



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

AVALIAÇÃO DO IMPACTO NA VIDA ÚTIL DO ATERRO SANITÁRIO DE BETIM –
MG, A PARTIR DA APLICAÇÃO DE DIFERENTES ALTERNATIVAS TÉCNICAS
DISPONÍVEIS PARA TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS

LEANDRO GUSTAVO SILVA

BELO HORIZONTE

2016

LEANDRO GUSTAVO SILVA

AVALIAÇÃO DO IMPACTO NA VIDA ÚTIL DO ATERRO SANITÁRIO DE BETIM –
MG, A PARTIR DA APLICAÇÃO DE DIFERENTES ALTERNATIVAS TÉCNICAS
DISPONÍVEIS PARA TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro Ambiental e
Sanitarista

Orientadora: Dra. Gisele Vidal Vimieiro

Co-orientador: Dr. Daniel Brianezi

BELO HORIZONTE

2016

LEANDRO GUSTAVO SILVA

AVALIAÇÃO DO IMPACTO NA VIDA ÚTIL DO ATERRO SANITÁRIO DE BETIM –
MG, A PARTIR DA APLICAÇÃO DE DIFERENTES ALTERNATIVAS TÉCNICAS
DISPONÍVEIS PARA TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro Ambiental e
Sanitarista

Data de aprovação: ____/____/____

Banca Examinadora:

Data: ____/____/____
Prof. Dra. Gisele Vidal Vimieiro - Orientadora
CEFET-MG

Data: ____/____/____
Prof. Dr. Daniel Brianezi – Co-orientador
CEFET-MG

Data: ____/____/____
Prof. Dr. Frederico Keizo Odan - Examinador
CEFET-MG

Data: ____/____/____
Dr. Cicero Antônio Antunes Catapreta - Examinador
Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte

Dedico este trabalho aos meus pais, Gilmar José Silva e Agnes Gonçalves da Silva, que estiveram comigo em cada etapa da minha vida e sempre me apoiaram na continuidade dos meus estudos. Dedico também a Viviane Macedo Souza e aos meus orientadores, que dedicaram seu tempo, conhecimento e paciência em longas discussões a respeito de melhorias na elaboração dessa pesquisa, assim como me motivaram a executá-la.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Dra. Gisele Vidal Vimieiro e Dr. Daniel Brianezi, agradeço cada conselho e orientação referentes ao trabalho e as longas discussões que permitiram além da execução da pesquisa, o meu amadurecimento profissional.

Aos meus pais, ao meu irmão e a Viviane Macedo Souza, agradeço o apoio incondicional e as palavras de incentivo, que me motivaram a fazer o meu melhor. Também devo agradecer aos meus amigos, que sempre me apoiaram, tiveram paciência e entenderam os sacrifícios realizados para elaboração dessa pesquisa e nos demais anos da minha trajetória acadêmica.

Finalmente, agradeço a todos que forma direta ou indireta contribuíram na execução desse trabalho e na minha formação pessoal e profissional, ressaltando os colegas de trabalho e professores que tanto me ensinaram.

“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento.”

Albert Einstein

RESUMO

A ausência do saneamento básico no Brasil ainda é um problema que atinge parcela considerável da população, refletindo em perdas ambientais, econômicas e sociais. Dentre as carências sanitárias do país, pode-se citar a disposição de resíduos sólidos urbanos, que apesar de possuir coleta de aproximadamente 90,6% em 2014, dispôs cerca de 58% desses em aterros sanitários, sendo o restante encaminhados para lixões ou aterros controlados. Tendo em vista esse fraco desempenho, ações como ampliação da porcentagem de resíduo reciclados são necessárias, pois apenas 8,6% do total coletado em 2012 foi realmente reaproveitado. Visto isso, entende-se nesse trabalho que unidades de segregação dos recicláveis e a compostagem dos orgânicos surgem como alternativas importantes para a melhoria do quadro sanitário nacional, ampliando o tempo de operação dos aterros sanitários e valorizando os profissionais envolvidos no processo. Pensando nisso, esta pesquisa foi elaborada tendo como objeto de estudo a Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Betim (CRTS), desativada para o recebimento de coleta domiciliar em 2011, objetivando-se avaliar o impacto no tempo de vida útil nesse empreendimento decorrente de propostas de unidades para tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos. O primeiro passo para realização do projeto foi a elaboração do perfil do município de Betim, considerando a variação sazonal na geração de resíduos e a composição gravimétrica do mesmo. Em seguida foi proposta uma usina de triagem e compostagem coerente com a realidade apresentada no estado de Minas Gerais, mas que apresentasse potencial superior a unidade pré-existente. Por fim, estimou-se o tempo de vida útil acrescido e os custos e receitas envolvidos. Verificou-se que a proposta proporcionaria ampliação do tempo de operação em 1 ano, 4 meses e 21 dias, valor considerado significativo, baseado no volume que seria triado e compostado, além da redução dos custos em relação a planta real.

Palavras-chave: Aterro Sanitário. Tempo de vida útil. Usinas de triagem e compostagem. Resíduos sólidos urbanos.

ABSTRACT

The absence of basic sanitation still represents a problem that affects a considerable group of Brazilian population beget environmental, economic and social losses. Among health shortage of Brazil, the disposal of solid urban waste is noteworthy. Despite Brazil has waste urban collection of approximately 90.6% in 2014, only 58% had been disposed in landfills and others sent to unapt locations. Considering this poor performance, actions such as increasing the percentage of recycled waste are necessary, because only 8.6% of the total waste collected was reused definitely in 2012. Thus, segregation units of the recyclable materials and organic compost emerge as important alternatives to upgrade the sanitation conditions in Brazil, to improve the deadline of landfills and to value recycle workers. This research developed based on Betim Solid Waste Treatment Center (CRTS, in Portuguese) disabled in 2011 aimed to evaluate changes of lifetime for CTRS due treatment units and final disposal of municipal solid waste proposals. First, we identify the profile of Betim city based on the seasonal variation in urban waste generation and the waste gravimetric composition. After that, we elaborate a plant of waste selection and composting according to Minas Gerais state condition, but it had a potential higher than the pre-existing plant. Finally, we estimated the lifetime added and the costs and revenues involved. We verified that the proposal would increase the operating time in 1 year, 4 months and 21 days. The result showed relevant based on volume of waste selection and composted and about costs reduction contrasted to the actual plant.

Keywords: Landfill. Lifetime. Sorting and composting plants. Urban solid waste.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Índice de abrangência da coleta de resíduos sólidos urbanos (%) nas regiões do Brasil em 2014.....	20
FIGURA 2 - Disposição final de resíduos sólidos urbanos (t/dia) no Brasil, em 2013 e 2014	22
FIGURA 3 - Número de municípios com iniciativas de coleta seletiva no Brasil, de 1994 a 2012	23
FIGURA 4 – Esquema de disposição de resíduos sólidos urbanos em lixões	25
FIGURA 5 – Esquema de disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros controlados	26
FIGURA 6 – Ilustração esquemática de um aterro sanitário, considerando as unidades básicas de funcionamento	28
FIGURA 7– Fluxograma com as etapas de construção e operação de aterro sanitário.....	33
FIGURA 8 – Matriz de cálculo do tempo de vida útil de aterros sanitários	34
FIGURA 9 – Localização de Betim em Minas Gerais	39
FIGURA 10 – Localização da área de estudo – CTRS Betim.....	41
FIGURA 11 – Fotos da área desapropriada para construção da CTRS de Betim, em 1993	41
FIGURA 12 – Fluxo de tratamento dos resíduos na usina de triagem e compostagem proposta	50

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Relação entre geração e recursos aplicados na coleta de RSU no Brasil, em 2014	21
TABELA 2 – Quantidade de municípios por tipo de disposição de resíduos sólidos urbanos adotada, no Brasil e por região - 2014.....	22
TABELA 3 –Geração e coleta de resíduos sólidos urbanos no estado de Minas Gerais, em 2013 e 2014	24
TABELA 4 – Quantidade de resíduos sólidos gerados no Município de Betim - MG (kg/ano), de 1997 a 2014.....	43
TABELA 5 – Composição gravimétrica dos RSU de Betim, referente aos anos de 1994 e 2009	45
TABELA 6 – Relação entre a composição gravimétrica e geração de resíduos sólidos urbanos no município de Betim – MG (t/ano)	45
TABELA 7 – Quantidade de Resíduos Sólidos Segregados pela usina de triagem e compostagem adotada na CTRS de Betim (t/dia)	47
TABELA 8 – Quantidade de resíduos sólidos gerados no Município de Betim - MG (kg/ano), por tipo de resíduo, de 1997 a 2014.....	48
TABELA 9 – Parâmetro de dimensionamento das equipes de trabalho de galpão de triagem	52
TABELA 10 – Quantidade de funcionários para o primeiro turno	53
TABELA 11 – Quantidade de funcionários para o segundo turno.....	53
TABELA 12 – Equipamentos recomendados para galpão de triagem.....	53
TABELA 13 – Parâmetros utilizados para estruturação de equipes de compostagem	55
TABELA 14 – Capacidade instalada da UTC proposta (t/dia)	56
TABELA 15 – Preço dos materiais recicláveis no período de julho à agosto de 2016 em Minas Gerais (R\$ por tonelada).....	58
TABELA 16 – Capacidade instalada da UTC proposta considerando 20% de perda na triagem e compostagem dos papéis, matéria orgânica, plásticos, metais e vidros (t/dia).....	64
TABELA 17 – Percentual de redução dos resíduos sólidos aterrados na CTRS Betim, devido à adoção da UTC proposta.....	65
TABELA 18 – Comparação entre resultados da UTC proposta e a real	67
TABELA 19 – Receita mensal estimada da venda dos resíduos recicláveis triados, em reais	69
TABELA 20 – Custos mensais relativos a operação do galpão de triagem da UTC proposta	71
TABELA 21 – Piso salarial dos funcionários da usina de triagem e compostagem	71

TABELA 22 – Preço cotado dos equipamentos utilizados na UTC.....	72
TABELA 23 – Avaliação dos resultados econômicos da UTC proposta (R\$/ano) para a CTRS Betim	73
TABELA 24 – Valor contratual médio para disposição em aterro	74

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Modelo de tendência mensal da geração de resíduos sólidos em Betim, considerando dados de 2008 a 2011	63
GRÁFICO 2 – Valores finais dos resíduos triados e compostados (t/mês)	65
GRÁFICO 3 – Determinação do acréscimo no tempo de vida útil da CTRS Betim, através do total de resíduos acumulado (t/mês)	66
GRÁFICO 4 – Tempo de vida útil da CTRS Betim, acrescido pela adoção da proposta em relação à unidade real	68
GRÁFICO 5 – Composição gravimétrica da CTRS Betim readequada, conforme grupos de venda.....	69

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Vantagens e desvantagens do processo de compostagem	31
QUADRO 2 – Itens componentes de projetos de aterros sanitários segundo à NBR 8419/1992	32
QUADRO 3 – Custos de operação da CTRS Betim, entre os anos de 2001 e 2011	46

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
2.	OBJETIVOS	19
2.1.	Objetivo geral	19
2.2.	Objetivos específicos	19
3.	REVISÃO DA LITERATURA	20
3.1.	Panorama da gestão dos resíduos sólidos urbanos no Brasil	20
3.2.	Panorama da gestão dos resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais	23
3.3.	Disposição final dos resíduos sólidos urbanos	24
3.3.1.	Lixão	25
3.3.2.	Aterro controlado.....	26
3.3.3.	Aterro sanitário	26
3.4.	Reciclagem e demais tratamentos dos resíduos sólidos urbanos	28
3.4.1.	Incineração.....	29
3.4.2.	Reciclagem	30
3.4.3.	Compostagem	30
3.5.	Critérios de projeto de aterros sanitários	32
3.6.	Planejamento e análise econômica de projetos	34
4.	METODOLOGIA	39
4.1	Caracterização do município de Betim – MG	39
4.2.	Descrição da área de estudo	40
4.3.	Coleta de dados	42
4.4.	Adequação dos dados brutos	43
4.4.1	Determinação do modelo	43
4.4.2.	Relação entre composição gravimétrica e geração de resíduos	45
4.4.3.	Custos reais de operação da CTRS de Betim	46
4.4.4	Usina de triagem e compostagem aplicada na CTRS Betim	47
4.5	Proposta de usina de triagem e compostagem	48
4.5.1.	Usina de triagem	49
4.5.2.	Usina de compostagem	54
4.6	Tempo de vida útil	56
4.6.1.	Avaliação do tempo de vida útil considerando a unidade pré-existente.....	58

