposição e 7 minutos para a exposição máxima, sendo não permitida a exposição a níveis acima de 115 dB(A) sem a proteção adequada, conforme Quadro 6 (BRASIL, 1978a).

Quadro 6 - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente

Nível de Ruído dB (A)	Máxima Exposição diária permissível
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas

Nível de Ruído dB (A)	Máxima Exposição diária permissível
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Fonte: (BRASIL, 1978a)

As condições de trabalho insalubre quanto a vibrações são caracterizadas de acordo com a região do corpo afetada: Vibrações de Mãos e Braços (VMB) ou Vibrações de Corpo Inteiro (VCI), considerando insalubre os trabalhos que superem o limite de exposição diária a VMB de 5 m/s^2 ou para o caso de VCI de $1,1 \text{ m/s}^2$ para exposição normalizada, e $21,0 \text{ m/s}^{1,75}$ para a dose de vibração resultante. A NR-15 determina que os procedimentos técnicos para a avaliação quantitativa das VMB e VCI são os estabelecidos nas NHO (BRASIL, 1978a).

4.5.2 Riscos químicos

As substâncias, compostos ou produtos que podem penetrar no organismo pela via respiratória, nas formas de poeiras, fumos, névoas, neblinas, gases ou vapores, ou que, pela natureza da atividade de exposição, possam ter contato ou absorvidos pelo organismo através da pele ou por ingestão, são consideradas agentes químicos. Nos resíduos sólidos municipais pode ser encontrada uma variedade muito grande de agentes químicos, dentre os quais merecem destaque, pela presença constante: as pilhas e baterias, os óleos e graxas, os pesticidas e herbicidas, solventes, tintas, produtos de limpeza, cosméticos, medicamentos, aerossóis (BRASIL, 1978d; GUTBERLET *et al.*, 2013; ROCHA; TEIXEIRA; BRASIL, 2014)

4.5.3 Riscos biológicos

Os agentes biológicos presentes nos resíduos sólidos podem ser responsáveis pela transmissão direta e indireta de doenças, mediante a disseminação de vírus, bactérias, fungos, dentre outros parasitas (BRASIL, 1994). Microrganismos patogênicos ocorrem nos resíduos sólidos municipais mediante a presença de lenços de papel, curativos, fraldas descartáveis, papel higiênico, absorventes íntimos, agulhas e seringas descartáveis contaminadas, preservativos, materiais esses originados de descartes da população, dos resíduos de pequenas clínicas, farmácias e laboratórios e, na maioria dos casos, dos resíduos hospitalares, misturados aos resíduos domiciliares (CARVALHO *et al.*, 2016; FERREIRA; ANJOS, 2001).

Estes agentes estão presentes em diversas atividades ocupacionais, expondo os trabalhadores a vários riscos que podem resultar da sua utilização intencional ou involuntária. Esta exposição pode ser deliberada, como o exemplo das atividades desenvolvidas num laboratório de microbiologia, ou pode ocorrer em atividades em que a ocorrência do agente biológico é inerente ao processo produtivo, considerada como consequência não intencional da atividade, ao exemplo das atividades agrícolas e da triagem de resíduos onde ocorre manipulação involuntária do agente biológico, em que se realiza o contato direto dos trabalhadores com detritos e conseqüentemente com os agentes biológicos que podem estar presentes (SANTOS, 2017b).

4.5.4 Riscos ergonômicos

Os riscos ergonômicos são aqueles que podem afetar os sistemas muscular e esquelético mediante movimentos corporais e esforços relacionados ao trabalho. Os riscos ergonômicos são estudados pela biomecânica ocupacional, considerada um segmento da biomecânica geral, cuja preocupação é a interação física do trabalhador com seu posto de trabalho, visando reduzir os riscos de distúrbios musculoesqueléticos. As condições ocupacionais que geram riscos ergonômicos incluem aspectos relacionados ao levantamento, transporte e descarga de materiais, ao mobiliário, aos equipamentos e às condições ambientais do posto de trabalho, e à própria organização do trabalho (BRASIL, 2018).

Em ergonomia, a relação conforto/segurança/bem-estar, está sempre atrelada, sendo assim, não é possível pensar apenas em conforto, segurança e condições de trabalho adequadas, sem se reportar também à produtividade. A ergonomia procura otimizar as condições de trabalho para que o trabalhador possa apresentar melhores desempenhos, evitando assim situações de fadiga ou acidentes que interfiram em seus rendimentos e em sua saúde. Como exemplos de fatores que podem gerar riscos ergonômicos podem ser citados os postos de trabalho, geralmente, mal projetados e com trabalho estático ou repetitivo (MARANGONI; TASCIN; PORTO, 2006).

4.5.5 Riscos de acidentes

Os riscos de acidentes, também encontrados na literatura como riscos mecânicos, são aqueles provados por quedas, acidentes com veículos, acidentes com máquinas, os quais podem causar traumatismos diversos e, em casos mais graves, até a morte. Nas UTCs podem ser provocados por adaptações nas mesas de triagem ou pelo acúmulo de material de maneira desorganizada, em pilhas ou entulhos que possam vir a desmorronar ou dificultar a circulação dos trabalhadores. Materiais perfurocortantes misturados aos resíduos a serem separados também são considerados riscos de acidentes (GUTBERLET *et al.*, 2013; RENNÓ, 2010).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área de estudo

Determinou-se como área de estudo o Consórcio Intermunicipal Multissetorial do Vale do Piranga (Cimvalpi) do qual Viçosa/MG faz parte. O Cimvalpi é atualmente composto por 41 municípios, totaliza 723.898 habitantes (IBGE, 2020) e abrange uma área aproximada de 12.925 hectares (Figura 2). Composto, principalmente, por municípios de pequeno porte (população inferior a 20 mil habitantes).

O Cimvalpi atua na área de resíduos sólidos com o transporte para destinação final de Resíduos Sólidos Urbanos nos municípios associados, e configura-se como gestor da Política Intermunicipal de Resíduos Sólidos sendo responsável pela elaboração do Plano Intermunicipal de Gestão Integrada, que deverá compatibilizar as estratégias municipais previamente estabelecidas nos respectivos Planos.

No quesito regularidade do AS e erradicação dos lixões os consorciados do Cimvalpi estão à frente da média mineira, percentualmente. Contudo, em relação ao tratamento dos resíduos em UTC regularizadas, possui pequena desvantagem conforme Tabela 6 e Figura 3.

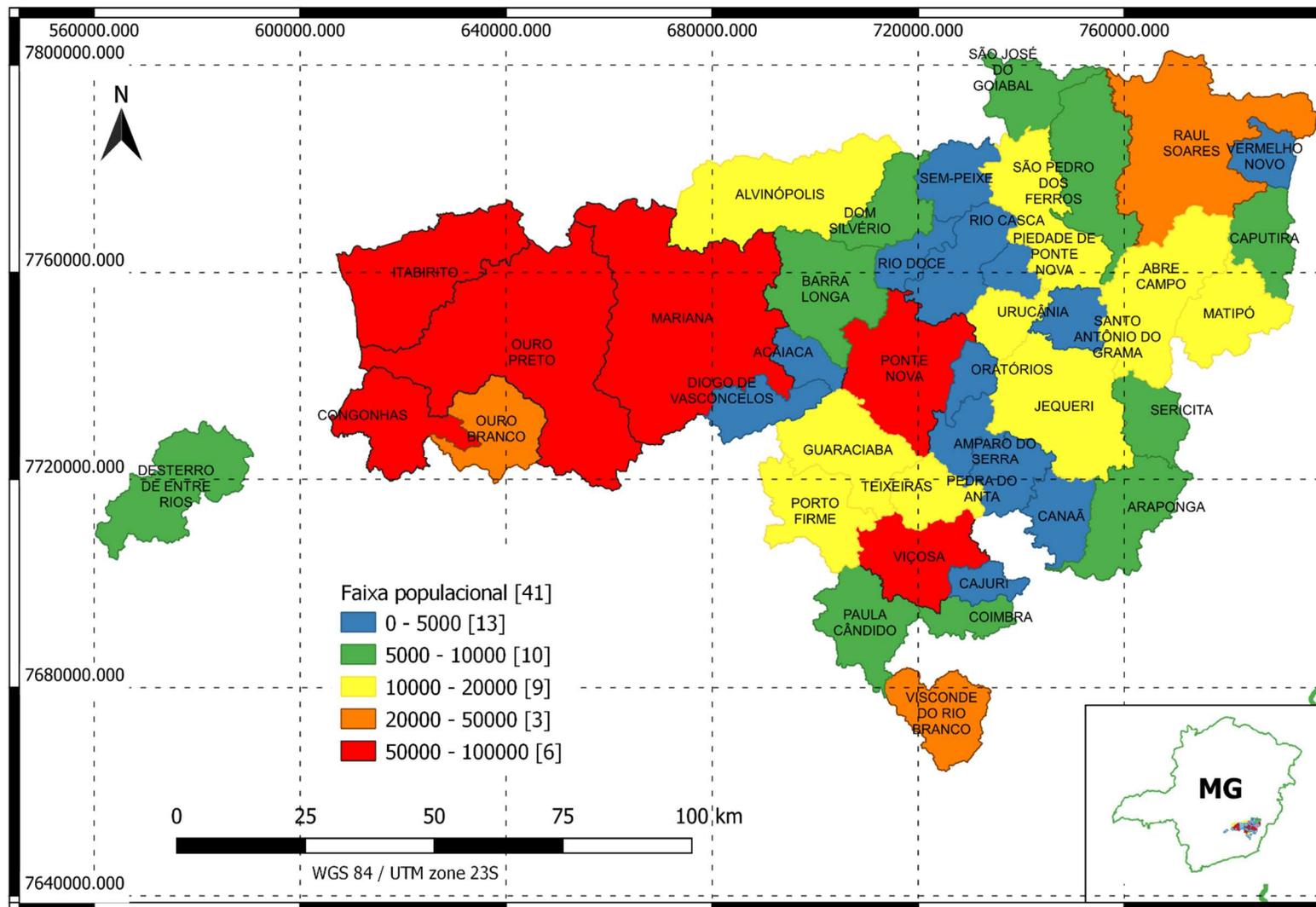
Tabela 6 - Evolução da tipologia da destinação final dos municípios do Cimvalpi de 2018 a 2021.

Tipologia	2018 (FEAM)		2021 (DIRAP)		Variação	Impacto
	unit.	%	unit.	%		
AS Não regularizado	4	9,76%	3	7,32%	-25,00%	Positivo
AS regularizado	11	26,83%	25	60,98%	127,27%	Positivo
AS + UTC regularizados	2	4,88%	1	2,44%	-50,00%	Negativo
Aterro Controlado/Lixão	13	26,83%	8	19,51%	-38,46%	Positivo
UTC Não regularizada	4	9,76%	3	7,32%	-25,00%	Positivo
UTC Regularizada	7	17,07%	1	2,44%	-85,71%	Negativo
Total (CIMVALPI)	41	100%	41	100%	-	-

Fonte: Adaptado de FEAM (2019) e DIRAP (2022).

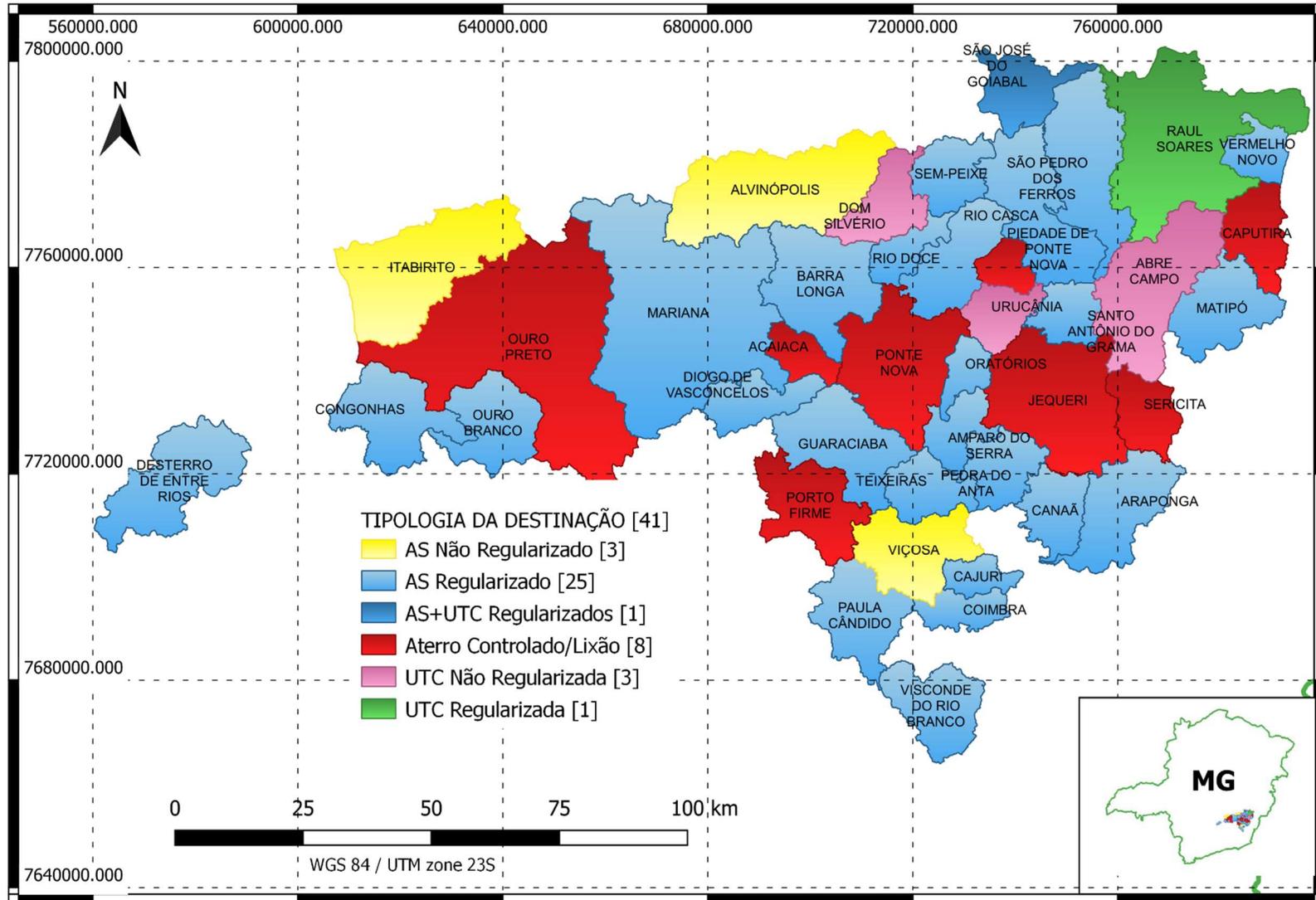
Quanto ao ISLU, a média mineira encontra-se em 0,440, enquanto que os municípios do Cimvalpi apresentam índice médio um pouco superior, no valor de 0,477, destacando-se a cidade de Viçosa, a qual apresentou índice bem distinto dos demais, atingindo o valor de 0,720 (Figura 4).