4.7	Avaliação de custos e receitas provenientes do empreendimento	58
4.7.1.	Receitas provenientes da venda dos recicláveis	58
4.7.2.	Custos operacionais	60
4.7.3.	Custos de implantação	60
4.7.4.	Viabilidade técnica e econômica do projeto	61
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
5.1	Determinação do modelo do perfil de geração de resíduos sólidos em Betim	63
5.2	Tempo de vida útil	64
5.2.1.	Avaliação do tempo de vida útil considerando a unidade pré-existente.....	67
5.3	Avaliação de custos e receitas provenientes do empreendimento	68
5.3.1.	Receitas provenientes da venda dos materiais recicláveis.....	68
5.3.2.	Custos operacionais	70
5.3.3.	Custos de implantação	72
5.3.4.	Viabilidade técnica e econômica do projeto	73
6	CONCLUSÕES	76
7	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS	78
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
	APÊNDICE A	87
	APÊNDICE B	88
	APÊNDICE C	89

1. INTRODUÇÃO

É evidente a precariedade dos sistemas de saneamento básico no Brasil, dentre eles a gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU). Segundo dados presentes no estudo sobre Estimativas dos Custos para Viabilizar a Universalização da Destinação Adequada de Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2014), estima-se que cerca de 58,3% dos resíduos são encaminhados para aterros sanitários, e o restante dos resíduos, dispostos em vazadouros a céu aberto ou em aterros controlados.

Apesar da necessidade de ampliação e modernização do sistema de gestão de resíduos do país, avanços ocorreram nos últimos anos. Talvez o maior desses avanços esteja relacionado à promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010, que modernizou instrumentos, abordando a logística reversa, incentivo à atividade dos catadores, responsabilidade compartilhada, dentre outros, além de propor prazos para adequação dos locais de disposição final de resíduos.

Em Minas Gerais, no ano anterior à criação da PNRS, foi aprovada a Política Estadual de Resíduos Sólidos. Ambas legislações possuem propostas similares de gestão, sendo observados objetivos convergentes a um resultado comum. Entretanto, mesmo com o avanço nas legislações, a real situação ainda se distancia do texto proposto nas mesmas, sendo exemplos desse distanciamento, os resultados negativos das metas da PNRS em relação a extinção dos lixões.

Ainda hoje no Brasil, a solução considerada ambientalmente correta mais viável para disposição final dos resíduos é o aterro sanitário. Entretanto, ao avaliar as unidades em operação no país, é comum encontrar plantas que utilizam apenas as unidades básicas de gerenciamento, não estando associadas as atividades de triagem e compostagem, por exemplo. Esta foi a realidade da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) de Betim, que apesar de dispor de uma usina de triagem em grande parte de seus anos de operação, apresentou grande percentual de material reciclável aterrado.

O aterro sanitário de Betim começou a operar em novembro de 1996 no bairro São Salvador, localizado na regional Citrolândia. O empreendimento foi projetado inicialmente com a previsão de operação de 16 anos, segundo o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) (SEEBLA,1994). Os objetivos diretos da instalação eram ser uma solução sanitariamente adequada que incentivasse a ampliação do atendimento do serviço de coleta no município (cerca de 70% em 1993), uma vez que os mesmos começariam a ser dispostos adequadamente e, indiretamente, melhorasse o quadro de saúde pública da cidade, apoiando a reversão do

quadro sanitário negativo, relacionado à disposição inadequada dos resíduos apresentada na época, que eram encaminhados para o lixão do bairro Nossa Senhora das Graças.

A área utilizada na construção foi adquirida através de desapropriação, sendo a região predominantemente rural naquele tempo. Segundo o Estudo de Impacto Ambiental do empreendimento (SEEBLA, 1994), a área era utilizada para pastagem, apresentando sete moradias ao entorno do terreno. Em relação aos demais estudos ambientais, apesar dos dados se mostrarem pouco detalhados, todos os itens apontados mostravam que se tratava de uma área viável para execução do projeto, considerando aspectos como índices pluviométricos, direção e velocidade dos ventos, geologia, fauna, flora, águas subterrâneas, dentre outros.

Durante o período de operação, os resíduos encaminhados para CTRS eram de origem domiciliar (secos e úmidos), comercial, industrial das classes IIA e IIB, conforme NBR 10004/2004, varrição, capina e serviço de saúde. Além dos resíduos do município, de acordo com os dados obtidos junto à prefeitura, cidades vizinhas também encaminhavam seus resíduos domiciliares para CTRS Betim, sendo essas: Igarapé, São Joaquim de Bicas, Sarzedo e Mário Campos.

Segundo o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Betim (PMGIRS) (BETIM, 2015b), a Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (desativada) contava com: Aterro Sanitário, Sistema de Tratamento de Chorume, Pátio de Compostagem e Unidade de Recuperação de Recicláveis, sendo que cada item será detalhado posteriormente nesse trabalho. De acordo com o mesmo plano, os resíduos de construção civil, até 2009, eram dispostos em bota-foras, não respeitando a Resolução CONAMA 307/2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

Mesmo contando com uma unidade de compostagem ativa até o seu encerramento, diferentemente da unidade de triagem, que já havia sido encerrada e todo material proveniente da coleta seletiva passado a ser destinado à Associação dos Catadores de Papel, Papelão e Material Reaproveitável de Betim (ASCAPEL), o volume de resíduo aterrado na CTRS ainda era alto, superando 53 toneladas em 2004. Ao avaliar a composição gravimétrica do mesmo, foi possível verificar potencial econômico e ambiental. Conforme dados presentes no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Betim de 2015 (BETIM, 2015b), dentre os resíduos gerados em 2009, cerca de 54,5% eram compostos por matéria orgânica, 25,5% por materiais recicláveis e outros 20,0% por não recicláveis. A reciclagem da parcela orgânica e dos demais materiais recicláveis seria uma possível solução para geração de receita, além de reduzir o volume aterrado, possibilitando ampliação da vida útil da instalação.

Este projeto baseou-se nos princípios da PNRS e tem em vista os impactos ambientais, econômicos e sociais decorrentes da gestão do aterro sanitário do município de Betim (desativado para disposição de resíduos sólidos urbanos desde dezembro de 2011). Foram avaliados os impactos gerados caso alternativas técnicas economicamente viáveis e coerentes com a realidade do estado de Minas Gerais para o tratamento e a disposição final dos resíduos sólidos urbanos tivessem sido aplicadas. Acredita-se que aterros sanitários que possuem unidades de segregação e tratamento, que extrapolem o modelo aplicado no empreendimento estudado, possam aumentar o tempo de vida útil e gerar ganhos ambientais e sociais, como por exemplo, a utilização de áreas menores em futuros projetos e geração de renda com a venda dos materiais recicláveis.

Além da relevância ambiental e social desta pesquisa, a mesma buscou apresentar contribuição acadêmica, pois não foram encontrados dentre a revisão bibliográfica realizada, trabalhos que contemplem o assunto e estimem valores. Pensando nisso, este projeto poderá servir de base para planejamento de aterros sanitários e apoio a tomada de decisão, especialmente em Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o impacto no tempo de vida útil do aterro sanitário do município de Betim, comparando a gestão aplicada no empreendimento a outras alternativas técnicas, disponíveis no mercado, para tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos, considerando a viabilidade econômica do projeto.

2.2. Objetivos específicos

Tendo em vista alcançar o objetivo geral proposto no trabalho em questão, os objetivos específicos são:

- Identificar a variação sazonal e a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos gerados no município de Betim, visando obter informações necessárias às alternativas de tratamento e destinação final propostas ao modelo de operação do aterro sanitário;
- Identificar, quantitativamente, a massa de resíduo disposto no aterro durante os anos de operação;
- Avaliar os resultados obtidos pela gestão aplicada durante a operação do aterro e propor tecnologias alternativas e/ou complementares de manejo;
- Estimar os custos ou receitas adquiridas com o novo modelo proposto;
- Estimar a variação do tempo de vida útil ao aplicar-se as metodologias sugeridas.

3. REVISÃO DA LITERATURA

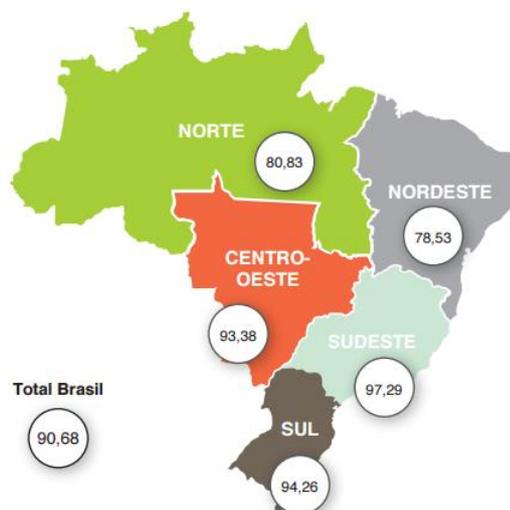
3.1. Panorama da gestão dos resíduos sólidos urbanos no Brasil

O Brasil possui a quinta maior extensão territorial do mundo, com área de 8.515.767,049 km² e uma população total, em 2015, de 204.450.649 habitantes (IBGE, 2016), dos quais cerca de 85% correspondem à população urbana (FADE, 2014).

De acordo com FADE (2014), a geração de resíduos relaciona-se, não apenas ao número de habitantes, mas a outros fatores, como o desenvolvimento econômico. Os serviços de limpeza urbana em geral consomem entre 7 e 15% do orçamento dos municípios, de maneira que a maior parte é destinada à coleta e ao transporte dos resíduos (IPT, 2000 *apud* BARROS, 2012). Segundo Cunha e Filho (2002), as variáveis que podem influenciar a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são: renda, época do ano, estilo de vida, movimento da população nos períodos de férias e finais de semana e novos métodos de acondicionamento de mercadorias, com a tendência mais recente de utilização de embalagens não retornáveis.

Conforme dados da ABRELPE (2014), ao comparar a quantidade de RSU gerada e coletada, em 2014, percebe-se que o país contou com um índice de cobertura de coleta de 90,6% dos resíduos gerados. A FIGURA 1 apresenta o percentual de coleta de resíduos sólidos urbanos das regiões do Brasil, em 2014, sendo o maior índice de coleta observado na região sudeste e o menor na região Nordeste.

FIGURA 1 - Índice de abrangência da coleta de resíduos sólidos urbanos (%) nas regiões do Brasil em 2014



Fonte: ABRELPE, 2014

Observa-se que os maiores índices de coleta do país estão nas regiões que possuem maior valor equivalente investido por habitante nesse tipo de serviço. A TABELA 1 apresenta dados referentes à geração e aos investimentos em gestão dos resíduos sólidos urbanos, sendo possível avaliar através desses, a relação entre a geração, população, recursos aplicados em coleta e índice de atendimento. A variação da geração de resíduos é influenciada pelo PIB do país, de tal maneira que o aumento ou diminuição dos recursos nacionais refletem na produção desses materiais (FADE, 2014).