Figura 2 - Mapa dos municípios integrantes do Cimvalpi por faixa populacional



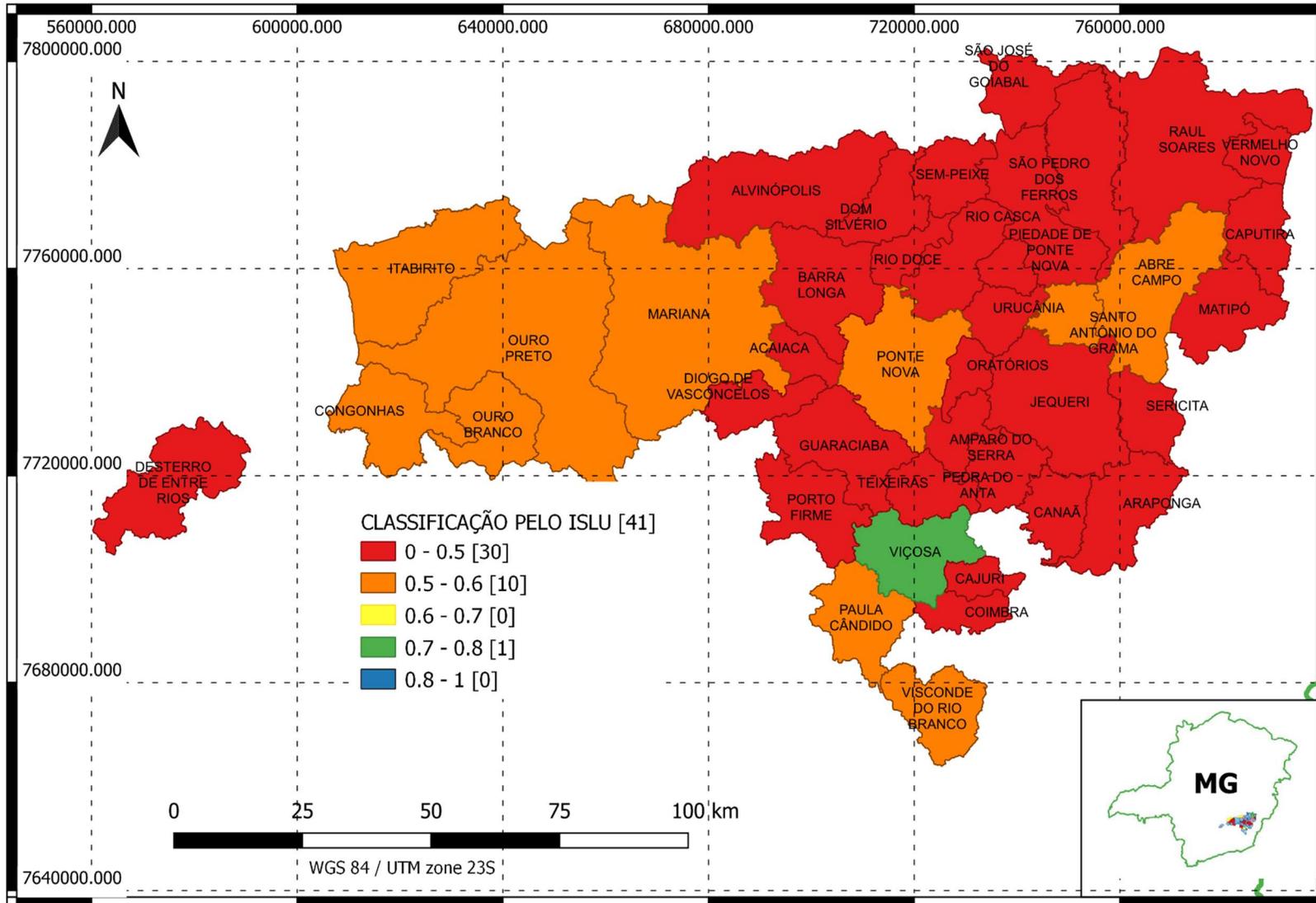
Fonte: Elaboração própria.

Figura 3 – Mapa da tipologia de destinação de resíduos dos municípios integrantes do Cimvalpi em 2021.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4 - Mapa do ISLU dos municípios consorciados ao Cimvalpi.



Fonte: Elaboração própria.

5.2 Metodologia

Foram conduzidas pesquisas bibliográficas com obtenção de parâmetros relevantes à pesquisa tais como: tecnologias que devem ser adotadas na Unidade para maior eficiência e mitigação dos riscos ocupacionais e ambientais, a partir da modulação da UTC, conforme Quadro 7. Tais dados foram obtidos a partir de revisão bibliográfica específica ao tema.

Quadro 7 - Parâmetros físicos das UTCs a serem coletados.

MÓDULOS ESSENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DA UTCs
1. LOCALIZAÇÃO DA UTC
2. INFRAESTRUTURA BÁSICA
3. ÁREA DE RECEPÇÃO
4. ÁREA DE TRIAGEM
5. ÁREA DE ENFARDAMENTO
6. PÁTIO DE COMPOSTAGEM
7. ÁREA DE ESTOCAGEM/ARMAZENAMENTO
8. ÁREA DE DESTINAÇÃO DOS REJEITOS

Fonte: Elaboração própria.

Realizou-se a análise dos dados coletados confrontando-os com os parâmetros sugeridos por diversos autores ou especialistas, com a legislação atual, bem como as NRs trabalhistas, e assim foram sugeridos novos parâmetros para dimensionamento das Unidades de Triagem e Compostagem, baseando-se em critérios de sustentabilidade e saúde ambiental, levando-se em conta a saúde dos envolvidos na gestão dos resíduos sólidos.

5.3 Avaliação dos riscos ocupacionais

Como ponto de partida, os riscos foram inicialmente avaliados de maneira qualitativa, de forma a identificar a quais riscos estão sujeitos os trabalhadores das UTCs. Após a identificação destes, verificou-se quantitativamente a partir da análise de estudos científicos na literatura, quanto a exposição, observando os valores limites das NRs e Normas de Higiene Ocupacional – NHO (Quadro 8).

Quadro 8 - Parâmetros relativos aos riscos ocupacionais

RISCOS OCUPACIONAIS		
Risco	Item	Dados a serem observados
Físico	Ruídos	Níveis de exposição ao ruído: dB e tempo de exposição
Físico	Exposição ao calor	Temperatura e tempo de exposição
Químico	Particulado sólido suspenso no ar	Aerodispersóides tipos e concentração
Físico	Vibração de mãos e braços	Níveis de exposição a vibrações e tempo de exposição
Ergonômico/Acidente	Iluminamento do local de trabalho	Iluminância do entorno imediato (lux) e tempo de exposição
Ergonômico	Esforço físico intenso, exigência de postura e controle rígido de produtividade, repetitividade.	Cargas transportadas manualmente, postos de trabalho (qualitativamente).
Físico	Umidade	Umidade relativa do ar
Biológico	Vírus, Bactérias, fungos e outros.	Microrganismos que podem estar presentes nos RSU.
Acidente	Explosões, incêndios, esmagamentos etc.	Arranjo físico da UTC e procedimentos operacionais.

Fonte: Elaboração própria.

5.4 Parâmetros físicos das UTCs

5.4.1 Localização

É necessário que se observe o Plano Diretor Municipal vigente para que se escolha um terreno onde será implantada a UTC, além de fatores ambientais tais como distanciamento de recursos hídricos e vegetação nativa, a fim de mitigar impactos ambientais decorrentes de sua implantação, fatores sociais como bairros residenciais e fatores logísticos para redução de custos durante a sua operação.

Como são estações de recebimento e despacho periódico de materiais, por meio de veículos pesados tende-se a escolher uma área em que o acesso esteja adequado para o tráfego previsto, pois a definição de um terreno em local inapropriado poderá inviabilizar o funcionamento da UTC devido ao alto custo de implantação, manutenção e deslocamento.

Em Minas Gerais o Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, é um órgão colegiado, normativo, consultivo e deliberativo e, por meio da DN nº118/2008 ditava a localização das UTCs quando não eram exigidos sistemas adequados para coleta de efluentes, agora revogada pela DN nº 244/2022, que dispõe:

Art. 6º – Para implantação e operação de usinas de triagem e compostagem devem ser obedecidos os seguintes critérios:

I – área não sujeita a eventos de inundação;

II – Sistema de tratamento dos efluentes gerados nas unidades de apoio;

III – destinação ambientalmente adequada dos rejeitos;

IV – Impermeabilização do pátio de cura dos compostos orgânicos;

V – Implantação de sistema de drenagem de águas pluviais no pátio de cura dos compostos orgânicos;

VI – Implantação de sistema de tratamento de efluentes gerados no pátio de cura.

Azevedo (2004), avaliou o risco à saúde da população vizinha às áreas de disposição final de RSU, e constatou uma alteração da qualidade ambiental maior na área de exposição situada até 500 m do aterro, com um gradiente decrescente entre 500 a 1000 m, e acima de 1000 m. Assim, sugeriu adoção de critérios para o uso e ocupação do solo no entorno desse tipo de área utilizada para a disposição final de RSU.

Além dos riscos de proliferação de vetores biológicos quando mal geridas, estas Unidades são de caráter industrial, e produzem ruídos de maquinários e caminhões, poeira e odores que podem incomodar moradores muito próximos. Este descontentamento foi constatado por COIMBRA (2013) que avaliou as áreas no entorno de um lixão e de uma UTC, julgando ser suficiente um afastamento de 1000 m destas unidades para evitar riscos à saúde da população nestes locais. Reforça-se que na compostagem aeróbia, ocorre a geração de odores devido à emissão de compostos voláteis, principalmente no início do processo.

Apesar da revogação da DN nº118/2008 COPAM, recomenda-se respeitar o distanciamento mínimo de 500 metros de núcleos populacionais, a fim de mitigar impactos à vizinhança, e ter-se área para uma possível expansão, como recomendado também na NBR 13.896 (ABNT, 1997) para Aterros de resíduos não perigosos, assim sugerem-se restrições no uso e ocupação do solo para fins de parcelamentos residenciais em até 1000 m de distância da UTC.

5.4.2 Infraestrutura básica

Todo o perímetro da UTC deverá ser cercado, preferencialmente por tela de aço ou cerca complementada com cerca viva, para que impeça a entrada de animais pequenos e pessoas não autorizadas, e possuir portão com identificação do local e guarita (CONAMA, 2017; SEMA-PR, 2013). A placa de identificação deverá ter medidas mínimas que permita fácil visualização, assim recomenda-se 2,00 m de largura por 0,80 m de altura (MPSP, 2013)

A NR 24 estabelece as condições mínimas de higiene e conforto a serem observadas pelas organizações, devendo estas instalações serem dimensionadas com base no número de trabalhadores usuários no turno de maior contingente. Devido a ser uma atividade industrial e que expõe os trabalhadores a diversos riscos, é ideal que se tenha vestiário com chuveiros, armários para guarda de seus pertences e banheiros divididos por sexo conforme norma. Como se propõe que a instalação destas unidades seja afastada de núcleos populacionais também se recomenda a disponibilização de refeitório (BRASIL, 1978a; FEAM, 2019a; SEMA-PR, 2013). Tais instalações, conforme NR 24 item 24.2.23 devem:

- a) ser mantidas em condição de conservação, limpeza e higiene;
- b) ter piso e parede revestidos por material impermeável e lavável;
- c) peças sanitárias íntegras;
- d) possuir recipientes para descarte de papéis usados;
- e) ser ventiladas para o exterior ou com sistema de exaustão forçada;
- f) dispor de água canalizada e esgoto ligados à rede geral ou a outro sistema que não gere risco à saúde e que atenda à regulamentação local;
- g) comunicar-se com os locais de trabalho por meio de passagens com piso e cobertura, quando se situarem fora do corpo do estabelecimento.

Situações nas quais não foram observadas por diversos autores.

Vários projetos das UTCs existentes contemplaram a infraestrutura básica inserida no galpão de triagem. Tal situação não é recomendada, devido ao elevado grau de riscos que podem ser herdados devido à proximidade a linha de produção. Assim, recomenda-se que tal infraestrutura (banheiros, vestiários, refeitório) sejam módulos separados, com projeção para expansão conforme características e

particularidades do município, a um afastamento não superior a 50 m dos postos de trabalho para satisfazer a NR-24 (BRASIL, 1978c).

5.4.3 Área de recepção

Comumente no gerenciamento de RSU, na implantação da coleta seletiva, além de se separar os materiais de acordo com suas propriedades adota-se também a separação na fonte geradora em Secos e Molhados ou Secos e Úmidos, para distinguir previamente na fonte entre resíduos com alto percentual de matéria orgânica, e outros materiais recicláveis como metais, plásticos e papéis, a fim de preservar uma melhor qualidade destes materiais, uma vez que a presença de umidade excessiva prejudica as suas propriedades, tornando-os rejeitos, e também aumentar a eficiência da triagem, uma vez que facilita a separação na bancada.

Desta forma, além dos períodos chuvosos, em dias de Resíduo Úmido, estes carregam um elevado teor de água, e ao ser despejados na área de recepção, podem provocar uma contaminação do solo. Para evitar este tipo de impacto, impermeabiliza-se o piso deste setor, incluindo a drenagem para os efluentes provenientes tanto da descarga dos caminhões, quanto da limpeza desta área, com a devida destinação para um sistema de tratamento. Com a finalidade de proteger estes materiais e evitar paralisação durante as épocas chuvosas, é essencial a cobertura desta área, a qual deverá ser compatível com a altura do caminhão coletor, em virtude da descarga deste ou retrátil, com objetivo de permitir também a manobra do veículo.

Muitas UTCs de pequeno porte não adotaram fosso ou funil de descarga dos RSU para a triagem. Isto implica em menos eficiência na operação, com uma maior exigência de mão de obra pré-triagem, além de impor risco ergonômico desnecessário ao operador, que por sua vez tem que realizar movimentos repetitivos e esforço físico para despejar o material na bancada ou esteira de triagem, que com uma simples mudança de layout poderia ser evitada (Figura 5).