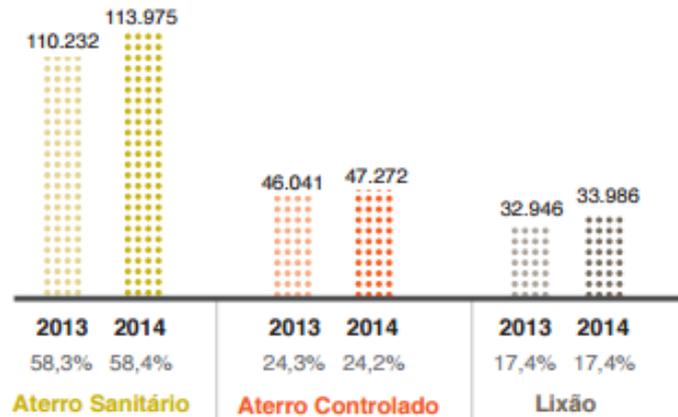
TABELA 1 – Relação entre geração e recursos aplicados na coleta de RSU no Brasil, em 2014

Regiões	População Total	RSU Gerado (t/dia)	Recursos Aplicados na Coleta RSU (R\$ milhões/ano)	Geração per capita (kg/hab/dia)	Valor Equivalente por Habitante (R\$/ mês)
Norte	17.261.983	15.413	681	0,893	3,29
Nordeste	56.186.190	55.177	2.019	0,982	2,99
Centro-Oeste	15.219.608	16.948	572	1,114	3,13
Sudeste	85.115.623	105.431	4.917	1,239	4,81
Sul	29.016.114	22.328	1.231	0,770	3,54
BRASIL	202.799.518	215.297	9.420	1,062	3,87

Fonte: Adaptado de ABRELPE e IBGE, 2014

O aumento da geração implica na necessidade de coleta, tratamento e disposição de maiores volumes, conseqüentemente, de infraestruturas mais complexas de disposição. A FIGURA 2 e a TABELA 2 mostram o panorama nacional das unidades de disposição final e a quantidade de municípios por tipo de disposição adotada em 2014 por região, respectivamente. Ao se avaliar os dados relacionados à disposição final de 2014, observa-se que aproximadamente 58% dos resíduos gerados eram dispostos em aterros sanitários. Em relação ao número de municípios, cerca de 28% deles dispunham seus resíduos em lixões, sendo a maior parte desses localizada no Nordeste (834 dos 1559 municípios da região).

FIGURA 2 - Disposição final de resíduos sólidos urbanos (t/dia) no Brasil, em 2013 e 2014



Fonte: ABRELPE, 2014

TABELA 2 – Quantidade de municípios por tipo de disposição de resíduos sólidos urbanos adotada, no Brasil e por região - 2014

Destinação Final	2014 - Regiões e Brasil					
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
Aterro Sanitário	93	455	164	820	704	2.236
Aterro Controlado	112	505	147	644	367	1.775
Lixão	245	834	156	204	120	1.559
BRASIL	450	1.794	467	1.668	1.191	5.570

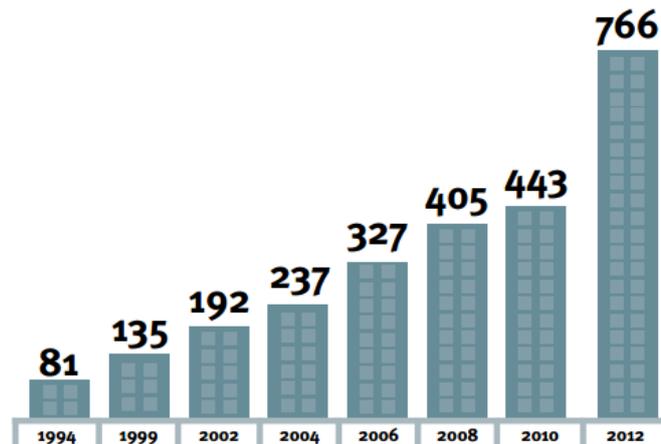
Fonte: ABRELPE, 2014

Dentre as soluções para redução dos volumes dispostos inadequadamente (em lixões e aterros controlados) e conseqüentemente melhoria dos índices nacionais, a reciclagem aparece como uma das melhores alternativas. A reciclagem é uma importante etapa na gestão dos resíduos sólidos, pois proporciona a destinação adequada de grande parcela desses, gerando benefícios econômicos, sociais e ambientais. Segundo CEMPRE (2010), os benefícios da reciclagem são: redução no volume de resíduo aterrado e impactos ambientais; preservação dos recursos naturais; economia de energia; geração de novos negócios e empregos, diretos e indiretos.

Em 2012, estimou-se que foram realmente recuperados apenas 27% dos resíduos passíveis de reciclagem (fração seca) coletados nas cidades brasileiras, ou seja, cerca de 8,6% do total de RSU gerados foram efetivamente reaproveitados na cadeia produtiva, não sendo dispostos em aterros ou lixões (LCA Consultores e IPEA, 2012 *apud* CEMPRE, 2013). O

mesmo levantamento estima que a coleta, a triagem e o processamento dos resíduos em indústrias recicladoras no Brasil tiveram o faturamento de R\$ 10 bilhões em 2012. A FIGURA 3 apresenta o número de municípios que possuíam iniciativas de coleta seletiva no Brasil, em 2013.

FIGURA 3 - Número de municípios com iniciativas de coleta seletiva no Brasil, de 1994 a 2012



Fonte: CEMPRE/Ciclosoft, 2013

As modalidades de coleta seletiva mais comumente adotadas no Brasil, segundo Silva (2014) são: Porta a porta, Ponto de entrega voluntária (PEV), Postos de troca e por catadores. Segundo dados do CEMPRE (2014), os programas de maior êxito são aqueles em que há uma combinação dos modelos de coleta seletiva, sendo que, em 2014, 80% dos municípios utilizavam coleta de porta em porta, 45% Postos de Entrega Voluntária e 76% cooperativas de catadores, como parte integrante da coleta seletiva municipal.

3.2. Panorama da gestão dos resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais

De acordo com dados do IBGE (2016c), Minas Gerais apresenta extensão territorial de 586.519,727 km² e população estimada, em 2015, de 20.869.101 habitantes, distribuídos em um total de 853 municípios. Em relação à densidade populacional e rendimento nominal mensal domiciliar per capita da população residente, em 2015, são apresentados os valores de 33,41 hab/km² e R\$ 1.128, respectivamente (IBGE, 2016c).

O estado é o segundo mais populoso do Brasil e apresenta indicadores de coleta de RSU próximos da média nacional. A TABELA 3 representa o panorama geração e da coleta

dos RSU em Minas Gerais, sendo observado um percentual coletado no estado de 90,33% em 2013 e 90,83% em 2014 (ABRELPE e IBGE, 2014).

TABELA 3 –Geração e coleta de resíduos sólidos urbanos no estado de Minas Gerais, em 2013 e 2014

População Total		RSU Coletado				RSU Gerado (t/dia)	
		(kg/hab/dia)		(t/dia)			
2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
20.593.356	20.734.097	0,810	0,831	16.684	17.225	18.470	18.962

Fonte: Pesquisa ABRELPE e IBGE, 2014

O índice de pessoas atendidas por sistemas de tratamento e/ou disposição final regularizados ambientalmente, em 2014, foi de 54,08% (FEAM, 2015). Observa-se que as Superintendências Regionais de Meio Ambiente (SUPRAM) Central Metropolitana e do Triângulo Mineiro apresentaram os melhores resultados, com valores de 84% e 75%, respectivamente. Os piores resultados foram registrados nas SUPRAM's Norte (75%), Jequitinhonha (58%), Noroeste (42%) e Alto São Francisco (41%). Ao se avaliar os números, é possível identificar a relação entre os indicadores e o aspecto econômico das regiões, tendo em vista que os melhores resultados estão nas regionais mais ricas do estado.

3.3. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) define destinação e disposição final adequada como:

“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; “

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

Sendo assim, serão apresentadas a seguir, algumas das alternativas mais utilizadas para disposição final, ambientalmente correta ou não.

3.3.1. Lixão

Segundo a Deliberação Normativa COPAM nº118/2008, lixão é a maneira inadequada de disposição final dos RSU, essa forma de disposição não considera critérios técnicos e medidas de proteção ambiental ou à saúde pública, sendo evidenciado a simples descarga a “céu aberto”. Os resíduos são simplesmente descartados sobre o solo, não havendo controle sobre os materiais recebidos, podendo-se verificar até a presença de rejeitos de origem industrial e do serviço de saúde (CEMPRE, 2010).

Os resíduos presentes nos lixões geram chorume que, como consequência, oferecem grandes riscos de contaminação das águas subterrâneas, dos solos e do ar, além de promover à proliferação de macro e micro vetores transmissores de diversas patologias (JÚNIOR *et al*, 2009). O aspecto social também é diretamente afetado nessas unidades, tendo em vista que além da degradação ambiental, há o impacto moral gerado pela presença de catadores informais (BARROS, 2012). O esquema de disposição em lixão é mostrado na FIGURA 4.

FIGURA 4 – Esquema de disposição de resíduos sólidos urbanos em lixões



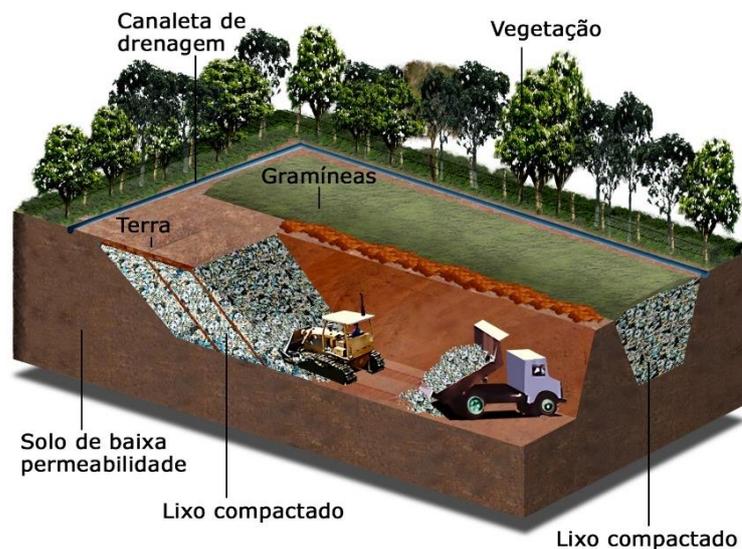
Fonte: FEAM, 2010

3.3.2. Aterro controlado

De acordo com Deliberação Normativa COPAM nº118/2008, aterro controlado é uma técnica de disposição de RSU no solo, que não gera danos ou riscos à saúde pública e a à segurança, reduzindo os impactos ambientais. Entretanto, observa-se que os aterros controlados não possuem grandes diferenças dos lixões, pois esses também não possuem os requisitos necessários para a evitar e minimizar impactos ambientais (ABRELPE, 2012).

Esses empreendimentos utilizam técnicas de engenharia para o recobrimento dos resíduos sólidos, minimizando os impactos sociais. Segundo a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM, 2006a), essa técnica de disposição produz em geral, poluição localizada, pois não há impermeabilização de base, sistema de tratamento de percolado ou de extração e queima controlada dos gases gerados. A FIGURA 5 representa as unidades citadas anteriormente.

FIGURA 5 – Esquema de disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros controlados



Fonte: FEAM, 2008

3.3.3. Aterro sanitário

Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é definido pela NBR 8419 de 1992 como:

“Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este

que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.”

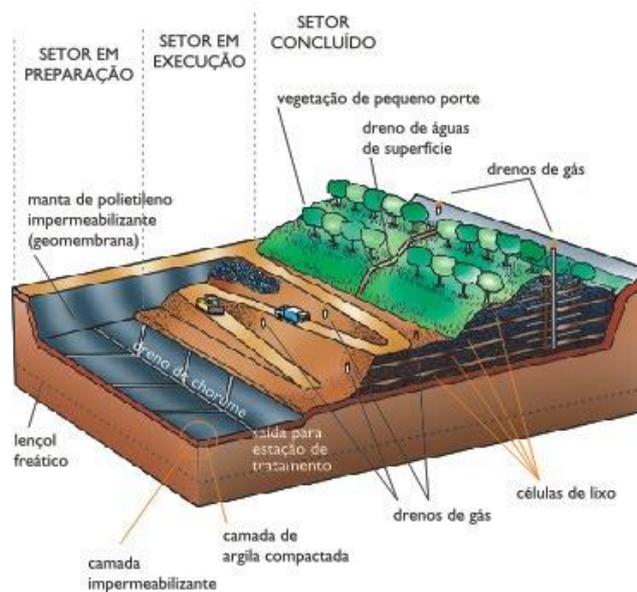
Segundo a FEAM (2006a), este método de disposição final dos resíduos deve contar com os seguintes sistemas de proteção ambiental: impermeabilização de base e laterais; recobrimento diário e cobertura final; coleta e drenagem de líquidos percolados; coleta e tratamentos dos gases; drenagem superficial; tratamento de líquidos percolados e monitoramento.