Figura 5 - Corte de uma área de recepção ideal.



Fonte: Elaboração própria.

5.4.4 Área de triagem

Bancada ou mesa estática

O dimensionamento da mesa, bancada ou esteira de triagem é em função da quantidade de trabalhadores simultâneos e quantidade de resíduos processada. Não se recomenda uma mesa muito extensa devido à diminuição da eficiência da triagem, os últimos separadores da linha de produção tornam-se pouco necessários, ainda mais em instalações estáticas, nas quais os materiais ainda não separados têm que ser arrastados pela linha de produção, além de ser necessária uma declividade nesta para a drenagem do chorume, sendo ideal 1 cm a cada 1 m (1%). Recomenda-se que cada triador tenha uma zona de 1,50 m para trabalho em relação ao distanciamento entre os trabalhadores lateralmente, e 0,60 m a 0,70 m em relação ao eixo da bancada de triagem, para que haja frente de trabalho dos dois lados da bancada (Figura 6), espaço atrás destes para armazenamento temporário do material triado, e também para transporte e movimentação. A altura da mesa ou bancada estática deverá ser entorno de 90 cm, por isso deve-se atentar também na escolha da inclinação e extensão desta, pois poderá promover alturas inadequadas à postura dos triadores (AZEVEDO, 2021).

Figura 6 - Espaçamento entre triadores em bancada estática de triagem.



Fonte: Elaboração própria.

Esteiras mecanizadas

Para esteiras de triagem, a velocidade recomendada é entre 6 e 12 m/min, variando de acordo com a quantidade de triadores, e produtividade destes. A largura média recomendada é de 1,20 m também, para se ter triadores dos dois lados, com espaço de trabalho de 1,50 m entre trabalhadores lado a lado e área de circulação para os materiais separados. A altura adequada é de aproximadamente 90 cm, para possibilitar aos funcionários uma mitigação do risco de postura inadequada. Para o fluxo de entrada de material previsto, dimensiona-se 600 kg/dia por triador (AZEVEDO, 2021).

5.4.5 Área de enfardamento

Ao dimensionar-se a mesa de triagem, o setor de enfardamento é projetado em função da quantidade separada de material e maquinário pretendido, estes, por já contarem com o material separado, apenas lhes restando o enfardamento dos recicláveis, possui capacidade produtividade maior, podendo realizar em média 1.000 kg/dia. O tamanho e peso dos fardos está sujeito à mecanização, a disponibilidade de mão de obra, e segurança ocupacional destes, conforme NR 17 (BRASIL, 1978b):

17.5 Levantamento, transporte e descarga individual de cargas

17.5.1 Não deverá ser exigido nem admitido o transporte manual de cargas por um trabalhador cujo peso seja suscetível de comprometer sua saúde ou sua segurança.

17.5.1.1 A carga suportada deve ser reduzida quando se tratar de trabalhadora mulher e de trabalhador menor nas atividades permitidas por lei.

17.5.2 No levantamento, manuseio e transporte individual e não eventual de cargas, devem ser observados os seguintes requisitos:

a) os locais para pega e depósito das cargas, a partir da avaliação ergonômica preliminar ou da AET, devem ser organizados de modo que as cargas, acessos, espaços para movimentação, alturas de pega e deposição não obriguem o trabalhador a efetuar flexões, extensões e rotações excessivas do tronco e outros posicionamentos e movimentações forçadas e nocivas dos segmentos corporais; e

b) cargas e equipamentos devem ser posicionados o mais próximo possível do trabalhador, resguardando espaços suficientes para os pés, de maneira a facilitar o alcance, não atrapalhar os movimentos ou ocasionar outros riscos.

17.5.2.1 É vedado o levantamento não eventual de cargas que possa comprometer a segurança e a saúde do trabalhador quando a distância de alcance horizontal da pega for superior a 60 cm (sessenta centímetros) em relação ao corpo.

Em termos de valores, o Art. 198 do Decreto-Lei nº 5.452 (BRASIL, 1943), alterado pela Lei nº 6.514/1977, traz a quantificação de 60 kg como peso máximo que um empregado pode remover individualmente. Assim para a segurança ocupacional destes enfiadores, recomenda-se o peso máximo de 50 kg, tendo-se uma margem segura, para unidades que não contarem com equipamentos de transporte e empilhamento dos materiais. Existem no mercado prensas hidráulicas com capacidade de produção de fardos de 600 kg, contudo impõe a necessidade de mecanização no transporte para armazenamento e expedição dos materiais. Na Figura 7 é apresentado o modelo mais comum de prensa hidráulica encontrada nas UTCs.

Figura 7 - Prensa hidráulica para materiais recicláveis



Fonte: <<https://www.fabricadoprojeto.com.br/2013/10/projeto-solicitado-30-de-outubro-de-2013-prensa-enfardadeira-para-reciclavel/>> Acesso 4 de novembro de 2022.

5.4.6 Pátio de compostagem

Por meio da gravimetria dos RSU do município se obtém uma estimativa de quanto de material orgânico pode ser separado. Assim, para o método de compostagem de leiras ao ar livre, dimensiona-se em função do fluxo de resíduo recebido e período pretendido de compostagem e maturação, comumente adotado na faixa de 100 a 120 dias. Com a finalidade de manter melhor aeração dos resíduos, as leiras montadas com a fração orgânica do RSU deverão adotar seção reta triangular, para reviramento manual, de dimensões de 1,6 m de altura por 3,0 m de largura, ou trapezoidal, mais indicado para reviramento mecanizado, com dimensões conforme o equipamento utilizado (Figura 8), sendo as melhores entre 1,6 m de altura, e 3,0 m a 4,0 m de largura da base, com comprimento conforme volume diário de recebimento de resíduos orgânicos. Ela não deverá ser muito alta, pois o próprio peso dos resíduos causará maior compactação, podendo comprometer a aeração dos resíduos da base. Durante o monitoramento periódico, sua umidade deverá ser corrigida para valores em torno de 55% (teor ótimo de projeto), evitando-se os valores extremos inferiores a 40% e superiores a 60% (AZEVEDO, 2021).

Figura 8 - Modelo de revirador de leira encontrado no mercado nacional.



Fonte: Ecoagrícola (2022)⁵.

Para o pátio de compostagem, adotou-se reviramento manual para as UTCs de pequeno e médio porte, e para a unidade de grande porte, dimensionou-se para reviramento através de um revirador mecânico, escolhido através de pesquisa dos disponíveis e utilizados na indústria nacional. Os modelos são apresentados no Quadro 9. Estes modelos necessitam de um trator 4x4 para tracioná-lo, de potência sugerida entre 80 e 120 cv, segundo os fabricantes

Quadro 9 - Reviradores de leiras de compostagem encontrados na indústria nacional.

Empresa	Modelo	Potência do trator recomendada (cv)	Dimensões da Leira		Rendimento (m³/hora)	Velocidade máxima de trabalho (m/h)
			Largura (mm)	Altura (mm)		
CIVEMASA	CRO 4.0	80 a 120	4000	1500	690	200 a 320
Ecoagrícola	RENOVA 4.0	90 a 120	4000	1500	690	200 a 250
Grupo Allmac	JC4000	90	4000	1500	690	200 a 250

Fonte: Mesclagem de Grupoallmac⁴, Ecoagrícola⁵, Civemasa⁶ (2022)

⁴ Compostador JC 4000. Disponível em: <<https://www.grupoallmac.com/produtos/%20compostador-jc-4000/>>. Acesso em 15 de novembro de 2022.

⁵ Compostador Renova 4.0. Disponível em: <https://www.eagricola.com.br/implementos/compostadores/renova_40/renova_40.php>. Acesso em 15 de novembro de 2022

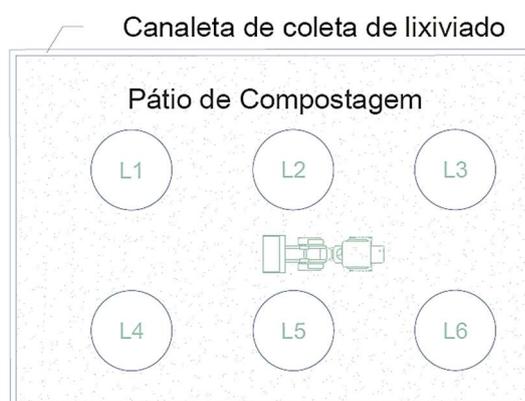
⁶ Compostador CRO 4.0. Disponível em: <<http://catalogo.civemasa.com.br/CatCiv.dll/ListaProdutos?GrupoSubGrupo=450654>>. Acesso em 15 de novembro de 2022.

Durante os primeiros 30 dias após a montagem da leira, recomenda-se o ciclo de reviramento a cada 3 dias, seguindo-se de um novo ciclo de reviramento a cada 6 dias até que se registrem temperaturas máximas inferiores a 40° C, a qual representa o fim da primeira fase do processo (média de 60 a 70 dias), após a qual o material é posto para maturar, durante 30 dias, em média. O processo de reviramento da leira consiste em remover-se a camada superficial (primeiros 20 cm), a qual apresenta uma temperatura próxima a ambiente, e monta-se novamente a leira com esta camada superficial agora compondo o núcleo, e o núcleo antigo que estava sujeito a temperatura mais altas passa a compor a nova camada superficial. Este método, permite o controle de proliferação de moscas, além de melhorar a eficiência do processo em relação à eliminação de patógenos, quando comparado ao processo tradicional (AZEVEDO, 2021).

A compostagem devidamente controlada não propicia a formação de chorume e odores. Apesar de nem sempre diferenciado, na compostagem há geração de líquido de duas origens, um sendo resultado de subprodutos líquidos de resíduos sólidos orgânicos, mais comumente chamado de chorume e o outro lixiviado, proveniente umectação das leiras (LIMA JUNIOR *et al.*, 2017; NOVAIS, 2011).

Com base nas informações obtidas, recomenda-se a construção de um pátio com o dobro da área de obtida para montagem das leiras, para haver espaço para movimentação e seja possível revira-las mais facilmente (Figura 9), em piso impermeável, com sistema de coleta de lixiviados, este podendo ser recirculado na umectação das leiras ou descartados, caso apresentem DBO de até 60 mg/L (LIMA JUNIOR *et al.*, 2017).

Figura 9 - Pátio de compostagem em planta.



Fonte: Elaboração própria

5.4.7 Área de estocagem

Em função do fluxo de resíduos recebidos e periodicidade de comercialização pretendida, dimensiona-se as baias de estocagem. Em muitos municípios observa-se espaço insuficiente para estocagem, pois devido ao baixo fluxo de resíduos, muitos compradores optam por maiores quantidades para maior economia no transporte destes materiais, assim, a UTC começa a estocar de forma inadequada, por não ter sido projetada para a quantidade de armazenamento equivalente à compra mínima das empresas de recicláveis, e também por falta de equipamentos de transporte horizontal e vertical. Esta área deve ser coberta e com a devida drenagem para limpeza periódica, a fim de realizar-se a higienização da área, pois por muitas vezes os resíduos recicláveis podem estar com acúmulo de líquidos ou terem entrado em contato com outros resíduos contaminados, possuindo assim riscos também de contaminação biológica.

O dimensionamento desta área, quanto à disposição vertical e horizontal dos materiais deve ser planejada em conjunto com o setor de enfardamento, aliado as tecnologias que serão disponibilizadas para o transporte das cargas. Comumente, em municípios de pequeno porte, são projetadas para a movimentação dos fardos apenas com a força humana. Assim, não se recomenda a estocagem de fardos com peso superiores a 50 kg. Durante o empilhamento, estes fardos não devem apresentar instabilidades, pois ficarão sujeitos ao risco de acidentes. Para pilhas montadas sem equipamentos de deslocamento vertical adequado, recomenda-se somente a altura de 2 fardos, para plantas que optem por empilhadeiras ou outros maquinários, esta altura deverá ser definida com base também na capacidade de carga do piso.

5.4.8 Área de destinação de rejeitos

Em função ainda da gravimetria e fluxo recebido e expedido, dimensiona-se a área de transbordo de rejeitos. Por muito tempo adotou-se no Brasil as valas de rejeitos dentro da própria UTC, contudo sem a devida impermeabilização e drenagem dos efluentes, vinha a gerar impactos ambientais significativos. Esta área deverá ser coberta e impermeabilizada, pois além de evitar o excesso de peso nas caçambas, evita o transbordamento e contaminação por vazamento dos efluentes, que poderão

apresentar alta carga biológica e viral, além de metais pesados ou outras substâncias desconhecidas e descartadas pelos triadores.

5.5 Parâmetros operacionais com foco na saúde ambiental e ocupacional

5.5.1 Proteção a riscos físicos

Ruídos

As principais fontes de ruídos são de máquinas ou equipamentos em funcionamento. No caso de UTCs, as principais fontes de ruído estão relacionadas a equipamentos de movimentação e processamento dos materiais, conforme Quadro 10 (SHETTINI, 2014).

Quadro 10 - Principais fontes geradoras de ruído em UTCs e seus locais.

Local	Principais Fontes	Tipo de Ruído
Área de Recepção	Veículo coletor	Intermitente, Impacto ou Impulsivo (durante descarga do material)
Área de Triagem	Esteira de triagem	Contínuo ou intermitente
Área de Enfardamento	Prensa hidráulica	Intermitente
Pátio de Compostagem	Triturador	Intermitente
Área de Estocagem	Empilhadeira	Contínuo ou intermitente

Fonte: Elaboração própria.

Pomkerner (2014), Rennó (2010) e Shettini (2014) avaliaram quantitativamente a exposição ao ruído de operadores de UTCs do Paraná e de Minas Gerais. Perceberam níveis próximos a 85 dB(A) na esteira, prensa e triturador, porém não superiores, classificando como salubre quanto a ruído, contudo, não descartam a necessidade de proteção quanto a ruído, uma vez que os valores se encontram próximos aos de risco. Medidas protetivas como afastamento dos motores elétricos da esteira, com a criação de zonas de exclusão podem ser adotadas ou enclausuramento dos motores, a fim de minimizar a dose de exposição ao ruído. A manutenção preventiva e constante desses equipamentos, com a devida lubrificação, também colabora para a diminuição de ruídos decorrentes de seu funcionamento.