De acordo com Silva (2014), a quantidade de resíduos destinada aos aterros sanitários deve ser controlada, sendo essa gestão realizada através de balança na entrada. É proibido o acesso de pessoas estranhas ao local e os gases capturados pelo sistema de drenagem de gases – consequência da decomposição anaeróbia - podem ser queimados ou tratados e utilizados como fonte de energia (aterros energéticos).

Anteriormente à elaboração do projeto, deve-se realizar estudos geológicos, topográficos e verificação do tipo de solo, visando a definição da área onde será implantado o empreendimento (MUÑOZ, 2002). A Deliberação Normativa COPAM nº118/2008 ainda prevê requisitos mínimos, a serem implementados e mantidos pelo município até que seja implantado, esses envolvendo desde a localização da planta e periodicidade de recobrimento do solo, até a proibição da permanência de pessoas no local para fins de catação.

Os critérios para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos devem estar de acordo com a NBR 13896 de 1997. As exigências presentes nessa norma englobam desde a escolha da área do projeto até a operação e monitoramento. É sugerido que o tamanho da área disponível permita uma vida útil mínima do empreendimento de 10 anos. A FIGURA 6 ilustra as unidades presentes em um aterro sanitário.

FIGURA 6 – Ilustração esquemática de um aterro sanitário, considerando as unidades básicas de funcionamento



Fonte: IPT/CEMPRE, 2000

3.4. Reciclagem e demais tratamentos dos resíduos sólidos urbanos

A PNRS (2010) apresenta, em seus objetivos, a priorização da não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, e por fim, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, seguindo essa mesma ordem. Após a geração e na impossibilidade da reutilização dos resíduos sólidos, as tecnologias de reciclagem e demais tratamento são aplicadas, sendo essas largamente adotadas.

De acordo com a PNRS (2010) a reciclagem é o conjunto de procedimentos utilizados na transformação dos resíduos sólidos, permitindo alterações físicas, físico-químicas ou biológicas nas propriedades dos materiais, buscando a valorização dos insumos ou produtos gerados. Já tratamento dos RSU é definido pela FADE (2014) como uma série de processos que possuem como objetivo a redução do lançamento dos poluentes no meio ambiente, otimização econômica dos materiais gerados e a redução os impactos sanitários ao homem. Para que esses objetivos sejam alcançados, são utilizados procedimentos físicos, químicos e biológicos.

Tecnologias de reciclagem e demais tratamentos podem ser ou não aplicadas em conjunto, visando a melhoria do processo. A seguir, são apresentadas alternativas de tratamento de RSU, além da reciclagem, disponíveis no mercado.

3.4.1. Incineração

Para Barros (2012), a incineração é um processo que visa a redução da massa e volume dos resíduos sólidos, e pode obter resultados de até 70%, através de combustão controlada, com monitoramento permanente. De acordo com Morgado e Ferreira (2006), através desse processo há combustão completa dos resíduos, garantindo o tratamento sanitário e a destruição de componentes orgânicos.

Trata-se de uma técnica prevista legalmente, havendo necessidade de atendimento de padrões técnicos previstos em normas. Dentre as legislações e normas aplicáveis a incineração, ressalta-se a Resolução CONAMA nº 316, de 2002 e a NBR11.175/1990. A primeira dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, e a segunda, prevê padrões de desempenho dessas unidades, fixando condições exigíveis de desempenho do equipamento, excluindo para os resíduos classificados somente por patogenicidade ou inflamabilidade.

Quina (2005) apresenta como desvantagens do processo de incineração: alguns materiais incinerados poderiam ser reciclados, há risco de contaminação ambiental se as condições operatórias não forem adequadas e sejam gerados resíduos sólidos perigosos. A mesma autora ainda compara as vantagens inerentes ao processo de incineração em relação a outras formas de tratamento de RSU, sendo estas:

- “- redução dos resíduos em cerca de 70% em massa e 90% em volume (concentra a parte inorgânica);
- valorização energética, o que pode tornar os custos de operação muito baixos;
- destruição dos agentes patogênicos;
- destruição dos contaminantes orgânicos, não necessitando das lentas reações biológicas;
- as unidades de incineração podem ser construídas perto das grandes fontes de produção de RSU, reduzindo os custos de transporte;
- o controle das emissões gasosas garante os valores limites de emissão;
- destruição em massa, sem necessidade de haver coleta seletiva ou pré-tratamento.”

Portanto, trata-se de uma alternativa de tratamento dos RSU interessante, pois reduz o volume disposto e proporciona geração de energia. Para Barros (2012), devido a necessidade de aterramento dos remanescentes, essa tecnologia não é considerada de disposição final, mas sim de tratamento térmico.

3.4.2. Reciclagem

Para FEAM (2006b), a triagem é a separação manual dos diversos tipos de resíduos, sendo esses divididos em grupos de acordo com a sua característica, podendo ser subdividido como matéria orgânica, materiais recicláveis, rejeitos e resíduos sólidos específicos. O mesmo autor cita que a triagem é simplificada naqueles municípios que apresentam coleta seletiva, pois os materiais são previamente separados.

As unidades de triagem podem ser manuais ou mecanizadas. As unidades manuais são adotadas em municípios com baixa geração – entre 5 e 10 t/dia – devido aos baixos custos de operação. Já as mecanizadas são mais complexas e geralmente são adotadas quando a geração de RSU supera 15 t/dia. (FADE, 2014). Segundo CEMPRE (2010), essas tecnologias podem reduzir consideravelmente a quantidade de resíduos encaminhados para aterros, podendo atingir taxas de 50% quando bem gerenciadas.

Os procedimentos de triagem são fundamentais para o processo de reciclagem, pois permitem que os materiais sejam agrupados de forma que possam ser comercializados para indústrias recicladoras. De acordo com IPEA (2010 *apud* CEMPRE, 2013), os resíduos mais descartados são o alumínio, aço, vidro, papel, papelão e longa-vida, plástico e matéria orgânica, sendo esses grupos comuns nas UTC's brasileiras.

Segundo ABRELPE (2015), a reciclagem permite redução do consumo de insumos na produção de produtos, pois consiste no beneficiamento e reaproveitamento de materiais e, normalmente, grande consumo de energia. Dentre as vantagens da reciclagem apresentadas pelo mesmo autor, cita-se a ampliação do tempo de vida útil de aterros sanitários devido a redução dos resíduos coletados e dispostos, geração de empregos e preservação ambiental. Entretanto, os custos de uma coleta diferenciada, a necessidade de participação popular e a alteração do processo tecnológico para o processamento dos materiais ainda são desvantagens desse processo.

3.4.3. Compostagem

Budziak *et al.* (2003) define compostagem como um processo de tratamento e estabilização de resíduos orgânicos, que utiliza microrganismos aeróbios para a produção do composto, nome dado ao fertilizante orgânico produzido. Segundo Barreira *et al* (2006), a maior parte das usinas de compostagens brasileiras utilizam-se de processos naturais, pois a

matéria orgânica é disposta formando leiras nos pátios, após ser segregada dos demais resíduos, havendo revolvimento periódico do material, visando melhoraria da aeração.

Trata-se de um processo controlado, que deve garantir a atividade microbiológica, e para isso as condições físico-químicas devem estar adequadas, mantendo-se os seguintes controles: local (pátio de compostagem), disposição e configuração da matéria orgânica nas leiras, umidade, temperatura, aeração, nutrientes, tamanho das partículas e pH (FEAM, 2006b). O composto pode ser aplicado para produção de alimentos; parques, jardins e playground; projetos paisagísticos; reflorestamento; hortos e produção de mudas; recuperação de solos; controle de erosão; proteção de encostas e taludes; coberturas de aterros, entre outros. (PEREIRA, NETO, 2007 *apud* OLINTO *et al*, 2012). O QUADRO 1 apresenta as vantagens e desvantagens da compostagem.

QUADRO 1 – Vantagens e desvantagens do processo de compostagem

Vantagens	Desvantagens
Reduz a massa e o volume dos resíduos;	Custo dos equipamentos necessários;
Reduz o odor;	Processo relativamente demorado o que limita a utilização para o tratamento de grandes quantidades de resíduos;
Destrói patogênicos;	Necessidade de um mercado para venda do produto;
Elimina sementes de ervas daninhas;	Duração do processo;
Produz um composto com valor de mercado;	Perda de azoto sob a forma de amoníaco;
Aumenta a retenção de água do solo;	Emissões de odores e bioaerossóis durante o processo;
Diminui a quantidade de poluentes emitidos, na medida em que o azoto é incorporado no material, reduzindo a sua emissão para atmosfera;	Processo normalmente influenciado pela temperatura ambiente;
Contribui para a diminuição da deposição de resíduos em aterro bem como para o aumento de resíduos reciclados;	Possibilidade de existirem patogênicos no produto final;
Produz um composto com utilidade nos solos;	
Permite a reciclagem de um recurso valioso;	
Reduz a dependência em fertilizantes minerais e a necessidade de utilizar pesticidas	Emissão de matéria particulada e de alérgicos.

Fonte: Costa, 2014

3.5. Critérios de projeto de aterros sanitários

De acordo com a NBR 8419 (ABNT, 1992), os projetos de aterros sanitários devem ser constituídos por: memorial descritivo; memorial técnico; cronograma de execução e estimativa de custos; desenhos e eventuais anexos. Esta norma ainda detalha os itens previstos em cada e subitem, sendo esses apresentados no QUADRO 2:

QUADRO 2 – Itens componentes de projetos de aterros sanitários segundo à NBR 8419/1992