Radiações não ionizantes

Não há medida quantitativa para os limites de exposição a radiações não-ionizantes na NR-15, apenas considera que a exposição à radiação não-ionizante, sem a proteção adequada, é considerada insalubre. Desta forma, os operadores da Área de Recepção, Pátio de Compostagem ou outros expostos à radiação não ionizante, deverão utilizar a proteção adequada, tais como protetores solares, touca árabe, óculos de proteção contra raios UV, e sempre que possível, realizar as atividades fora do horário de picos de incidência solar.

Vibrações, radiações ionizantes, frio, calor, pressões anormais e umidade

Não se encontrou na literatura registro quantitativos desses riscos físicos em UTCs, uma vez que não são relacionados a atividade em questão. Apesar de alguns serem mencionados a possibilidade de ocorrência, estes só ocorrem devido a erros de projeto do galpão, como a falta de análise do Índice de Ventilação Natural (IVN), que devido a não se planejar o pé direito da estrutura e as aberturas (como portas, janelas, lanternim ou exaustores), em locais mais quentes, tem-se um acúmulo de calor no galpão, que prejudicam a saúde do trabalhador durante a sua atividade. A ventilação natural regula o clima interno de um ambiente, por meio de uma troca de ar controlada pelas aberturas. (MAZON; SILVA; SOUZA, 2006).

5.5.2 Proteção a riscos químicos

Poeiras, gases, substâncias, compostos, produtos químicos

Durante a manobra dos veículos coletores na área de recepção, se o entorno da área, ou via de acesso forem em revestimento primário, haverá bastante geração de poeira. Assim, recomenda-se que rotineiramente as áreas no entorno sejam molhadas, a fim de diminuir essa geração. No decorrer do basculamento do material, este também pode estar gerando bastante poeira ou liberando gases, substâncias, compostos químicos que, se inalados, podem ser prejudiciais à saúde. Como medida

protetiva, é ideal que os operadores envolvidos estejam usando máscaras de proteção.

Na área de triagem, tais riscos são gerados através da abertura dos sacos e/ou contato direto com os resíduos. Podendo haver presença de poeira, metais pesados, produtos químicos devido à destinação incorreta da fonte geradora.

Durante o monitoramento das leiras de compostagem, ao revirá-las ou durante ventanias, caso o material esteja fora dos padrões de umidade, há possibilidade de geração de poeira, que é prejudicial à saúde do trabalhador. Neste setor, é bem remota a probabilidade de contaminação por produto químico neste setor, uma vez que só deve ser encaminhado para o pátio de compostagem os produtos orgânicos.

Os rejeitos, por também serem encaminhados materiais desconhecidos pelos triadores para este setor, poderão conter produtos químicos que liberam gases ou líquidos no momento que o responsável por o destinar a caçamba transporta-lo, além da possibilidade de geração de poeira ao descarrega-lo.

Para a mitigação da exposição aos riscos químicos (Quadro 11) é essencial que os operadores da UTC estejam fazendo uso de luvas e máscaras adequadas para a manipulação dos RSU, além da realização da operação adequada, como a triagem correta dos materiais, e monitoramento constante das leiras.

Quadro 11 - Principais fontes geradoras de riscos químicos em UTCs e seus locais.

Local	Principais Fontes	Descrição do risco químico
Área de Recepção	Veículo Coletor (durante manobra e descarga)	Poeira devido a pavimentação em revestimento primário, ou gases de produtos químicos descartados incorretamente
Área de Triagem	Resíduos Sólidos Urbanos	Poeira junto com o material ou produtos químicos na fase líquida ou gasosa, descartados incorretamente
Pátio de Compostagem	Composto com má separação e monitoramento inadequado	Poeira durante o monitoramento do material
Área de Destinação de Rejeitos	Rejeito perigoso ou poeira durante o descarte	Poeira ou gases durante o descarte

Fonte: Elaboração própria.

5.5.3 Proteção a riscos biológicos

Vírus, bactérias, protozoários, fungos, parasitas e bacilos

Rennó (2010) e Shettini (2014), identificaram agentes nocivos à saúde ocupacional como vírus, bactérias, parasitas e fungos, principalmente porque em sua maioria, os trabalhadores, não utilizavam corretamente os EPI's para prevenir desses possíveis riscos, tais como luvas e máscaras, sendo que a atividade é classificada pela NR-15 como insalubre de grau máximo devido o contato dos trabalhadores com agentes biológicos presentes nos resíduos.

Santos (2017a) observou que as UTCs mineiras realizaram poucas análises dos compostos maturados, assim, frente aos resultados obtidos dos poucos laudos, estes, considerados inconsistentes pela autora, concluiu-se que os compostos atenderam à maioria dos limites estabelecidos quanto a metais pesados. Contudo, com relação aos coliformes termotolerantes observaram-se amostras muito acima do limite estabelecido pela IN n°27/2006 (Brasil, 2006), sendo recomendada uma investigação mais rigorosa sobre a qualidade destes compostos.

Como aprendizado da pandemia, que teve as medidas de prevenção, com a correta higienização amplamente divulgadas⁷, fica-se a preocupação com a inalação de vírus, tomando-se cuidado a partir do uso de máscaras adequadas e manuseio destas, uso de luvas para evitar contato direto com material contaminado e a correta higienização do corpo, principalmente das mãos após contato com material contaminado, com a lavagem com sabão em água corrente ou uso de álcool em gel.

Assim, sempre que próximo aos materiais, mesmo que enfiados, recomenda-se o uso de luvas e máscaras para prevenir a inalação ou contato de vírus, ou bactérias. Elencou-se no Quadro 12 as principais fontes de contaminação de riscos biológicos nas UTCs por localidade.

⁷ Como se proteger? Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/coronavirus/como-se-proteger>> Acesso maio de 2022.

Quadro 12 Principais fontes geradoras de riscos biológicos em UTCs e seus locais

Local	Principais Fontes	Descrição do risco biológico
Área de Recepção	Resíduos Sólidos Urbanos	Resíduo contaminado, risco de inalação ou contato físico
Área de Triagem	Resíduos Sólidos Urbanos	Resíduo contaminado, risco de inalação ou contato físico
Área de Enfardamento	Resíduos Sólidos Urbanos	Resíduo contaminado, risco de inalação ou contato físico
Área de Estocagem	Resíduos Sólidos Urbanos	Resíduo contaminado, risco de inalação ou contato físico
Pátio de Compostagem	Composto com má separação e monitoramento inadequado	Resíduo contaminado, risco de inalação ou contato físico
Área de Destinação de Rejeitos	Rejeito perigoso	Resíduo contaminado, risco de inalação ou contato físico

Fonte: Elaboração própria.

5.5.4 Proteção a riscos ergonômicos

Não tão somente pelo projeto inadequado, falta de investimentos ou manutenção nos equipamentos, os riscos ergonômicos também partem da falta de fiscalização adequadas das UTCs. Observa-se que em algumas Unidades, os trabalhadores optam por sua própria forma de trabalho, como fazer a triagem em local fora da bancada por julgarem ser mais fácil. Contudo, devido à posição e esforço de levantar-se constantemente, torna a atividade mais propensa a fadiga, com momentos repetitivos e excessivos, impondo-se um risco ergonômico desnecessário. Como na Figura 10, na qual a UTC era dotada de fosso/rampa de recepção, bancada de triagem em material impermeável, contudo os triadores preferiam fazer a triagem do lado de fora do galpão, por julgarem ser melhor devido à iluminação e ventilação, porém prejudicial em termos ergonômicos.

Figura 10 - Triagem em pátio de recepção com postura inadequada



Fonte: Fotografia do autor em visita técnica à UTC.

5.5.5 Proteção a riscos de acidentes

Arranjo físico, máquinas, equipamentos, ferramentas, iluminação, armazenamento outras situações inadequadas

Tanto como um erro de projeto, pode vir a ser um erro de gestão e gerenciamento, os riscos de acidentes estão presentes nas diversas formas, desde um projeto de arranjo inadequado, tais como espaços de movimentação insuficientes ou escadas ou obstáculos em locais de passagem, ou como, também armazenagem inadequada dos materiais, com empilhamentos excessivos, falta de manutenção de equipamentos, máquinas e ferramentas, ou até mesmo iluminação inadequada. Estes riscos estão ligados diretamente ao responsável pelo empreendimento em questão, que por descaso, falta de planejamento ou apoio financeiro deixa de realizar medidas preventivas, como o conserto e manutenção dos equipamentos, impondo riscos aos trabalhadores do local (Quadro 13).

Quadro 13 - Principais agentes geradores de riscos de acidentes em UTCs.

RISCOS DE ACIDENTES	
AGENTES	RISCO À SAUDE
Arranjo físico	Quando inadequado ou deficiente, pode causar acidentes e desgaste físico excessivo nos servidores
Máquinas sem proteção	Podem provocar acidentes graves
Instalações elétricas deficientes	Trazem risco de curto-circuito, choque elétrico, incêndio, queimaduras, acidentes fatais.
Ferramentas defeituosas ou inadequadas	Acidentes diversos
Ausência de EPI ou inadequado ao risco	Acidentes, doenças laborais
Transporte de materiais sem precauções adequadas	Acidentes diversos
Estocagem e transporte de materiais	Obstrução de áreas traz riscos de acidentes, quedas, incêndio, explosão etc.
Falta de PSCIP	Quando deficiente ou insuficiente, traz riscos efetivos de incêndio

Fonte: Modificado de (SOUSA, 2014).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Empreendimentos de tratamento da área de estudo (Cimvalpi)

Durante a elaboração do Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PIGIRS) dos municípios consorciados, o Cimvalpi (2020), elencou as suas Unidades de Triagem e/ou Compostagem ativadas e desativadas (Quadro 14 e Figura 11), totalizando 16 em funcionamento em 2020, contudo algumas não constavam nos registros da FEAM e DIRAP, como a Unidade de Triagem de Viçosa, apesar de estar ativa desde 2002⁸

Quadro 14 - Tipos de tratamento de RSU adotado pelos municípios consorciados ao Cimvalpi.

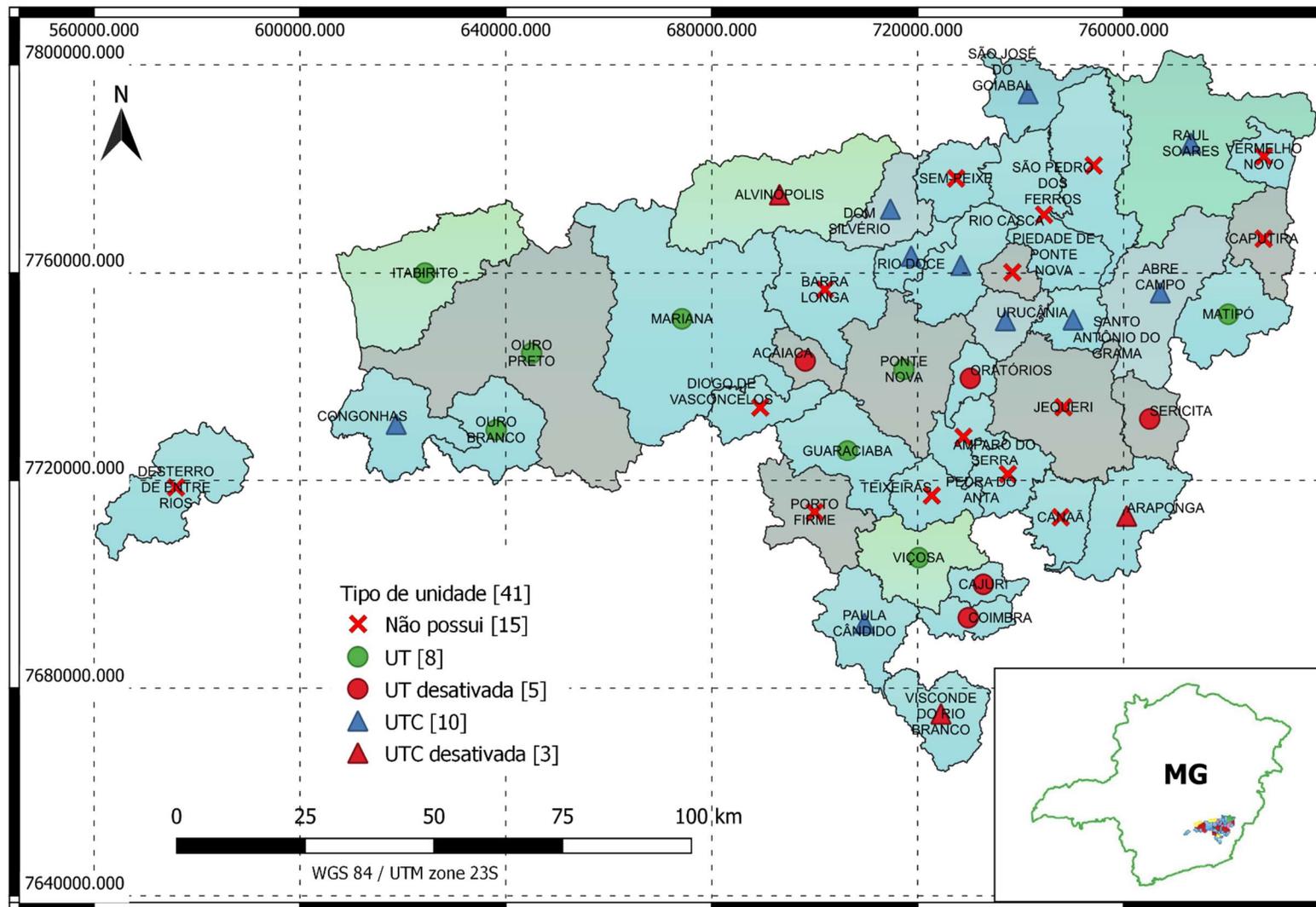
TIPO DE UNIDADE	QTDE	MUNICÍPIO
UTC	09	Abre Campo, Dom Silvério, Paula Cândido, Raul Soares, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado, Santo Antônio do Gramma, São José do Goiabal, Urucânia.
UTC desativada	03	Alvinópolis, Araponga, Visconde do Rio Branco.
UT	07	Guaraciaba, Mariana, Matipó, Itabirito, Ponte Nova, Ouro Preto, Viçosa
UT desativada	05	Acaiaca, Cajuri, Coimbra, Oratórios, Sericita.
Não possui	15	Amparo do Serra, Barra Longa, Canaã, Caputira, Desterro de Entre Rios, Diogo de Vasconcelos, Jequeri, Pedra do Anta, Piedade de Ponte Nova, Porto Firme, Rio Casca, Sem Peixe, Vermelho Novo, São Pedro dos Ferros, Teixeiras

Fonte: Modificado do PGIRGS (CIMVALPI, 2020).

Os motivos, em geral, para a desativação das UTCs têm sido atribuídos a inviabilidade técnica, econômica e gerencial. Prado Filho e Sobreira (2007, *apud* SANTOS, 2017a), destacam como as UTCs mineiras eram rudimentares sob o ponto de vista de tecnológico, e Santos (2017a) expõe que os poucos empreendimentos que ainda restaram das décadas anteriores, encontram-se em estado precário por terem sido mal administradas. Cimvalpi (2020), traz em seu diagnóstico que a maioria dos municípios consorciados apresentaram dificuldades logísticas e organizacionais no que tange a gestão e gerenciamento adequado dos RSU.

⁸ Associação dos Trabalhadores da Usina de Triagem e Reciclagem de Viçosa. Acesso 05 de jan/22. Disponível em: <https://www.projetointeracao.ufv.br/?page_id=720>

Figura 11 - Unidades de Triagem e Compostagem dos municípios integrantes do Cimvalpi.



Fonte: Elaboração própria.

Em análise aos dados obtidos através do diagnóstico do Cimvalpi (2020), o qual levantou os quantitativos de resíduos gerados, processados, reciclados e compostados nos municípios integrantes, que possuem Unidade de Tratamento, obteve-se que do total coletado, 22,50% são encaminhados para unidades de tratamento (UT ou UTC), que com uma eficiência média de 26,5% de recuperação (Peso de recicláveis/Peso processado), geram 5,96% de recicláveis (relação ao total coletado) e a produção de apenas 0,29% de composto orgânico. Ao considerar os municípios que não possuem unidades de tratamento, o percentual reintegrado diminui consideravelmente.

De acordo com o estudo gravimétrico realizado pelo Cimvalpi (2020), o percentual de rejeitos estimado nos municípios integrantes do consórcio é de 23,62%. Possibilitando uma grande redução no volume de resíduos dispostos em aterros sanitários, caso o RSU coletado passe por processos de tratamento adequado, especialmente por processos de aproveitamento da matéria orgânica, pois representa 47,08% do total coletado (Tabela 7).

Tabela 7 - Média gravimétrica resumida calculada para o território do Cimvalpi.

Composição de materiais resumida – Média	
Material	Representatividade amostral (%)
Reciclável	29,30%
Orgânico	47,08%
Rejeito	23,62%

Fonte: Adaptado de Cimvalpi (2020).

Ainda pelo diagnóstico do Cimvalpi (2020), relatou-se o recebimento de resíduos provenientes da coleta convencional (indiscriminada) nas Unidades. O que é desfavorável à para a eficiência do tratamento. Apenas 4 dos 16 empreendimentos analisados obtiveram índice de eficiência superior a 70%, com todos os demais apresentando índice inferior a 40%, conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Dados dos municípios que possuem UT ou UTC ativas.

Município	Pop (hab)	Taxa de coleta (%)	Peso resíduo coletado no município (t/mês)	Peso de resíduo processado (t/mês)	Peso de recicláveis em média (t/mês)	Peso de composto produzido (t/mês)	Índice de eficiência das UTCs (%)	Índice de reciclagem Municipal (%)	Observação
Abre Campo	13.454	86%	149,88	149,88	58,3	0,1	39,0%	38,9%	Há coleta seletiva. Porém a UTC recebe os materiais vindos da coleta convencional
Dom Silvério	5.237	78%	91,25	91,3	22,0	NA	24,1%	24,1%	Há coleta seletiva. Porém a UTC recebe os materiais vindos da coleta convencional de RSD.
Guaraciaba	10.324	86%	33,02	33,02	2,9	NA	8,7%	8,7%	Não há coleta seletiva. A UT recebe os materiais vindos da coleta convencional de RSD.
Itabirito	51.875	100%	1.781,91	140,2	103,0	NA	73,5%	5,8%	A UT recebe os materiais vindos da coleta seletiva
Mariana	60.724	98%	1.163,82	183,0	70,0	NA	38,3%	6,0%	A UT recebe os materiais vindos da coleta seletiva
Matipó	18.908	100%	515,67	20,8	18,3	NA	88,0%	3,5%	A UT recebe resíduos da coleta seletiva
Ouro Preto	74.281	98%	1,600	NI	NI	NI	NI	NI	A UT recebe os materiais vindos da coleta seletiva
Paula Cândido	9.571	100%	151,67	151,7	13,6	0,035	9,0%	9,0%	Não há coleta seletiva. Os resíduos entram sem separação na UTC.
Ponte Nova	59.742	98%	1.247,08	15,0	13,5	NA	90,0%	1,1%	A UT recebe os materiais vindos da coleta seletiva (sendo essa coleta focada em empresas)

Município	Pop (hab)	Taxa de coleta (%)	Peso resíduo coletado no município (t/mês)	Peso de resíduo processado (t/mês)	Peso de recicláveis em média (t/mês)	Peso de composto produzido (t/mês)	Índice de eficiência das UTCs (%)	Índice de reciclagem Municipal (%)	Observação
Raul Soares	23.762	76%	485,3	485,3	27,0	0,5	5,6%	5,6%	Não há coleta seletiva. A UTC recebe os materiais vindos da coleta convencional de RSD.
Rio Doce	2.610	98%	30,05	30,1	4,5	0,34	15,0%	15,0%	Não há coleta seletiva. Os resíduos entram sem separação na UTC.
Santa Cruz do Escalvado	4.758	87%	24,86	24,9	3,1	0,06	12,6%	12,6%	Não há coleta seletiva. Os resíduos entram sem separação na UTC.
Santo Antônio do Grama	3.911	88%	53,62	53,62	9,88	1,825	21,8%	21,8%	Não há coleta seletiva. Os resíduos entram sem separação na UTC.
São José do Goiabal	5.420	83%	61,18	61,2	14,3	19,06	23,4%	23,4%	Não há coleta seletiva. Os resíduos entram sem separação na UTC.
Urucânia	10.358	100%	152,00	152,0	8,5	NA	5,6%	5,6%	Não há coleta seletiva. A UTC recebe os materiais vindos da coleta convencional de RSD.
Viçosa	78.846	99%	1.672,92	121,7	85,2	NA	70,0%	5,1%	A UT recebe os materiais vindos da coleta seletiva e coleta convencional de RSD.
Total	433.781	15	7.616	1.714	454	22	26,5%	5,96%	
NI: Não informado pelo município									
Não se aplica									

Fonte: Adaptado de Cimvalpi (2020)

6.2 Parâmetros mínimos obtidos recomendados

Investigaram-se os parâmetros mínimos que afetam diretamente a adequabilidade e operação eficiente de uma UTC, descritos no Quadro 15. A não adoção destes pode levar a inoperabilidade devido a dificuldades de atendimento as exigências dos órgãos ambientais, quanto ao licenciamento, eficiência operacional e a exposição a riscos aos operadores da UTC ou população próxima.

Quadro 15 - Resumo dos parâmetros mínimos obtidos recomendados

PARÂMETROS FÍSICOS DAS UTCs	
1. LOCALIZAÇÃO DA UTC	
1.1 Zoneamento: Preferencialmente em zonas industriais	1.4 Área total: mínimo de 6.000 m ² - UTC compacta (SEMA-PR, 2013).
1.2 Distanciamento de núcleos populacionais: >500 metros	1.5 Distanciamento de Cursos d'água: não estar em áreas sujeitas a inundações, ter sistemas de drenagem e tratamento de efluentes adequados
1.3 Distanciamento do aterro sanitário: O mais próximo possível, e menor que 20km	1.6 Distanciamento APP: não estar inserida.
2. INFRAESTRUTURA BÁSICA	
2.1 Acesso	
2.1.1 Placa de identificação: mínimo de 2,00 m de largura x 0,80 m de altura (MPSP, 2013)	
2.1.2 Portão de acordo com o veículo maior utilizado na coleta (recomenda-se o mínimo de 3,00 m largura x 3,50 m altura)	
2.1.3 Cerca: Alambrado de malha de aço ou cerca viva que impeça a entrada de animais pequenos a grande porte	
2.1.4 Pavimentação: cascalho, concreto, bloquetes ou asfalto. Recomenda-se no mínimo bloquetes para se ter menos problemas de erosões, atolamentos, entre outras inconveniências devido a pavimentação precária	
2.2 Unidade de apoio	
2.2.1 Escritório com computador para organização e planejamento da UTC.	
2.2.2 Refeitório com bebedouro, fogão, pia e mesa com cadeiras de acordo com o número de funcionários.	
2.2.3 Banheiros masculinos: <ul style="list-style-type: none"> • 1 mictório para cada 20 trabalhadores ou fração, até 100 trabalhadores, 1 mictório para cada 50 trabalhadores ou fração, no que exceder; 	
2.2.4 Banheiros em geral:	

- 1 instalação sanitária para cada grupo de 20 trabalhadores ou fração, separadas por sexo;
- 1 lavatório para cada 10 trabalhadores;

2.2.5 Vestiários divididos por sexo.

- Mínimo de 2 chuveiros e 2 vasos sanitários (1 masculino, 1 feminino), de acordo com a NR vigente, sendo dimensionado para a quantidade de funcionários por turno. Contendo armários com cadeados para guarda dos pertences dos funcionários.

2.2.6 Reservatório de água potável dimensionados para 3 dias de operação em caso de falta d'água.

2.2.7 Sistema de tratamento dos efluentes gerados pelas instalações sanitárias

3. ÁREA DE RECEPÇÃO

3.1 Dimensão mínima de 3,00 m de largura para permitir entrada de caminhão, altura a depender do veículo coletor. Mínimo de 5,40 m para caminhões basculantes.

3.2 Telhas de fibrocimento ou de trapezoidais de aço galvanizado para redução de custos e facilidade de implantação. Com devido sistema de calhas pluviais que encaminham para sistema de drenagem da UTC

3.3 Piso de concreto armado impermeabilizado, com proteção mecânica para evitar infiltração de chorume no solo. Com sistema de ralos para coleta dos efluentes com encaminhamento para sistema de tratamento e disposição final adequada.

3.4 Funil metálico com pintura anticorrosão ou em rampa de concreto armado impermeabilizada, com proteção mecânica, direcionada para a mesa/bancada/esteira de triagem.

4. ÁREA DE TRIAGEM

4.1 Bancada de triagem em concreto armado, com inclinação recomendada de 1%, altura média de 90 cm; comprimento máximo de 15 metros, largura de 60cm a 70 cm para triagem somente de um lado ou 120cm a 140 cm para triagem dos dois lados; Ou esteira mecanizada com velocidade ajustável (6min/m a 12 min/m), altura média de 90 cm e largura de 120 cm para triagem dos dois lados.

Recomenda-se dimensionar para o fluxo de 600 kg/dia/triador (mesa) ou 800 kg/dia/triador (esteira).

4.2 Pé direito duplo para melhor conforto térmico dos trabalhadores, com iluminação e ventilação apropriada. Recomenda-se a instalação de exaustores do tipo lanternim ou venezianas a depender da arquitetura da cobertura, a fim de melhoria da ventilação e iluminação natural. Possuir calhas coletoras de águas pluviais para possível reaproveitamento como lavagem, descarga ou irrigação das leiras de compostagem e paisagismo.

4.3 Piso industrial em placas de concreto ou outro material adequado de fácil limpeza com devidos sistema de coleta dos efluentes advindos da lavagem do espaço de triagem ou do próprio processo

5. ÁREA DE ENFARDAMENTO

5.1 Prensa hidráulica mecanizada para enfardamento de 20kg a 50kg em quantidade adequada a suprir a demanda obtida na triagem. Mínimo de 2 (Reserva/Rodízio).

5.2 Empilhadeira manual ou mecânica. Mínimo de 1.

5.3 Balança para pesagem dos fardos

6. PÁTIO DE COMPOSTAGEM
6.1 Pátio de compostagem em piso de placas de concreto, com sistema de coleta de lixiviados, com encaminhamento para recirculação ou descarte (necessário atender aos padrões de lançamento da CONAMA n° 357/2005), com elevação e sistema de drenagem de águas pluviais externos que impeçam que as águas do terreno em dias chuvosos invadam o pátio.
6.2 Triturador e peneira para se obter um composto de melhor qualidade
6.3 Carrinho de mão, termômetro, mangueira, pá e enxada para controle e monitoramento do composto.
7. ÁREA DE ESTOCAGEM/ARMAZENAMENTO
7.1 Mínimo de 5 baias (Vidros, Metais, Plásticos, papéis e eletrônicos) para o armazenamento da triagem mínima. Recomenda-se que o espaço seja dimensionado levantando os seguintes fatores: a composição gravimétrica x quantidade recebida por dia x periodicidade da comercialização x empilhamento dos fardos
8. ÁREA DE DESTINAÇÃO DOS REJEITOS
8.1 Caçamba de coleta de rejeitos sobre piso de concreto, com sistema de coleta de efluentes e cobertura metálica com calhas para coleta de águas pluviais

Fonte: Elaboração própria.

6.3 *Layout* básico com base nos parâmetros obtidos

Para o dimensionamento da UTC padrão, determinou-se 3 faixas populacionais, e estimaram-se os balanços de massas através da composição gravimétrica média obtida através do Cimvalpi (2020). Os resultados são apresentados na Tabela 9. Foram propostas 3 capacidades nominais de processamento de acordo com a faixa populacional (Tabela 10).

Tabela 9 - Dimensionamento da UTC padrão para os municípios integrantes do Cimvalpi.

Faixa populacional	Geração per capita média (kg/hab.dia)	Geração total (kg/dia)	Produção de recicláveis (kg/dia)	Produção composto (kg/dia)	Rejeitos encaminhados para disposição final (kg/dia)
< 10.000 hab	0,473,	4.728,82	1.385,54	1.001,85	1.116,95
Entre 10.000 hab a 50.000 hab	0,475	14.248,80	4.174,90	3.018,75	3.365,57
> 50.000 hab	0,811	48.659,12	14.257,12	10.308,92	11.493,28

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 10 - Capacidade nominal das UTCs padrões por porte do município

Faixa populacional	Porte	Processamento	Quantidade de Municípios Cimvalpi (unid.)
< 10.000 hab	Pequena	5,0 t/dia	23
Entre 10.000 hab a 50.000 hab	Média	15,0 t/dia	12
> 50.000 hab	Grande	50,0 t/dia	6

Fonte: Elaboração própria

Seguindo o método de dimensionamento de BRASIL (2010) e Azevedo (2021) para o pátio de compostagem, obteve-se a área necessária para tratamento dos orgânicos para cada porte de UTC, resumidos na Tabela 11. Este método, a partir da definição das dimensões das leiras, estima a área necessária com base no fluxo de recebimento de resíduos orgânicos, área para reviramento, e coeficiente de segurança, conforme memorial (Apêndice A).