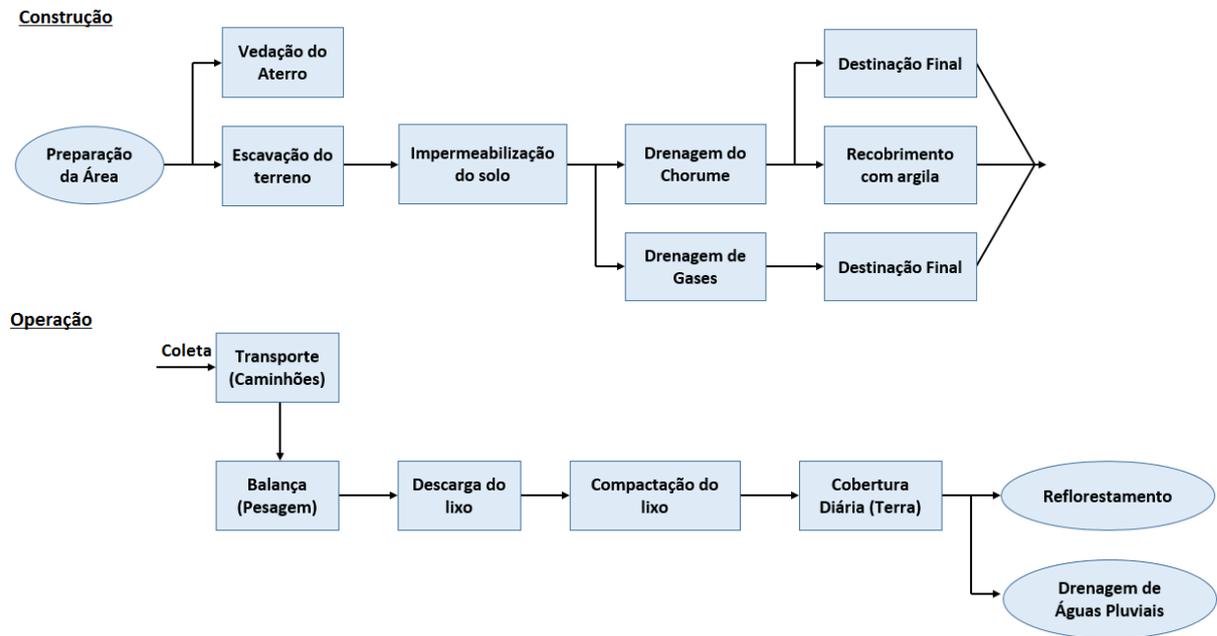
Memorial descritivo	Memorial Técnico	Estimativa de Custo e Cronograma	Apresentação dos Desenhos
Informações cadastrais;	Cálculo dos elementos do projeto;	Equipamentos utilizados;	Concepção geral;
Informações sobre os resíduos a serem dispostos no aterro sanitário;	Vida útil do aterro sanitário;	Mão-de-obra empregada;	Indicação das áreas de deposição dos resíduos sólidos;
Caracterização do local destinado ao aterro sanitário;	Sistema de drenagem superficial;	Materiais utilizados;	Sistema de drenagem superficial e subsuperficial;
Concepção e justificativa do projeto;	Sistema de drenagem e remoção de percolado;	Instalações e serviços de apoio.	Sistema de drenagem de gases;
Descrição e especificações dos elementos do projeto;	Sistema de drenagem de gás;	Cronograma	Sistema de tratamento do percolado;
Operação do aterro sanitário;	Sistema de tratamento de percolado;		Representação do aterro concluído;
Uso futuro da área do aterro sanitário.	Cálculo de estabilidade dos maciços de terra e dos resíduos sólidos dispostos.		Cortes;
			Detalhes importantes.

Fonte: Autor

Segundo FADE (2014), os procedimentos de operação do aterro sanitário são simples, mas devem ser sistematizados para que sua eficiência seja maximizada, visando garantir que a planta continue sendo a destinação final sanitária e ambientalmente adequada dos resíduos

sólidos urbanos, ao longo de sua vida útil. O fluxograma de construção e operação de aterros sanitários é mostrado na FIGURA 7.

FIGURA 7– Fluxograma com as etapas de construção e operação de aterro sanitário



Fonte: Adaptado de CREA-PR, 2009 *apud* Habitat Ecológico Ltda, 2009

Dentre as informações necessárias para o planejamento, construção e operação de um aterro sanitário, o tempo de vida útil do mesmo é fundamental. Essa expressão pode ser definida como o tempo de operação até que a unidade sature sua capacidade de recebimento de resíduos e é utilizado para determinação do tamanho da planta e das unidades de tratamento.

Como citado no QUADRO 2, o cálculo do tempo de vida útil é realizado junto ao memorial técnico do projeto. A NBR 13896/1997 recomenda que o tamanho disponível da unidade construída resulte em um período de operação mínimo de 10 anos, tendo em vista viabilidade econômica.

Para determinação da vida útil de um projeto, deve-se considerar a quantidade de resíduos depositados e o volume disponível para aterramento na unidade. O CREA-PR (2009) propõe uma matriz de volumes e pesos – representada pela FIGURA 8 – que auxilia nos cálculos, sendo o volume anual representado pela equação 1.

$$V = 365 * TD * 1000/PE \quad (\text{Equação 1})$$

V = Volume anual em m³

TD = Toneladas diárias coletadas (t/dia)

PE = Peso específico dos resíduos compactados no aterro (t/m³)

FIGURA 8 – Matriz de cálculo do tempo de vida útil de aterros sanitários

Ano	Habitantes (hab.)	Per Capita (Kg/hab./dia)	Atendimento (%)	TD (ton./dia)	Volume Anual (m ³ /ano)	Volume Acumulado (m ³)	Vol.Acum. + terra (m ³ + %)
-----	-------------------	--------------------------	-----------------	---------------	------------------------------------	------------------------------------	--

Fonte: CREA-PR, 2009

A percentagem de terra utilizada no recobrimento varia entre 10 a 20% do total de volume acumulado, sendo essa acrescida na soma final. O peso específico mantém-se na faixa entre 350 e 900 kg/m³, dependendo do grau de compactação (CREA-PR, 2009). Em caso de existência de etapas de reciclagem, compostagem ou incineração parcial, a matriz deverá ser adaptada às condições existentes.

Dentre os fatores que são capazes de ampliar o tempo de operação de um aterro sanitário estão as iniciativas de coleta seletiva, as usinas de triagem e compostagem e compactação e/ou trituração dos resíduos. Essas ferramentas e unidades de gerenciamento de resíduos sólidos fazem com que haja menores volumes aterrados, conseqüentemente ampliando o tempo de vida útil do empreendimento.

3.6. Planejamento e análise econômica de projetos

Planejamento é definido por Santos (2004) como processo contínuo que relaciona a coleta, organização e análise dos dados, através de procedimentos e métodos que direcionam as tomadas de decisão que buscarão atingir as metas adotadas.

Os planejamentos devem considerar a viabilidade do projeto, levando em conta os aspectos técnicos, ambientais, econômicos e sociais. O planejamento dos investimentos e resultados esperados devem levar em consideração a execução e controle das atividades, considerando as variáveis externas ao investimento analisado, avaliando os riscos e embasando-se tecnicamente nas tomadas de decisão, visando evitar problemas futuros para o desenvolvimento de determinado empreendimento. (VILELA *et al*, 2013)

Diversas são as técnicas de análise de viabilidade econômica de investimentos, entretanto elas focam em um único objetivo: apoiar a tomada de decisão de investir ou não em

um determinado projeto (VILELA *et al*, 2013). A seguir, são apresentados os métodos conceitos de análise de investimentos que serão citados no decorrer da presente pesquisa e que são comumente utilizados.

Fluxo de Caixa: Para Hirschfeld (2000), o fluxo de caixa é a representação analítica ou gráfica ao longo do tempo das movimentações monetárias. A análise do fluxo de caixa é utilizada, segundo Gazzoni (2003) para controle financeiro e apoio nas tomadas de decisão, visando atingir os objetivos da organização. A autora ainda destaca que essa ferramenta possibilita avaliar os recursos financeiros disponíveis, e alocá-los de forma mais eficiente, levando em consideração cenários futuros.

Valor Presente Líquido (VPL): O Valor Presente Líquido, também chamado VPL, é utilizado como indicador de avaliação econômica de projetos, tendo como metodologia a subtração dos benefícios e custos sobre sua taxa de desconto (FURLANETO e ESPERANCINI, 2009). Caso seja realizada a análise do VPL em relação a todos benefícios e custos presentes no Fluxo de Caixa, pode-se encontrar o Valor Presente Geral do Fluxo De Caixa, conseqüentemente determinar se o projeto é viável ou não (HIRSCHFELD, 2000).

$$VPL = \sum_{i=0}^n \frac{B_i - C_i}{(1 + r)^i} \quad (\text{Equação 2})$$

B_i = Retorno ou benefício esperado do projeto, em unidades monetárias, no ano i ;

C_i = Fluxo de custos, em unidades monetárias, no ano i ;

r = taxa de desconto;

i = Contador de tempo

Sendo assim, entende-se os resultados como:

$VPL > 0$: Predominância dos benefícios. Portanto, o projeto é viável economicamente.

$VPL = 0$: Indiferente.

$VPL < 0$: Predominância dos custos. Deste modo, o projeto não é viável economicamente.

Taxa Interna de Retorno (TIR): É a taxa de desconto que resultaria em um VPL igual a zero, dos quais o valor encontrado é utilizado para estudar a viabilidade de um projeto. Essa taxa deve ser analisada em conjunto com a Taxa Mínima de Atratividade e os Custos de Oportunidade do capital em uso. (FURLANETO e ESPERANCINI, 2009)

$$TIR = \sum_{i=0}^n \frac{B_i - C_i}{(1 + r)^i} = 0 \quad (\text{Equação 3})$$

B_i = Retorno ou benefício esperado do projeto, em unidades monetárias, no ano i ;

C_i = Fluxo de custos, em unidades monetárias, no ano i ;

r = taxa de desconto;

i = Contador de tempo

Taxa Mínima de Atratividade (TMA): É definida como retorno econômico mínimo esperado em relação aos investimentos por parte da organização, de maneira a gerar lucros. (MALLMANN, 2012). Trata-se de uma ferramenta importante em projetos de investimento, pois as metodologias do VPL e TIR baseiam-se em fluxos de caixa descontados a uma determinada taxa, sendo essa a TMA (SCHROEDER *et al*, 2004).

Payback: Utilizado para avaliar o período que levará o investimento inicial para recuperar o valor investido, também podendo ser explicado como período entre o início e momento em que o investimento alcança resultados positivos. (DAL ZOT, 2008). O *payback* pode ser dividido entre simples e descontado, sendo seus conceitos apresentados a seguir.

a) **Payback Simples:** Essa medida considera a quantidade de períodos em que o projeto levará para obter o retorno igual ao investimento inicial, sendo calculado a partir da divisão do total de investimento pelo saldo acumulado em cada período. Trata-se de um importante critério em investimentos com valores semelhantes, tendo em vista que resultados menores de *payback* são melhores para os investidores (DUARTE, 2007)

$$\text{Payback simples} = \frac{\text{Valor do Investimento}}{\text{Valor do Fluxo Periódico Esperado}} \quad (\text{Equação 4})$$

b) *Payback Descontado*: Possui conceito semelhante do *payback* simples, entretanto visa corrigir a deficiência do mesmo em relação a consideração do dinheiro no tempo, relacionando-se com valores presentes no fluxo de caixa (DAL ZOT, 2008). Duarte (2007) explica a metodologia de cálculo *payback* descontado em três etapas, sendo a primeira a determinação do TMA, em seguida, calcula-se todos os VPL dos fluxos de caixa e finaliza-se através do critério do período *Payback* Simples, considerando os valores presentes e não nos valores dos fluxos.

$$FCC(t) = -I + \sum_{j=1}^n \frac{R_j - C_j}{(1+i)^j} \quad (\text{Equação 5})$$

FCC (t) = Valor presente do capital;

I = Investimento inicial em módulo;

R_j = Receita proveniente do ano j;

C_j = Custo proveniente do ano j;

i = Taxa de Juros empregadas;

j = Índice genérico que representa os períodos j = I a t.

Razão Benefício/Custo: Nessa metodologia, os custos e receitas são descontados separadamente em relação a uma determinada taxa, resultando em um valor descontado. São considerados viáveis os projetos que possuem relação benefício e custo maior que 1. (BERGER, 1980)

$$\text{Relação } \frac{B}{C} = \frac{\sum_{j=0}^n R_j / (1+i)^j}{\sum_{j=0}^n C_j / (1+i)^j} \quad (\text{Equação 6})$$

R_j = Receitas oriundas do projeto no ano j;

C_j = Custo do projeto no ano j;

i = Taxa de desconto;

n = Vida útil do projeto

As ferramentas apresentadas são de suma importância, pois possibilitam a tomada decisões conforme os recursos disponíveis. Aplicando as metodologias ao caso dos aterros

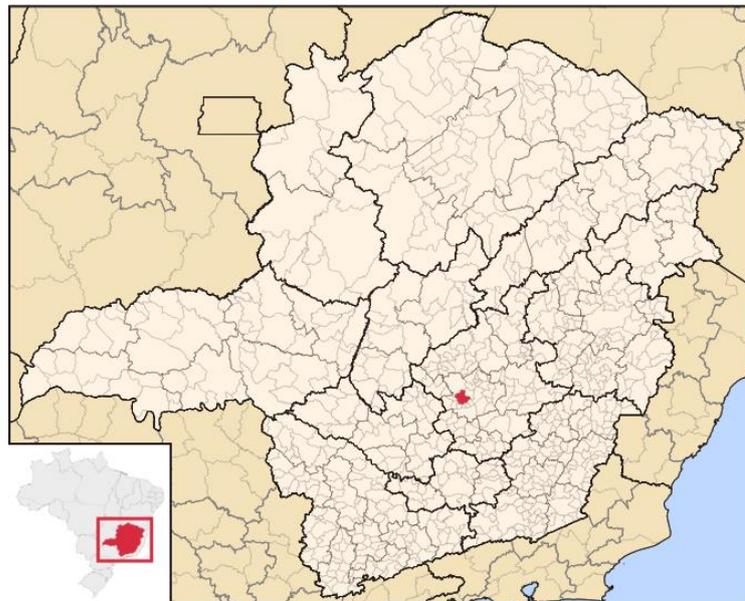
sanitários, indica-se a avaliação do fluxo de caixa analiticamente, permitindo a melhor gestão dos custos e receitas envolvidos na manutenção das atividades do mesmo, permitindo também a identificação do perfil das despesas que representam maior impacto no montante total dos investimentos fixos, apoiando a definição de estratégias para otimizar recursos (CAMPOS, 2008).