Tabela 11 – Capacidade de processamento, dimensão do pátio de compostagem e composto gerado por porte da UTC.

Porte da UTC	Matéria Orgânica Processada (t/dia)	Área total do pátio de compostagem	Composto Gerado (t/mês)*
Pequena 5 t/dia	2,23	1.829,44 m ²	30,06
Média 15 t/dia	6,71	3.787,55 m ²	95,34
Grande 50 t/dia	22,91	8.565,01 m ²	317,79

*Apesar do composto ser representado em tonelada/mês a cadeia produtiva leva 120 dias. Os valores aqui apresentados são estimados com a UTC em pleno funcionamento.

Fonte: Elaboração própria.

De posse da composição gravimétrica realizada pelo Cimvalpi (2020), pesos específicos dos materiais, e fluxos de entrada de resíduos nas UTCs, dimensionou-se a área necessária para o depósito, conforme memorial (Apêndice B). As áreas são apresentadas na Tabela 12. Os *Layouts* com as disposições dos módulos da UTC estão ilustrados nas Figuras 12, 13 e 14, para capacidade de processamento de 5 t/dia, 15 t/dia e 50 t/dia, respectivamente.

Tabela 12 - Fluxos de recicláveis, rejeitos e áreas de estocagem

Porte da UTC	Recicláveis (t/dia)	Operação	Equipamentos/Ferramentas	Área de Estocagem Calculada	Transbordo de Rejeitos	Período de detenção dos rejeitos
Pequena 5 t/dia	1,39	1 encarregado 1 Área de Recepção 8 triadores (mesa) 2 deslocadores 1 enfardador 1 faixineiro	1 Rasga sacos manual * 2 Carrinhos de mão Bombonas 1 Prensa hidráulica 1 Empilhadeira manual 1 Peneira rotativa de biomassa 1 Pá, 1 enxada, 1 gadanho 1 Termômetro	128,88 m ²	27 m ²	Limite máximo de 3 dias
Média 15 t/dia	4,17	1 encarregado 1 Área de Recepção 18 triadores (esteira) 4 deslocadores 2 enfardadores* 1 empilhadeira* 1 operador de compostagem 1 faxineiro	1 Rasga sacos manual/automático* 4 Carrinhos de mão Bombonas Prensa hidráulica 1 Empilhadeira manual/motorizada* 1 Triturador de resíduos orgânicos* 1 Peneira rotativa de biomassa 1 Pá, 1 enxada, 1 gadanho 1 Termômetro	368,21 m ²	27 m ²	1 a 2 dias
Grande 50 t/dia	14,26	3 encarregados 3 Área de Recepção 60 triadores (3 esteiras) 6 deslocadores 3 enfardadores* 2 Operadores de empilhadeira 2 Operadores de compostagem 3 faxineiros	3 Rasga sacos manual/automático* 6 Carrinhos de mão Bombonas 3 Prensas hidráulicas 2 Empilhadeiras motorizadas* 1 Triturador de resíduos orgânicos* 1 Peneira rotativa de biomassa 2 Pás, 2 enxadas, 2 gadanhos 1 Trator 4x4 de 90 cv 1 Revirador de leira (tipo trapezoidal, para leira de largura de 4,0m e altura de 1,5 m) 2 Termômetros	1.227,37 m ²	54 m ²	1 dia

*Para UTCs com maior capacidade de processamento recomenda-se uma maior mecanização/automatização.

Fonte: Elaboração própria.

Figura 12 - Layout Básico UTC Padrão Pequena (5 t/dia)

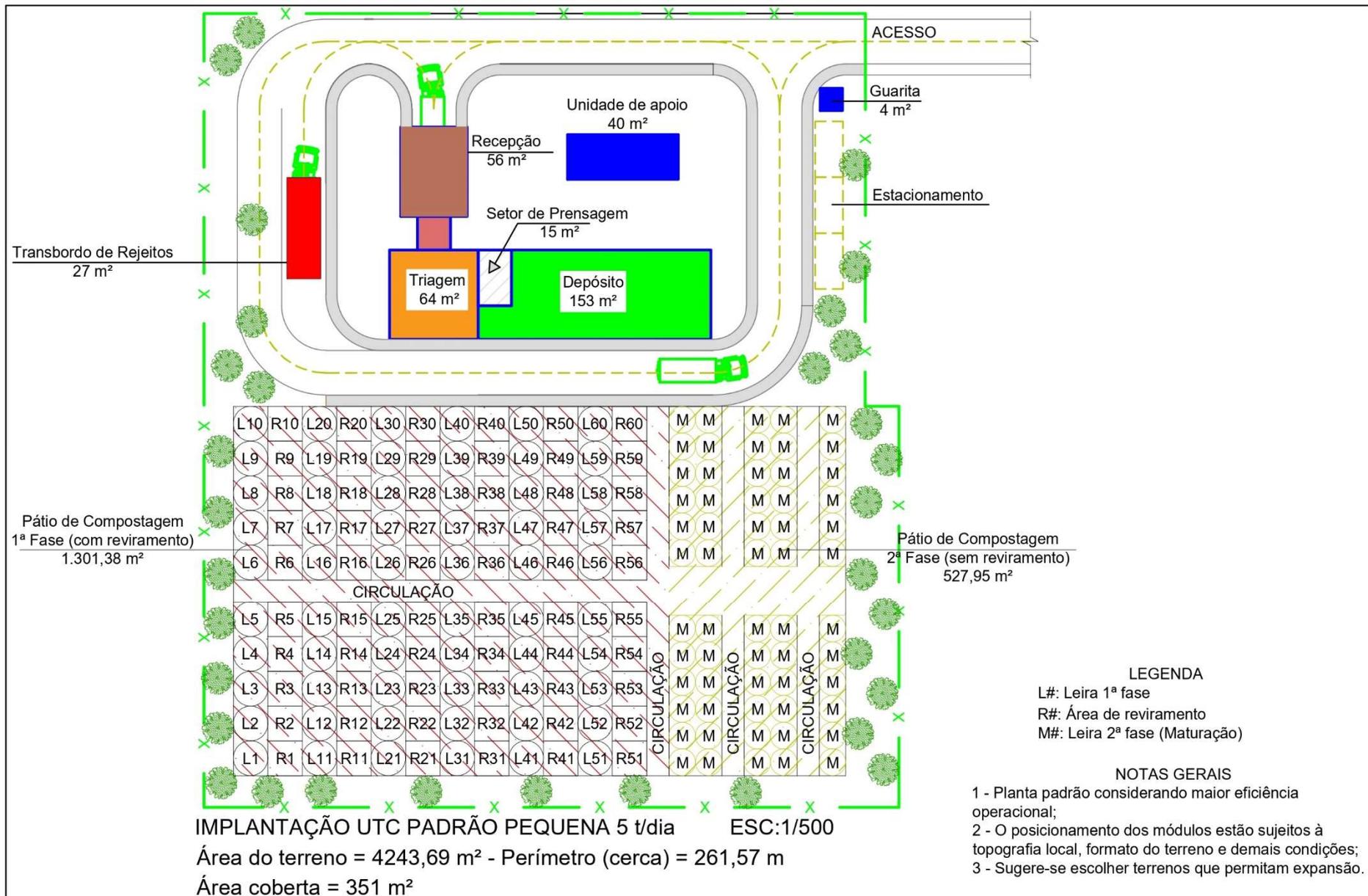
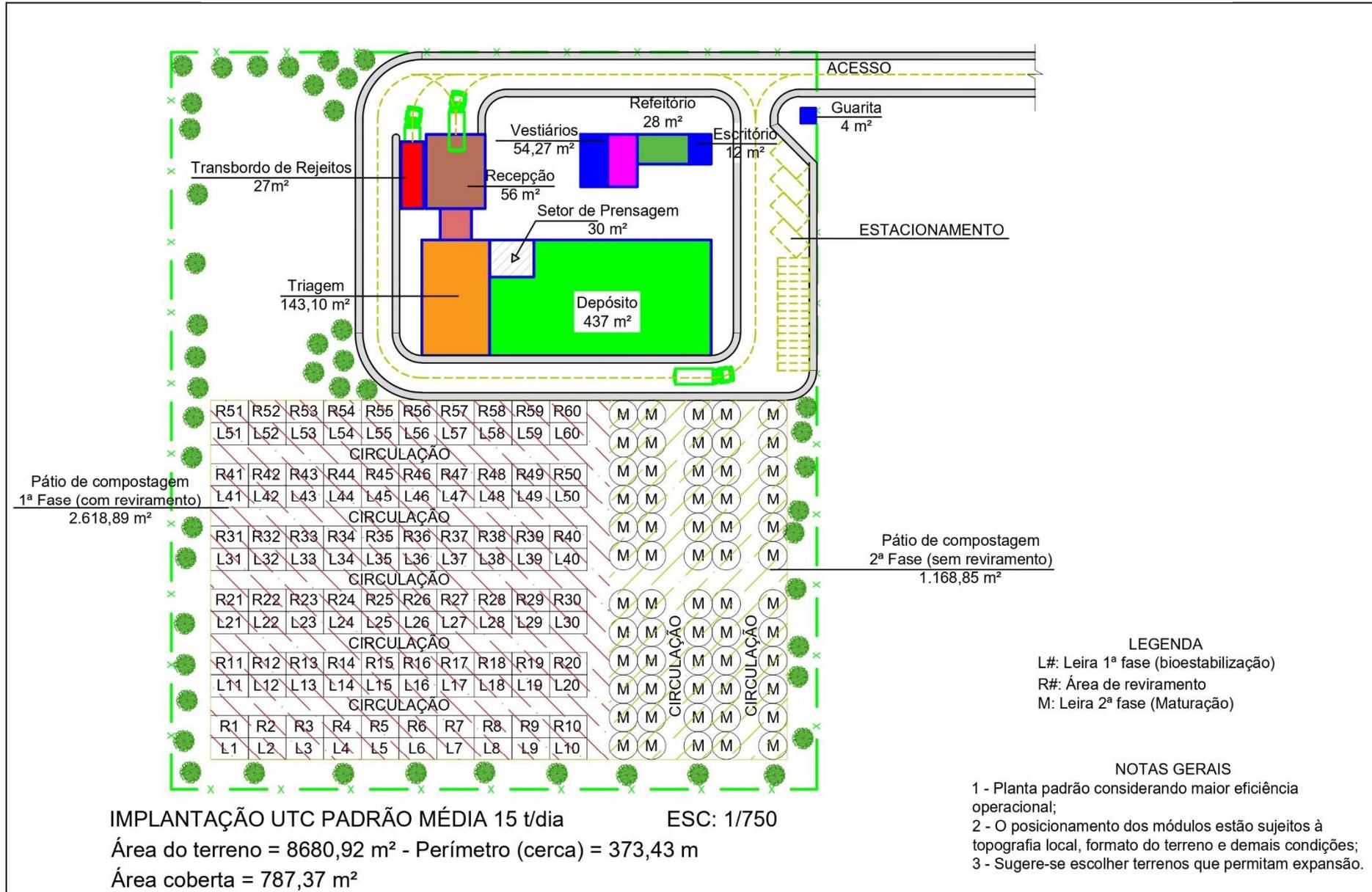
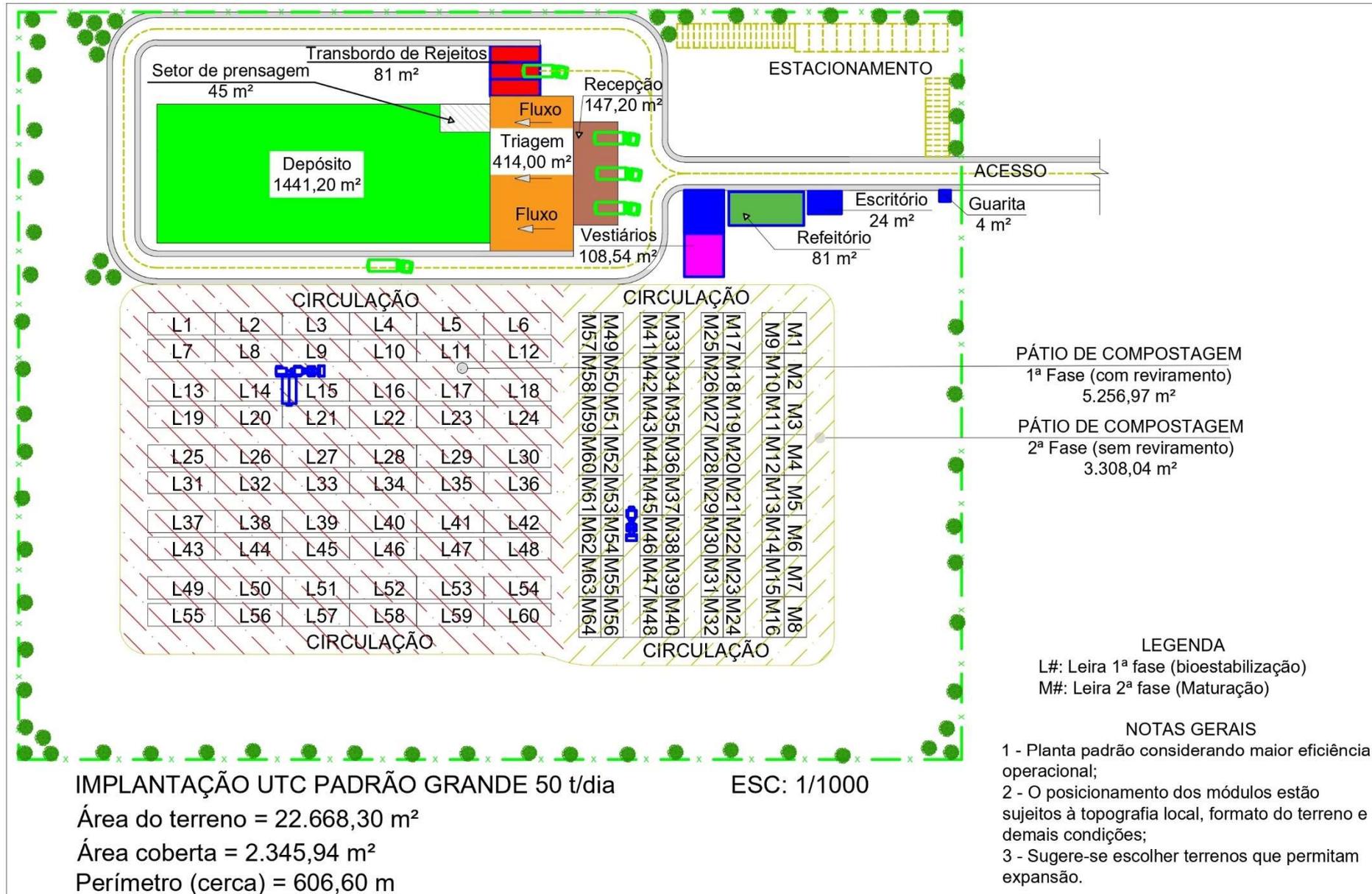


Figura 13 - Layout básico UTC Padrão Média (15 t/dia).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 14 - Layout Básico UTC Padrão Grande (50 t/dia).