4. METODOLOGIA

4.1 Caracterização do município de Betim – MG

O Município de Betim - MG conta com território de 343,736 km², população estimada em 417.307, habitantes no ano de 2015 (IBGE, 2016d) e faz fronteira com Esmeraldas, Contagem, Juatuba, Igarapé, Ibirité, São Joaquim de Bicas, Mário Campos e Sarzedo. Betim está situada na Região Metropolitana de Belo Horizonte e inserida na bacia do rio Paraopeba, afluente do rio São Francisco (FEAM, 2009). A FIGURA 9 mostra a localização de Betim em relação ao estado de Minas Gerais.

FIGURA 9 – Localização de Betim em Minas Gerais



Fonte: CAMPOS e ABREU, 2006

A agropecuária, indústria e comércio são os pilares da economia do município. Segundo a FEAM (2009), destaca-se a participação de setores do ramo automobilístico, siderúrgico, metalúrgico, têxtil, turismo, alimentício, vestuário, petroquímico e de cerâmica. A Indústria de Transformação apresenta maior participação na geração de empregos formais, tendo taxa de 45,30%, em 2010 (BETIM, 2015a)

De acordo com BETIM (2015b), outra característica relevante é a população flutuante proveniente das cidades metropolitanas, que se mostra considerável, tendo em vista o alto número de pessoas que residem em outras cidades e trabalham no município e vice-versa. O presente fenômeno influencia a mobilidade espacial e na metropolização da região e faz com

que haja alterações na geração de resíduos, que podem levar problemas a dimensionamento nos projetos de tratamento e disposição, sendo necessários cuidados para evitar possíveis estimativas errôneas.

As variações apresentadas refletem na produção de resíduos de Betim, sendo gerado um total de 82.152.120 kg em 2014. Em 2015, a coleta dos resíduos comerciais e públicos foi realizada em conjunto com os domiciliares, resultando em um percentual de 98,43% para esses resíduos, 0,73% para os de serviço de saúde e 0,83% para coleta seletiva (BETIM, 2015b). Segundo o mesmo estudo, em relação à composição gravimétrica de 2009, aproximadamente 54,5% dos RSU eram compostos por matéria orgânica, 25,5% por materiais recicláveis e outros 20,0% por não recicláveis.

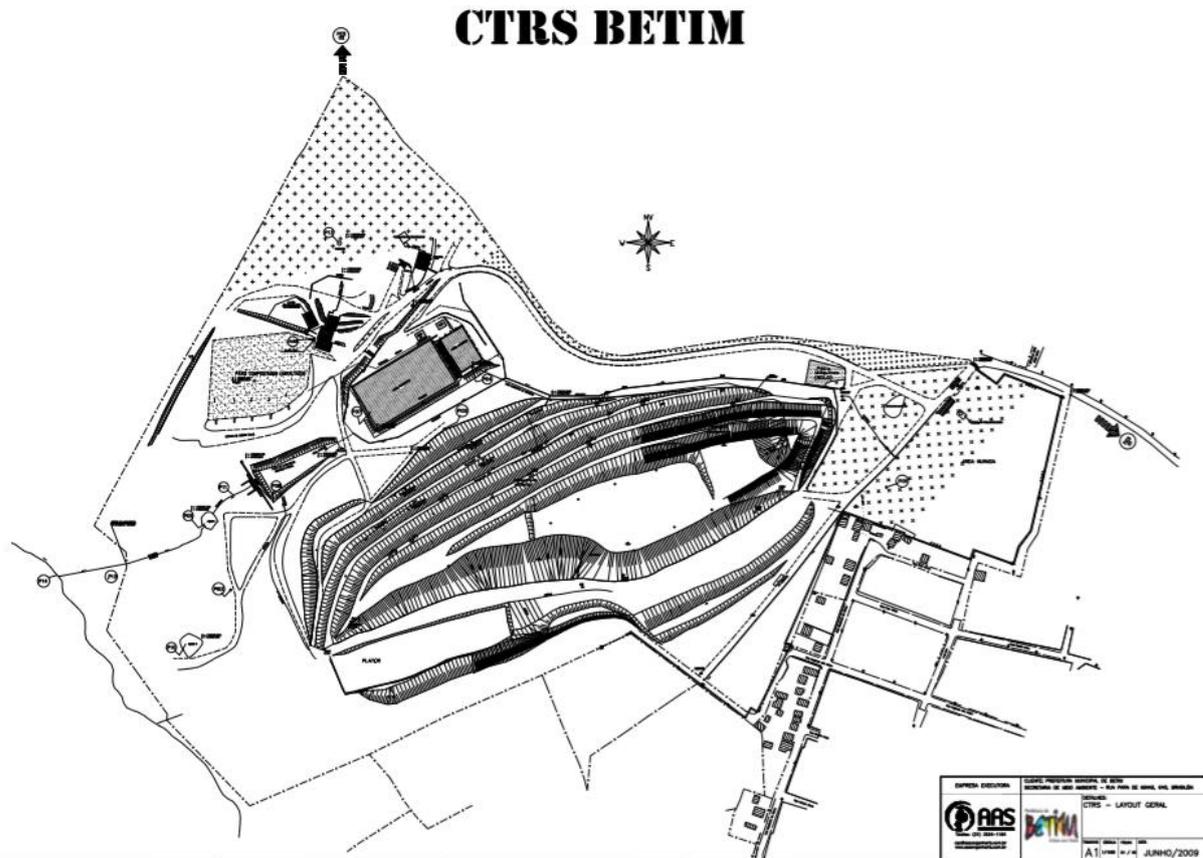
Observa-se, ainda, que houve crescimento considerável da geração de resíduos sólidos urbanos em Betim ao decorrer dos anos, assim como de sua população. Segundo dados do IBGE (2016e), a população do município partiu de 247.921 habitantes, em 1996, para 378.089 habitantes, em 2010, representando um crescimento de aproximadamente 52,50%. Este fato corroborou com a maior geração dos RSU, assim como o aumento *per capita*, que passou de 0,280 kg/(hab.dia), em 1997, para 0,512 kg/(hab.dia), em 2011 (BETIM, 2015b).

4.2. Descrição da área de estudo

A Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) de Betim, Minas Gerais, foi inaugurada em novembro de 1996 e encerrada em dezembro de 2011 (desativado para disposição de resíduos sólidos urbanos), no bairro São Salvador, localizada na regional Citrolândia (BETIM, 2015b). O empreendimento foi criado visando a disposição adequada dos resíduos sólidos gerados, que até então eram encaminhados para o lixão do bairro Nossa Senhora das Graças.

O empreendimento está localizado na Sub-bacia hidrográfica do Rio Paraopeba, que é um dos afluentes do Rio São Francisco. A planta contava com uma área de aproximadamente 34 ha, localizada na BR-381, km 492, a 08 km do centro. A FIGURA 10 mostra a planta da área de estudo, localizada à 44°14'00,4"S e 20°00'56,6"E.

FIGURA 10 – Localização da área de estudo – CTRS Betim



Fonte: AAS Engenharia Ambiental, 2009

Segundo o Estudo de Impacto Ambiental do empreendimento (SEEBLA,1994), o terreno é proveniente de desapropriação, não tendo havido necessidade de desmatamento. O solo era predominantemente argilo-arenoso e apresentava declividade suave, conforme a FIGURA 11.

FIGURA 11 – Fotos da área desapropriada para construção da CTRS de Betim, em 1993



- a) Vista da área do aterro onde observa-se a degradação da vegetação local
- b) Vista da área do aterro até no divisor de águas, observando-se ao fundo o limite urbano do bairro Citrolândia.



c) Vista da área do aterro com seu limite na linha dos coqueiros

d) Vista da última rua do bairro Citrolândia, próxima da área do aterro

Fonte: SEEBLA,1994

4.3. Coleta de dados

Os dados do presente trabalho foram obtidos por diferentes fontes. A princípio, foi realizada revisão bibliográfica relacionada a projetos e operação de aterros sanitários, buscando adquirir informações que permitissem mapear o conjunto de elementos necessários nas próximas etapas da pesquisa.

Nos dias 24 de fevereiro e 15 de agosto de 2016, foram realizados levantamentos de dados nos acervos da Prefeitura de Betim, com autorização dos responsáveis pela Limpeza Urbana do município. Foram encontrados dados históricos sobre a Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) de Betim, dentre esses, o primeiro Estudo de Impacto Ambiental do empreendimento (SEEBLA,1994), registros referentes a massa disposta durante os anos de 2010 e 2011 e planilhas de medição dos serviços de operação prestados, contemplando dados de 2001 a 2011.

Também foram disponibilizadas informações por uma das empresas prestadoras de serviços da prefeitura. As informações continham a série histórica da disposição diária de resíduos, no período de janeiro de 2008 a novembro de 2011, e os valores mensais de resíduos coletados entre 2012 e 2014, nos municípios de Betim, Bicas, Ibirité, Igarapé, Mário Campos e Sarzedo.

Por fim, realizou-se uma vasta busca eletrônica, sendo consultados diferentes *sites* e periódicos. A partir dessa pesquisa, dados como o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Betim e licenças ambientais do empreendimento foram incorporadas ao material básico de consulta.

4.4. Adequação dos dados brutos

Através dos dados secundários coletados foi possível trabalhar as informações, com intuito de subsidiar as propostas subsequentes e determinar os resultados. A priori, são tratados nesse item, os temas relativos ao modelo matemático referente a geração mensal de RSU, à composição gravimétrica anual e aos custos e receitas envolvidos na manutenção das atividades.

4.4.1 Determinação do modelo

A fim de obter maior detalhamento do perfil de geração de resíduos do município de Betim, buscou-se determinar a variação sazonal. Estas informações ampliaram o banco de dados, apoiando as análises realizadas nas tomadas de decisão, avaliação do potencial de processamento e resultados. Para isso, foram utilizados, como valores de referência no dimensionamento das unidades propostas nesse trabalho, os totais anuais de geração de resíduos presentes na TABELA 4 e os dados de composição gravimétrica que serão apresentados posteriormente.

TABELA 4 – Quantidade de resíduos sólidos gerados no Município de Betim - MG (kg/ano), de 1997 a 2014

Ano	Total
1997	27.615.150
1998	37.030.510
1999	43.066.575
2000	46.203.800
2001	47.684.895
2002	53.973.190
2003	51.782.175
2004	53.235.120
2005	55.369.640
2006	60.240.230
2007	65.863.090
2008	71.140.000
2009	75.431.160
2010	77.022.465
2011	71.996.710
2012	81.461.130
2013	82.909.820
2014	82.152.120
Total	1.084.177.780

Fonte: Adaptado de BETIM, 2015b *apud* Viasolo Engenharia Ambiental S/A

Tendo em vista a indisponibilidade de dados na literatura referentes ao perfil da geração mensal de resíduos no município de Betim, afim de definir a média mensal de RSU coletada, buscou-se dados relativos à geração diária junto à uma empresa terceirizada da prefeitura. Foi disponibilizada a quantidade anual disposta no aterro sanitário, de janeiro de 2008 à novembro de 2011. Entretanto, os valores cedidos não mostravam-se idênticos aos totais oficiais disponibilizados pela prefeitura, sendo necessária a adequação dos mesmos em função das informações presentes na TABELA 4.

A correção de cada valor cedido pela empresa foi feita de maneira proporcional ao total oficial, não sendo evidenciadas discrepâncias significativas que os invalidassem. Em seguida, foi calculada a média mensal para o período cedido, possibilitando, com auxílio do *software Excel 2013*, a aplicação do Ajuste Polinomial de 6ª ordem e, conseqüentemente, o cálculo do coeficiente de determinação (r^2) e do erro padrão de estimação (σ). O r^2 foi definido através das ferramentas do gráfico presentes no mesmo *software*, diferentemente do cálculo do erro padrão de estimação, que demandou a utilização da equação 7.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(y - \mu)^2}{n - 2}} \quad (\text{Equação 7})$$

Sendo,

σ = Erro padrão de estimação;

y = Variáveis Observadas;

μ = Variáveis Estudadas;

n = Número de dados amostrados;

Após a definição do modelo, criou-se a proporção mensal gerada, a partir do mesmo. Como o modelo relaciona a massa (toneladas) em função do mês, determinou-se a proporção média para cada mês do ano em função do total estimado, sendo esses valores mensais multiplicados pelos totais anuais reais, possibilitando a estimativa da produção mensal de RSU no decorrer dos anos de operação do aterro, conforme o APÊNDICE A.

4.4.2. Relação entre composição gravimétrica e geração de resíduos

A caracterização dos resíduos enquanto sua composição gravimétrica foi fundamentada em dados presentes nos estudos de SEEBLA (1994) e BETIM (2015b). As subdivisões dos grupos de resíduos foram readequadas de tal forma que fosse possível utilizá-las, sendo um exemplo, o agrupamento dos metais ferrosos e não ferrosos em um grupo denominado “metais”. A TABELA 5 apresenta a porcentagem de cada tipo de resíduo avaliado.

TABELA 5 – Composição gravimétrica dos RSU de Betim, referente aos anos de 1994 e 2009

Ano	Matéria Orgânica	Papéis	Plásticos	Metais	Vidro	Rejeito	Total (kg)
1994	47,1	19,3	11,1	3,7	1,3	17,5	100,0
2009	54,5	9,3	11,9	3,2	1,1	20,0	100,0

Fonte: Adaptado de SEEBLA,1994 e BETIM,2015b

Considerando os valores obtidos e demonstrados na TABELA 5, foi criado o perfil quantitativo, por grupo no decorrer dos anos de operação do aterro sanitário, considerando somente a geração dos resíduos comerciais, domésticos e de coleta seletiva, sendo esse representado pela TABELA 6. Os resíduos públicos e de serviço de saúde foram desconsiderados em função da distinção em relação aos demais grupos citados.

TABELA 6 – Relação entre a composição gravimétrica e geração de resíduos sólidos urbanos no município de Betim – MG (t/ano)

Cenário	Ano	Matéria Orgânica	Papéis	Plásticos	Metais	Vidro	Rejeito	Total (t)
1994	1997	12.891	5.282	3.038	1.013	356	4.790	27.369
	1998	17.320	7.097	4.082	1.361	478	6.435	36.772
	1999	19.340	7.925	4.558	1.519	534	7.186	41.062
	2000	21.242	8.704	5.006	1.669	586	7.893	45.100
	2001	21.291	8.724	5.018	1.673	588	7.911	45.203
	2002	24.628	10.092	5.804	1.935	680	9.150	52.288
	2003	23.303	9.549	5.492	1.831	643	8.658	49.476
2009	2004	27.848	4.746	6.086	1.647	573	10.244	51.144
	2005	29.262	4.987	6.395	1.730	602	10.764	53.742
	2006	31.133	5.306	6.804	1.841	640	11.453	57.177
	2007	32.950	5.616	7.201	1.949	678	12.121	60.515
	2008	35.718	6.087	7.806	2.112	735	13.139	65.598

Cenário	Ano	Matéria Orgânica	Papéis	Plásticos	Metais	Vidro	Rejeito	Total (t)
	2009	39.556	6.742	8.645	2.339	814	14.551	72.646
	2010	41.233	7.027	9.011	2.438	848	15.168	75.726
	2011	38.412	6.547	8.395	2.272	790	14.130	70.545
	Total	416.127	104.432	93.341	27.327	9.544	153.593	804.364

Fonte: Adaptado de BETIM, 2015b *apud* Viasolo Engenharia Ambiental S/A

Em virtude da busca por detalhamento, foram definidos dois cenários, o primeiro considerando a composição gravimétrica definida em 1994 e o segundo em 2009. Observa-se que não houve grandes variações, exceto nos papéis, sendo em função disso, a opção da adoção de dois cenários de composição gravimétrica.

4.4.3. Custos reais de operação da CTRS de Betim

Os custos de operação do aterro sanitário de Betim foram obtidos através dos dados de medição dos serviços, disponibilizados pela prefeitura. Foram avaliados os dados de julho de 2001 à setembro de 2011, sendo os totais anuais apresentados no APÊNDICE B. Os custos totais listados no QUADRO 3 são aqueles relacionados à operação da planta, não sendo considerados os valores envolvidos em coleta, varrição e tratamento de resíduos perigosos.

QUADRO 3 – Custos de operação da CTRS Betim, entre os anos de 2001 e 2011

Item	Descrição	Total (R\$)
1	Usina de Triagem/Compostagem	1.214.169,01
2	Equipe para manutenção do Aterro Sanitário	747.111,78
3	Equipe de topografia para Aterro Sanitário	257.889,70
4	Equipe de vigilância para o Aterro Sanitário	1.132.169,80
5	Fornecimento de material para equipe padrão	6.751,77
6	LOCAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA ATERRO SANITÁRIO	-
6.1	Trator de esteiras 150 HP	5.137.164,07
6.2	Retroescavadeira 65 HP	792.162,08
6.3	Pá carregadeira 100 HP	1.016.843,57
6.4	Caminhão basculante 6,0 m ³	2.723.957,71
6.5	Caminhão pipa 7000L	580.841,19
6.6	Rolo compactador	26.192,00
CUSTO TOTAL OPERAÇÃO		13.635.252,68

Fonte: Autor

Os valores apresentados para as usinas de triagem e compostagem foram unificados, tendo em vista que tratam-se de unidades correlacionadas e que os custos listados pela prefeitura em cada uma das unidades não são claros. Além do mais, a usina de triagem foi desativada em 2003, em virtude do direcionamento dos resíduos recicláveis para ASCAPEL. Acredita-se também que os custos relativos às equipes de manutenção, topografia, vigilância e fornecimento de material sejam maiores, com base que esses custos foram apresentados somente a partir de dezembro de 2007.

4.4.4 Usina de triagem e compostagem aplicada na CTRS Betim

A CTRS de Betim contou com UTC de resíduos sólidos urbanos durante parte dos anos de operação. Como citado anteriormente, a usina de triagem foi desativada em 2003 em virtude do direcionamento dos resíduos recicláveis para ASCAPEL. Já em relação à usina de compostagem, não foram encontrados dados oficiais referentes à sua gestão, não sendo possível saber exatamente se houve operação contínua em todos os anos de operação da planta. Entretanto, será considerado nesse trabalho, o tratamento interrompido da matéria orgânica pela mesma.

Ao analisar o modelo de gestão de resíduos sólidos do município e as iniciativas que proporcionam acréscimo no tempo de vida útil do aterro sanitário, entende-se que, percentualmente, os valores obtidos das frações de resíduos segregados foram baixos. Avaliando os dados de BETIM (2010), observa-se que a capacidade de recebimento da usina de triagem e compostagem era baixa em comparação ao volume de resíduos gerados, que era, em média, de 197,25 t/dia, em 2011. A TABELA 7 apresenta a quantidade de resíduos recebidos e segregados pela UTC.

TABELA 7 – Quantidade de Resíduos Sólidos Segregados pela usina de triagem e compostagem adotada na CTRS de Betim (t/dia)

Descrição	Quantidade
Resíduos Recicláveis Segregados	2,50
Matéria Orgânica Segregada	7,00
Rejeito da usina de Usina de Triagem e Compostagem	20,50
Total de Resíduos Processados	30,00

Fonte: BETIM, 2010

Além da UTC, outra iniciativa que proporcionou acréscimo na vida útil da área de estudo, foi a coleta seletiva no município. De acordo com BETIM (2015b), aproximadamente 45% da área de Betim era atendida pela coleta seletiva, em 2015. Entretanto, ao avaliar a TABELA 8, nota-se que apenas 0,83% da massa total coletada, em 2014, era referente aos chamados “secos” (resíduos recicláveis) e o melhor resultado foi evidenciado em 2007, com índice de 1,86%. Assim, mesmo acreditando que a coleta seletiva precedente à UTC é a melhor alternativa ambiental de modelo de gestão de resíduos, percebe-se que a iniciativa ainda necessita de maior envolvimento da população.

TABELA 8 – Quantidade de resíduos sólidos gerados no Município de Betim - MG (kg/ano), por tipo de resíduo, de 1997 a 2014

Ano	CS	RC	RSS	RP	RD	Total
1997	-	380.850	245.770	-	26.988.530	27.615.150
1998	-	885.940	258.470	-	35.886.100	37.030.510
1999	-	1.130.765	359.115	1.645.635	39.931.060	43.066.575
2000	319.270	923.700	415.690	687.815	43.857.325	46.203.800
2001	339.200	1.566.525	433.125	2.048.800	43.297.245	47.684.895
2002	280.430	3.128.080	585.665	1.099.030	48.879.985	53.973.190
2003	137.360	3.514.805	465.360	1.703.220	45.961.430	51.782.175
2004	96.120	3.624.040	538.490	1.456.830	47.519.640	53.235.120
2005	148.060	3.381.170	476.540	1.003.280	50.360.590	55.369.640
2006	78.360	3.763.610	463.580	2.521.130	53.413.550	60.240.230
2007	1.222.050	4.773.050	463.500	3.662.840	55.741.650	65.863.090
2008	1.083.560	6.209.930	485.250	3.973.160	59.388.100	71.140.000
2009	-	7.827.220	525.710	2.258.960	64.819.270	75.431.160
2010	-	5.698.750	588.870	707.400	70.027.445	77.022.465
2011	-	-	648.870	802.730	70.545.110	71.996.710
2012	-	-	618.030	-	80.843.100	81.461.130
2013	-	-	591.870	-	82.317.950	82.909.820
2014	685.310	-	603.690	-	80.863.120	82.152.120
Total	4.389.720	46.808.435	8.767.595	23.570.830	1.000.641.200	1.084.177.780

Legenda: CS = Coleta Seletiva; RC = Resíduo Comercial; RSS = Resíduo de Serviço de Saúde; RP = Resíduo Público; RD = Resíduo Doméstico;

Fonte: BETIM, 2015b *apud* Viasolo Engenharia Ambiental S/A

4.5 Proposta de usina de triagem e compostagem

Em virtude dos números apresentados no item anterior e pelas características dos grupos de resíduos apresentados na TABELA 8, foram consideradas apenas as massas dos resíduos comerciais, domésticos e de coleta seletiva até 2002, sendo esses dados utilizados

nas avaliações dos resultados. Foram adotados os dados a partir de 1997 devido à ausência de informações sobre o ano de 1996.

Os resíduos de serviço de saúde e públicos não foram utilizados nas propostas, pois não apresentam potencial significativo e/ou não podem ser reciclados. Já os resíduos de coleta seletiva foram desconsiderados a partir de 2003, tendo em vista que os mesmos foram direcionamento para ASCAPEL, logo, não influenciariam nas próximas etapas.