Fonte: Elaboração própria.

6.4 Mapa de Riscos para *Layout* básico

Para conhecimento dos riscos que os operadores das UTCs estão sujeitos, elaborou-se um Mapa de Risco Simplificado para uma UTC padrão (Quadro 16).

Quadro 16 – Mapa Simplificado de Riscos de uma UTC Padrão

SETOR	NÍVEL	AGENTE	RISCO
INFRAESTRUTURA BÁSICA Escritório Instalações sanitárias	BAIXO BAIXO	ERGONÔMICO BIOLÓGICOS	Postura inadequada; Microrganismos;
ÁREA DE RECEPÇÃO	ELEVADO ELEVADO	ACIDENTE ERGONÔMICO	Cortes e perfurações Esforço físico e postura inadequada;
	MÉDIO MÉDIO	BIOLÓGICO FÍSICO	Microrganismos; Ruído e radiação não ionizante;
	MÉDIO	QUÍMICO	Poeira;
ÁREA DE TRIAGEM	ELEVADO ELEVADO	ACIDENTE ERGONÔMICO	Cortes e perfurações; Postura inadequada, ritmo excessivo e repetitividade;
	MÉDIO MÉDIO	BIOLÓGICO FÍSICO	Microrganismos; Ruído;
	MÉDIO	QUÍMICO	Gases e produtos químicos;
ÁREA DE ENFARDAMENTO	ELEVADO	ACIDENTE	Choque elétrico, esmagamento de membros;
	ELEVADO	ERGONÔMICO	Esforço físico, levantamento de peso;
	ELEVADO BAIXO	FÍSICO BIOLÓGICO	Ruído e vibração; Microrganismos;
PÁTIO DE COMPOSTAGEM	ELEVADO	FÍSICO	Radiação não ionizante e Intempéries;
	ELEVADO	ERGONÔMICO	Postura inadequada e esforço físico;
	MÉDIO MÉDIO	BIOLÓGICO ACIDENTE	Microrganismo; Cortes e perfurações;
ÁREA DE ESTOCAGEM	MÉDIO	QUÍMICO	Gases e poeira;
	ELEVADO	ACIDENTE	Arranjo físico inadequado, probabilidade de incêndio;
	ELEVADO	ERGONÔMICO	Esforço físico, levantamento de peso e transporte de peso;
ÁREA DE DESTINAÇÃO DE REJEITOS	BAIXO BAIXO	BIOLÓGICO FÍSICO	Microrganismo; Ruído;
	MÉDIO MÉDIO	ACIDENTE ERGONÔMICO	Cortes e perfurações; Esforço físico e transporte de peso;
	MÉDIO	BIOLÓGICO FÍSICO	Microrganismos; Ruído e radiação não ionizante;
	MÉDIO	QUÍMICO	Gases, produtos químicos e poeira;

Fonte: Elaboração própria.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabe-se que diversos são os fatores para os insucessos destas UTCs assim, com a criação de uma literatura de referência espera-se a redução dos fatores negativos de projetos inadequados e operações inadequadas.

Nos primeiros anos, logo após a promulgação da PNRS houve uma expressiva evolução na destinação adequada de Resíduos Sólidos, contudo longe de erradicar os lixões, e a destinação inadequada, percebe-se uma estagnação. No cenário mineiro ainda se tem 36% dos municípios dispendo os resíduos de maneira inadequada. E percebe-se também uma involução nos serviços públicos de tratamento de resíduos sólidos, com o encerramento de atividades de diversas UTCs.

As constatações obtidas de diversos autores, de regiões diferentes do país é que os trabalhadores de Unidades de Triagem e Compostagem estão expostos a diversos riscos ocupacionais provenientes da própria natureza da atividade e também decorrentes erros de concepção do layout, de deficiências na manutenção de equipamentos, ferramentas e da própria estrutura, com a falta ou uso inadequado dos equipamentos de proteção individual.

Nos municípios associados ao Cimvalpi percebe-se que uma grande proporção deles não realizam tratamento de resíduos sólidos urbanos, dos 41 totais 15 (36,58%) não possuem UTC e em 8 estão desativadas, implicando em uma maior massa de RSU aterrados ou dispostos inadequadamente que poderiam ser recuperados por meio da reciclagem e compostagem.

Obtiveram-se parâmetros de dimensionamento de UTCs, seguindo critérios para saúde ocupacional, por meio dos quais pode-se dimensionar 3 unidades para diferentes capacidades de processamento, de acordo com as faixas populacionais propostas.

No Cimvalpi, percebe-se uma composição de mais municípios de pequeno porte (23 municípios inferiores a 10 mil habitantes), nos quais em pelo menos 17 deles podem ser construídas ou reformadas UTCs de pequeno porte e 6 nos municípios de 10mil a 50mil habitantes. Já os municípios com população superior a 50mil habitantes, todos já possuem UTCs ou UT, contudo com capacidade de processamento inferior à totalidade de RSU coletados.

8 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o período pandêmico, as atividades presenciais foram consideravelmente reduzidas em diversos setores, diante disto, sugere-se avaliar a operacionalidade das UTCs, bem como suas licenças para funcionamento, uma vez que também se houve uma redução na fiscalização durante este período.

A partir dos dados obtidos, quanto a existência de tratamento de RSU na região de abrangência do Cimvalpi, pode-se verificar os locais propícios para a instalação de novas UTCs ou reforma das existentes, com a análise de soluções em conjunto (unidade de tratamento abrangendo 2 ou mais municípios), de acordo também com o porte dos municípios limifrontes, verificando-se o porte de UTC mais vantajoso a ser implantando.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13896- Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, construção e operação**. ABNT. Rio de Janeiro, RJ, 1997. ABRELPE. Panorama 2021.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de limpeza pública e resíduos especiais, , p. 54, 2021. .

ALVARENGA, Júlio Campos Fontes de. **AVALIAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM MUNICÍPIOS DA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS UTILIZANDO INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE EM CONFORMIDADE COM A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS**. 2014. Universidade Federal de Viçosa, 2014.

AUAD, Gabriela Arja; MARQUES, Rosângela Francisca de Paula Vitor; RITA, Fabricio Santos; ALCANTRA, Eliana; OLIVEIRA, Alisson Souza de; FREITAS, Aurivan Soares de; RODRIGUES, Luciano dos Santos. Reflexões sobre a política nacional de resíduos sólidos e a pandemia do COVID-19: Gerenciamento adequado. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. 12, 5 ago. 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18653>.

AZEVEDO, Mônica de Abreu. **Avaliação Do Risco À Saúde Da População Vizinha Às Áreas De Disposição Final De Resíduos Sólidos Urbanos: O Aterro Sanitário Como Cenário De Exposição Ambiental**. 2004. Universidade de São Paulo, 2004.

AZEVEDO, Mônica de Abreu. **Destinação de Resíduos Sólidos Municipais. Apostila**. Viçosa/MG: Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, 2021.

BRASIL. **DECRETO-LEI N° 5.452, DE 1° DE MAIO DE 1943**. Brasil: Brasília, 1943.

BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Regional. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2018**. Brasília, DF. MTE, 2019.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos. **SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE URBANO**, p. 75, 2010. .

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15 - ATIVIDADES E**

OPERAÇÕES INSALUBRES. Brasil: Brasília, DF. MTE, 1978a.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 17 - ERGONOMIA.** Brasil: Brasília, DF. MTE, 1978b.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 24 - CONDIÇÕES SANITÁRIAS E DE CONFORTO NOS LOCAIS DE TRABALHO.** Brasil: Brasília, DF. MTE, 1978c.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 4 - SERVIÇOS ESPECIALIZADOS EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E EM MEDICINA DO TRABALHO.** Brasil: Brasília, DF. MTE, 1978d.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 9 - PROGRAMA DE PREVENÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS.** Brasil: Brasília, DF. MTE, 1978e.

CAMPOS, Heliana Kátia Tavares. Recycling in Brazil: Challenges and prospects. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 85, p. 130–138, abr. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.017>.

CARVALHO, Vanessa Fernandes; SILVA, Mayara Dias; SILVA, Lívia Maria de Souza; BORGES, Cristiane José; SILVA, Luiz Almeida; ROBAZZI, Maria Lucia do Carmo Cruz. Risco ocupacionais e acidentes de trabalho: percepções dos coletores de lixo. **Revista de Enfermagem**, v. 10, n. 4, p. 1185–1193, 2016. <https://doi.org/10.5205/reuol.8464-74011-1-SM.1004201603>.

CETESB. **Plano de resíduos sólidos do estado de São Paulo.** 1ª. São Paulo, SP: SMA, 2014.

CIMVALPI. **PLANO INTERMUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DO VALE DO PIRANGA - PIGIRS/CIMVALPI - Produto 05 - Relatório Consolidado do Diagnóstico para a gestão intermunicipal consorciada.** Ouro Preto/MG: FUNDAÇÃO GORCEIX, 2020.

COIMBRA, Juliana Baptista. **Avaliação de impactos na saúde ocasionados pela disposição de resíduos sólidos: O lixão e a unidade de triagem e compostagem como cenários de exposição.** 2013. Universidade Federal de Viçosa, 2013.

CONAMA. **Conama 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.** Brasil, Brasília, DF, MMA, 2017.

FEAM. Cartilha de Orientações - Operação de Usinas de Triagem e Compostagem, p. 63, 2019a. .

FEAM. **PANORAMA DA DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO ESTADO DE MINAS GERAIS EM 2018**. Belo Horizonte, MG, 2019b.

FERREIRA, João Alberto; ANJOS, Luiz Antonio dos. Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais. **Cad. Saúde Pública**, v. 17, n. 3, p. 689–696, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2001000300023>.

FIGUEIREDO, Erik. Custos são um desafio para o setor de reciclagem no Brasil. 2022. **Poder360**. Disponível em: <<https://www.poder360.com.br/opiniaocustos-sao-um-desafio-para-o-setor-de-reciclagem-no-brasil/>> .Acesso em 22 novembro de 2022. .

GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: Impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciencia e Saude Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1503–1510, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600014>.

GRISA, Daniela Cristina; CAPANEMA, Luciana. Resíduos Sólidos Urbanos. **Visão 2035: Brasil, país desenvolvido: agendas setoriais para o desenvolvimento**, , p. 415–438, 2018. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/16284/1/PRCapLiv214209_residuossolidos_cempl_P.pdf> Acesso em 01 de fevereiro de 2022.

GUTBERLET, Jutta; BAEDER, Angela; PONTUSCHKA, Nídia; FELIPONE, Sonia; DOS SANTOS, Tereza. Participatory Research Revealing the Work and Occupational Health Hazards of Cooperative Recyclers in Brazil. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 10, n. 10, p. 4607–4627, 27 set. 2013. <https://doi.org/10.3390/ijerph10104607>.

IBIAPINA, Iveltyma Roosemalen Passos; OLIVEIRA, Talyta Eduardo; LEOCADIO, Áurio Lúcio. AS POLÍTICAS PÚBLICAS E OS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA ALEMANHA E NO BRASIL. **planejamento e políticas públicas**, , p. 43–68, 2021. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.38116/ppp60art2>.

JACOBI, PEDRO ROBERTO; BESEN, GINA RIZPAH. Solid Waste Management in São Paulo: The Challenges of sustainability. **Revista-on line Estudos Avançados**, v. 25, n. 71, p. 135–158, 2011. .

JUCÁ, José Fernando Thomé et al. **Análise das Diversas Tecnologias de**

Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Jabotão dos Guararapes, PE: UFPE, 2014.

KAZA, Silpa; YAO, Lisa C.; BHADA-TATA, Perinaz; VAN WOERDEN, Frank. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050.** Washington, DC: Washington, DC: World Bank, 2018. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>.

LIMA JUNIOR, Roberto Guião de Souza; MAHLER, Claudio Fernando; DIAS, Albiane Carvalho; LUZ JUNIOR, Willker Figueirêdo da. Avaliação de novas práticas de compostagem em pequena escala com aproveitamento energético. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 361–370, 19 jan. 2017. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016159687>.

MAGALHÃES, Rodrigo Almeida; RIBEIRO, Karine Aline dos Santos. Política estadual de gestão de resíduos: uma análise do programa “Minas sem lixões”. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. v.7, p. 34–61, 2017. .

MARANGONI, Silvia Cristiane; TASCIN, João Carlos; PORTO, Luiz Gonzaga Campos. Causas de acidentes com coletores de lixo relacionados à falta de conceitos ergonômicos . 2006. **XIII SIMPEP**. Bauru - SP: SIMPEP, 2006. p. 1–6.

MAZON, Ana Amélia Oliveira; SILVA, Rodolfo Gonçalves Oliveira da; SOUZA, Henor Artur de. Ventilação natural em galpões: o uso de lanternins nas coberturas. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 59, n. 2, p. 179–184, jun. 2006. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672006000200007>.

MINISTÉRIO DA FAZENDA. **Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho: AEAT 2017**. Brasília, DF: MF, 2017. v. 1.

MOREIRA, Ana Maria Maniero; GÜNTHER, Wanda Maria Risso; SIQUEIRA, Carlos Eduardo Gomes. Workers’ perception of hazards on recycling sorting facilities in São Paulo, Brazil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 24, n. 3, p. 771–780, mar. 2019. <https://doi.org/10.1590/1413-81232018243.01852017>.

MPSP, Ministério Público do Estado de São Paulo. Manual de sinalização predial. , p. 16, 2013.

NOVAIS, TIAGO DE MORAIS FARIA. **EXECUÇÃO DE UM PÁTIO DE COMPOSTAGEM EM SOLO- CIMENTO ANÁLISES DE SUAS PROPRIEDADES E INFLUÊNCIA NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM**. 2011. 80 f. Universidade Federal de Viçosa, 2011.

POMKERNER, Thiago Luiz. **INFLUÊNCIA DO RUÍDO EM UMA USINA DE PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS BASEADA NAS NORMAS NR-15 (2011) E NHO 01 (2001)**. 2014. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

QUEIROZ, Hailton Junio; SILVA, Enoque Pereira da. **PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA USINA DE TRIAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE PARACATU-MG. Anais do 3º Simpósio de TCC das faculdades FINOM e Tecsoma**, p. 601–616, 2020. .

RENNÓ, Virgílio Moraes. **AVALIAÇÃO DE RISCOS DE ACIDENTES OCUPACIONAIS NA USINA DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM TURVOLÂNDIA – MG**. 2010. UNIFENAS, 2010.

ROCHA, Mariane De Souza; TEIXEIRA, Vagner Meira; BRASIL, No. **DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NA AGRICULTURA**. p. 1–6, 2014. .

SANTANA, Alice Libânia; LANGE, Liséte Celina; MAGALHÃES, Aline Souza. O impacto do instrumento econômico Bolsa Reciclagem orientado aos catadores de materiais recicláveis sobre o mercado da reciclagem do vidro no estado de Minas Gerais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 27, n. 4, p. 737–747, ago. 2022. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220210258>.

SANTOS, Jessyca Ingles Nepomuceno dos. **Avaliação da operação das unidades de triagem e compostagem instaladas no Estado de Minas Gerais**. 2017. 71 f. UFMG, 2017a.

SANTOS, Vânia Liliâne Oliveira Fernandes dos. **EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A AGENTES BIOLÓGICOS EM CENTROS DE TRIAGEM DE RESÍDUOS**. 2017. Instituto Politécnico de Coimbra, 2017b.

SELURB. Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana. São Paulo, SP, 2022.

SEMA-PR. **Centro de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos - Caderno de Especificações Técnicas e Desenho Técnico**. 2. ed. Curitiba: MPPR, 2013.

SHETTINI, Cristina Finger Lacerda. **Avaliação da exposição ao ruído ocupacional em galpões de triagem de resíduos recicláveis**. 2014. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

SILVA DE SOUZA LIMA, Nathalia; MANCINI, Sandro Donnini. Integration of informal recycling sector in Brazil and the case of Sorocaba City. **Waste Management & Research**, v. 35, n. 7, p. 721–729, 3 jul. 2017. <https://doi.org/10.1177/0734242X17708050>.

SILVA, Monique N.; SIQUEIRA, Vera L. Riscos Ocupacionais De Catadores De Materiais Recicláveis: Ações Em Saúde E Segurança Do Trabalho. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**, 2017. .

SIMÃO, Nathalia Machado; DALMO, Francisco César; NEBRA, Silvia Azucena; SANT'ANA, Paulo Henrique de Mello. A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E A ESTRATÉGIA DE FORMAÇÃO DE CONSÓRCIOS PÚBLICOS INTERMUNICIPAIS. **Revista de Políticas Públicas**, v. 21, n. 2, p. 891–913, 2018. .

SOUSA, Larissa de. **Avaliação do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município de Jesuítas - PR**. 2014. 128 f. Universidade Estadual de Maringá, 2014.

TEIXEIRA, Karla Maria Damiano. Work and perspectives according to the perception of recycled garbage pickers. **Psicologia e Sociedade**, v. 27, n. 1, p. 98–105, 2015. .

VILHENA, André. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4 ed. São Paulo, SP: IPT/CEMPRE, 2018.

APÊNDICE A - Memorial de cálculo dos pátios de compostagem propostos

Tabela 13 - Dimensionamento do pátio de compostagem para UTC pequena.

UTC COM CAPACIDADE DE PROCESSAMENTO DE 5 t/dia		
Dimensionamento do pátio de compostagem (Pátio pequeno)		
Dados iniciais		
População	10.000	hab
Geração <i>per capita</i>	0,473	kg/hab.dia
Geração orgânico (47,08%)	2.226,9	kg/dia
Densidade da Mat. orgânica (MMA, 2010)	550	kg/m ³
Volume Mat. Orgânica (Volume da leira)	4,0	m ³ /dia
Critérios de Projeto		
h: Altura de Leira	1,60	m
D: Diâmetro da base	3,11	m
AL: Área da Leira circunscrita em um quadrado (D x D)	9,67	m ²
Dimensões da leira ($\pi r^2 h/3$) = $\pi 1,55^2 * 1,60/3$		
AR: Área de Reviramento (D x D)	9,67	m ²
AN: Área necessária para 1 dia (AL + AR)	19,33	m ²
AP1: Área de Pátio 1 para 60 dias (com reviramento) (60 x AN)	1159,92	m ²
AP2: Área de Pátio 2 para 60 dias (sem reviramento) Redução de 40% do volume	371,17	m ²
AC: Área de circulação (2m de largura)	298,34	m ²
AP total mínima: AP1+AP2+AC	1829,44	m ²
Dimensões do pátio (retângulo econômico)	X (Largura)	30,24 m
	Y (Comp = 2L)	60,49 m

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 14 - Dimensionamento do pátio de compostagem para UTC média

UTC COM CAPACIDADE DE PROCESSAMENTO DE 15 t/dia		
Dimensionamento do pátio de compostagem (Pátio médio)		
População	30.000	hab
Geração <i>per capita</i>	0,475	kg/hab.dia
Geração orgânico (47,08%)	6.708,9	kg/dia
Densidade da Mat. orgânica (MMA, 2010)	550	kg/m ³
Volume Mat. Orgânica (Volume da leira)	12,2	m ³ /dia
Critérios de Projeto		
H = Altura da leira	1,60	m
B = Largura da base da leira	3,00	m
AS: Área da Seção triangular (B x H/2)	2,4	m ²
C: Comprimento da Leira (Volume da leira/AS)	5,1	m
AL: Área da Leira - base retangular (L x C)	15,25	m ²
Dimensões da leira (C x L x H) = 5,1 * 3,0 * 1,6 m		

UTC COM CAPACIDADE DE PROCESSAMENTO DE 15 t/dia		
AR: Área de Reviramento (Igual a Área da base: AL)	15,25	m ²
AN: Área necessária para 1 dia (AL + AR)	30,50	m ²
AP1: Área de Pátio 1 para 60 dias (com reviramento) (60 x AN)	1.829,70	m ²
AP2: Área de Pátio 2 para 60 dias (sem reviramento) Redução de 40% do volume	870,97	m ²
AC: Área de circulação (2,50m de largura, para futura mecanização)	1.086,88	m ²
AP total mínima: AP1+AP2+AC	3.787,55	m ²
Dimensões do pátio (retângulo econômico)	X (Largura)	43,52 m
	Y (Comp = 2L)	87,04 m

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 15 - Dimensionamento do pátio de compostagem para UTC grande

UTC COM CAPACIDADE DE PROCESSAMENTO DE 50 t/dia		
Dimensionamento do pátio de compostagem (Pátio grande)		
População	60.000	hab
Geração <i>per capita</i>	0,811	kg/hab.dia
Geração orgânico (47,08%)	22.909,1	kg/dia
Densidade da Mat. orgânica (MMA, 2010)	550	kg/m ³
Volume Mat. Orgânica (Volume da leira)	41,7	m ³ /dia
Critérios de Projeto		
AT: Área da Seção trapezoidal (B=4,0m, b=0,6m e h=1,5m)	3,45	m ²
C: Comprimento da Leira (Vol. da leira/AT)	12,07	m
AL: Área da Leira - base retangular (B x C)	48,29	m ²
Dimensões da leira: B=4,0m, b=0,6m, h=1,5m e C=12,07m		
AN: Área necessária para 1 dia (AL)	48,29	m ²
AP1: Área de Pátio 1 para 60 dias (com reviramento) (60 x AN)	2.897,60	m ²
AP2: Área de Pátio 2 para 60 dias (sem reviramento) Redução de 40% do volume	1.738,56	m ²
AC: Área de circulação (3,0m vias secundárias, 5,0 m vias principais)	3.928,9	m ²
AP total mínima: AP1+AP2+AC	8.565,01	m ²
Dimensões do pátio (retângulo econômico)	X (Largura)	65,44 m
	Y (Comp = 2L)	130,88 m

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE B - Memorial de cálculo dos depósitos propostos

Tabela 16 - Dimensionamento do depósito para UTC pequena.

POPULAÇÃO DE PROJETO:		10.000 hab				
PRODUÇÃO PER CAPITA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:		0,473 kg/hab/dia				
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (ESTIMADA):		4,73 t/dia				
GRAVIMETRIA						
CONSTITUINTE	% em Peso	PRODUÇÃO DIÁRIA		PRODUÇÃO MENSAL		PESO ESP (KG/m ³)
		KG/dia	m ³ /dia	ton/mês	m ³ /mês	
PAPEL/PAPELÃO	8,61	407,25	4,79	12,22	143,74	85,00
PLÁSTICO RÍGIDO	3,02	142,93	0,95	4,29	28,59	150,00
PET	4,35	205,89	1,87	6,18	56,15	110,00
PLÁSTICO FILME	9,43	445,82	1,27	13,37	38,21	350,00
VIDRO	2,70	127,71	0,43	3,83	12,77	300,00
METAIS FERROSOS	0,91	43,04	0,11	1,29	3,23	400,00
METAIS NÃO FERROSOS	0,28	13,24	0,07	0,40	1,99	200,00
MATÉRIA ORGÂNICA	47,08	2226,88	4,05	30,06	54,66	550,00
REJEITO	23,62	1117,23	11,17	33,52	335,17	100,00
TOTAL	100,00	4.730,00		141,90		
CAPACIDADE DAS BAIAS PARA RECICLÁVEIS E DO DEPÓSITO PARA COMPOSTO						
CONSTITUINTE	ÁREA ÚTIL DO DEPÓSITO (m ²)	CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO (DIAS)				
PAPEL/PAPELÃO	47,91	30,00				
PLÁSTICO RÍGIDO/FILME/PET	40,98	30,00				
VIDRO	19,16	90,00				
METAIS FERROSOS	1,61	30,00				
METAIS NÃO FERROSOS	0,99	30,00				
COMPOSTO ORGÂNICO	18,22	30,00				
Área de depósito total		128,88				
Rejeitos	27 m ²	Até 3 dias				

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 17 - Dimensionamento do depósito para UTC média.

POPULAÇÃO DE PROJETO:		30.000 hab				
PRODUÇÃO PER CAPITA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:		0,475 kg/hab/dia				
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (ESTIMADA):		15 t/dia				
GRAVIMETRIA						
CONSTITUINTE	% em Peso	PRODUÇÃO DIÁRIA		PRODUÇÃO MENSAL		PESO ESP (KG/m ³)
		KG/dia	m ³ /dia	ton/mês	m ³ /mês	
PAPEL/PAPELÃO	8,61	1291,50	15,19	38,75	455,82	85,00
PLÁSTICO RÍGIDO	3,02	453,28	3,02	13,60	90,66	150,00
PET	4,35	652,93	5,94	19,59	178,07	110,00
PLÁSTICO FILME	9,43	1413,79	4,04	42,41	121,18	350,00
VIDRO	2,70	405,00	1,35	12,15	40,50	300,00
METAIS FERROSOS	0,91	136,50	0,34	4,10	10,24	400,00
METAIS NÃO FERROSOS	0,28	42,00	0,21	1,26	6,30	200,00
MATÉRIA ORGÂNICA	47,08	7062,00	12,84	95,34	173,34	550,00
REJEITO	23,62	3543,00	35,43	106,29	1062,90	100,00
TOTAL	100,00	15.000,00		450,00		
CAPACIDADE DAS BAIAS PARA RECICLÁVEIS E DO DEPÓSITO PARA COMPOSTO						
CONSTITUINTE	ÁREA ÚTIL DO DEPÓSITO (m ²)		CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO (DIAS)			
PAPEL/PAPELÃO	151,94		30,00			
PLÁSTICO RÍGIDO/FILME/PET	129,97		30,00			
VIDRO	20,25		30,00			
METAIS FERROSOS	5,12		30,00			
METAIS NÃO FERROSOS	3,15		30,00			
COMPOSTO ORGÂNICO	57,78		30,00			
Área de depósito total			368,21			
Rejeitos	27 m ²		1 a 2 dias			

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 18 - Dimensionamento do depósito para UTC grande.

POPULAÇÃO DE PROJETO:		60.000 hab				
PRODUÇÃO PER CAPITA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:		0,811 kg/hab/dia				
PRODUÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (ESTIMADA):		50 t/dia				
GRAVIMETRIA						
CONSTITUINTE	% em Peso	PRODUÇÃO DIÁRIA		PRODUÇÃO MENSAL		PESO ESP (KG/m ³)
		KG/dia	m ³ /dia	ton/mês	m ³ /mês	
PAPEL/PAPELÃO	8,61	4305,00	50,65	129,15	1519,41	85,00
PLÁSTICO RÍGIDO	3,02	1510,92	10,07	45,33	302,18	150,00
PET	4,35	2176,45	19,79	65,29	593,58	110,00
PLÁSTICO FILME	9,43	4712,63	13,46	141,38	403,94	350,00
VIDRO	2,70	1350,00	4,50	40,50	135,00	300,00
METAIS FERROSOS	0,91	455,00	1,14	13,65	34,13	400,00
METAIS NÃO FERROSOS	0,28	140,00	0,70	4,20	21,00	200,00
MATÉRIA ORGÂNICA	47,08	23540,00	42,80	317,79	577,80	550,00
REJEITO	23,62	11810,00	118,10	354,30	3543,00	100,00
TOTAL	100,00	50.000,00		1500,00		
CAPACIDADE DAS BAIAS PARA RECICLÁVEIS E DO DEPÓSITO PARA COMPOSTO						
CONSTITUINTE	ÁREA ÚTIL DO DEPÓSITO (m ²)		CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO (DIAS)			
PAPEL/PAPELÃO	506,47		30,00			
PLÁSTICO RÍGIDO/FILME/PET	433,23		30,00			
VIDRO	67,50		30,00			
METAIS FERROSOS	17,06		30,00			
METAIS NÃO FERROSOS	10,50		30,00			
COMPOSTO ORGÂNICO	192,60		30,00			
Área de depósito total	1227,37					
Rejeitos	81 m ²		1 a 2 dias			

Fonte: Elaboração própria.