O perfil adotado da geração foi o mesmo descrito no item 4.4.1, mas ao invés de considerar a massa total, será considerada somente os resíduos comerciais, domésticos e de coleta seletiva, conforme o APÊNDICE C. Sabe-se, previamente, que a unidade proposta não será capaz de processar todo resíduo coletado, devido à alta variação percentual e o grande volume de RSU gerado durante o tempo de vida útil da CTRS de Betim. Entretanto, buscou-se utilizar um modelo de usina de triagem e compostagem condizente com a realidade do estado de Minas Gerais e que permita o aumento do tempo de vida útil e o envolvimento social.

Finalmente, a respeito da localização da UTC proposta, a área idealizada foi a mesma dos locais em que ocorreram operações reais. Entretanto, foram reavaliadas as dimensões e as estruturas envolvidas.

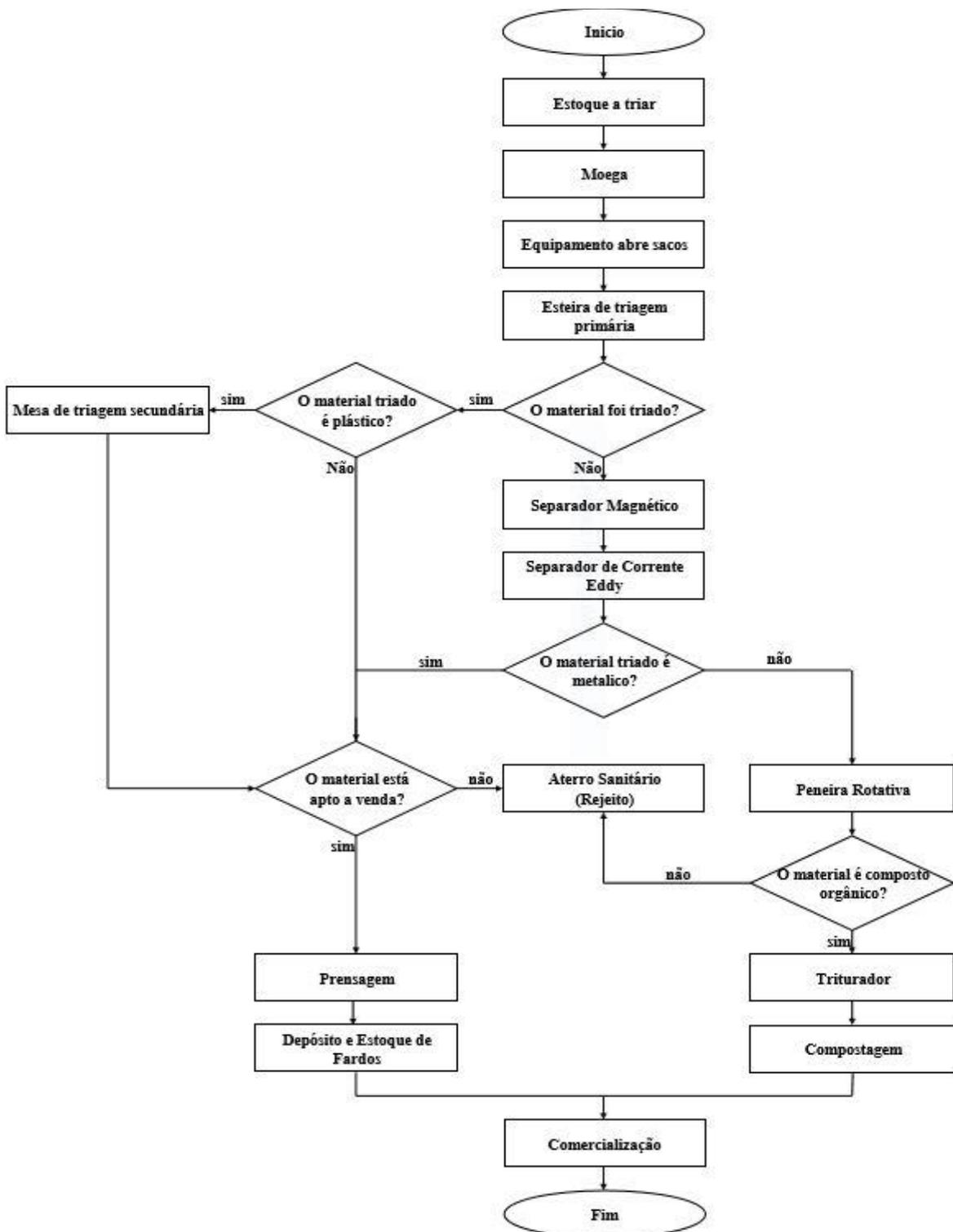
4.5.1. Usina de triagem

Conforme Vimieiro (2012), valores de parâmetros para projetos de UTC são difíceis de serem encontrados, uma vez que estes não estão agrupados em literaturas e por não haver normas técnicas da ABNT a respeito do tema. Levando em consideração as dificuldades de aquisição de dados, adotou-se práticas encontradas na literatura como referência para as propostas que se seguem.

A estruturação do fluxo de trabalho da UTC foi baseada em Freire (2003, *apud* Vimieiro, 2012). O autor prevê como unidades básicas, o prédio de recepção e triagem (inclusive depósito, banheiros, escritório e cozinha), depósitos e baias para armazenamento dos materiais recicláveis, pátio de compostagem e aterro de rejeitos. Observam-se processos similares nas usinas de triagem e compostagem brasileiras, sendo o formato predominantemente manual.

Visando a melhoria da eficiência, mas mantendo o viés social, adotou-se nas propostas, a adição de componentes tecnológicos ao modelo relativamente tradicional, como é o caso dos Separadores Magnéticos e de Corrente Eddy. A partir dessa ideia de concepção, criou-se o fluxograma presente na FIGURA 12.

FIGURA 12 – Fluxo de tratamento dos resíduos na usina de triagem e compostagem proposta



Fonte: Autor

Na concepção do fluxograma, o resíduo coletado seria pesado anteriormente à UTC, nas balanças presentes na entrada da CTRS, procedimento adotado durante a gestão da unidade. Após a pesagem, o resíduo seria encaminhado para um estoque de materiais a serem triados, em seguida alimentando o processo através da moega. Para melhoria das condições de trabalho e otimização da triagem, considerou-se um equipamento abre sacos após a moega.

Depois de passar pelo abre sacos, o resíduo entraria nas esteiras de triagem. Devido à quantidade gerada, os resíduos seriam divididos em três linhas de triagem, cada uma com 20 funcionários triadores, esses espaçados 1 a cada 1,55m de cada lado, conforme recomendação de Pessin *et al.* (2006, *apud* Vimieiro, 2012). Os resíduos segregados estariam dispostos em *big bag's*, os plásticos segregados voltariam a ser separados posteriormente, por grupos de venda e os demais resíduos não triados continuariam nas etapas seguintes.

Exceto com relação aos resíduos metálicos de maiores dimensões, os triadores não precisariam se concentrar nos demais. O Separador Magnético e o Separador de Corrente de Eddy se incumbiriam de triar os metais ferrosos e não ferrosos, respectivamente. Russo (2003) cita ainda que os Separadores de Corrente Eddy devem ser montados após a separação magnética, para evitar o contato com sistema de separação dos metais ferrosos, visto que esse equipamento poderia prejudicar a segregação dos mesmos, assim como proposto. Após essas etapas, a maior parte do material restante será composto por matéria orgânica, com pequena presença de impurezas, sendo essas removidas pela Peneira Rotativa e posteriormente, triturado para homogeneização da granulometria do resíduo.

Os materiais recicláveis separados seriam prensados, os fardos depositados em um estoque e a matéria orgânica encaminhada para compostagem, sendo ambos comercializados posteriormente. Os rejeitos gerados durante cada etapa do processo seriam encaminhados para o aterro sanitário.

Para execução de todas essas atividades presentes no fluxograma da FIGURA 11, determinou-se as equipes de trabalho, baseando-se nas recomendações de Pinto e Gonzáles *et al.* (2008), conforme a TABELA 9, sendo feitas ressalvas em função do perfil da área de estudo.

TABELA 9 – Parâmetro de dimensionamento das equipes de trabalho de galpão de triagem

Função	Parâmetro de dimensionamento
Coletores de rua	160 kg/dia/coletor
Deslocadores de tambores	1 a cada 5 triadores
Retriadores de plástico	1 a cada 5 triadores
Retriadores de metal	1 a cada 15 triadores
Enfardadores	600 kg/dia/enfardador
Administradores	1 a cada 20 pessoas na produção

*Cada metro cúbico de resíduos coletado, solto, pesa em média 45 kg

Fonte: Adaptado de Pinto e Gonzáles *et al.*, 2008

Considerando os valores apresentados por Vimieiro (2012) como parâmetros da infraestrutura instalada nas usinas de triagem e compostagem classificadas pelo Indicador de Desempenho Operacional de UTC (IDUTC) como “adequadas” em Minas Gerais, adotou-se como valor de referência do processamento de resíduos, por triador, igual à 300 kg/dia. Para determinação desse valor foi considerado a média das três melhores UTC’s listadas como adequadas pela autora.

Resolveu-se indicar dois turnos de trabalho na UTC, devido ao volume de resíduos gerado diariamente, sendo previstos 60 triadores por turno, com escala de segunda a sábado. O número de deslocadores de material segregado se deu em função do número de triadores, sendo a relação de 1 a cada 25 triadores, valor menor que o recomendado por Pinto e Gonzáles *et al.* (2008), fato explicado pela adoção predominante de *big bag’s*, que são cerca de 5 vezes maiores que os tambores.

Retriadores de metal não serão contabilizados, em virtude do Separador Magnético e de Corrente de Eddy. Já os retridores de plástico, quando avaliada a TABELA 9, foram reduzidos em virtude do alto número de triadores em cada esteira, ocasionando uma pré-separação. Estes funcionários seriam responsáveis por reagrupar os plásticos triados por grupo de venda. Para determinação dos enfardadores, foi adotado o critério de 1 a cada 3 triadores ao invés de 600 kg/dia/enfardador, tendo em vista a otimização do trabalho através de melhoria nas ferramentas. Finalmente, foram propostos 2 administradores por turno, tendo em vista que a prefeitura já dispunha de funcionários no aterro sanitário para dar suporte. As TABELAS 10 e 11 sintetizam o quadro de funcionários planejado.

TABELA 10 – Quantidade de funcionários para o primeiro turno

Turno 1 (07:00 - 14:00)		
Descrição	Quant.	Unidade
Triadores	60	Pessoas
Deslocadores de tambor/big bag	2	Pessoas
Retriadores de plástico	5	Pessoas
Retriadores de metal	-	Pessoas
Enfardadores	20	Pessoas
Administradores	2	Pessoas
Total de funcionários	89	Pessoas

Fonte: Autor

TABELA 11 – Quantidade de funcionários para o segundo turno

Turno 2 (14:00 - 21:00)		
Descrição	Quant.	Unidade
Triadores	60	Pessoas
Deslocadores de tambor/big bag	2	Pessoas
Retriadores de plástico	5	Pessoas
Retriadores de metal	-	Pessoas
Enfardadores	20	Pessoas
Administradores	2	Pessoas
Total de funcionários	89	Pessoas

Fonte: Autor

Considerando os parâmetros propostos por Pinto e Gonzáles *et al.* (2008) para galpões grandes, espera-se ter, no mínimo, os equipamentos listados na TABELA 12. Foi sugerido uma empilhadeira a mais, visando otimizar o processo e evitar problemas em caso de uma delas não estar passível de utilização.

TABELA 12 – Equipamentos recomendados para galpão de triagem

Equipamentos	Quantidade	Especificação
Prensa enfardadeira	2 unidades	Vertical, capacidade 20 t
Balança	1 unidade	Mecânica, capacidade 1000 kg
Carrinho plataforma	2 unidades	2 eixos, capacidade 300 kg
Carrinho manual para transporte de tambores e <i>bags</i>	2 unidades	Manual, capacidade 150 kg
Empilhadeira simples	2 unidades	Capacidade 1000 kg, deslocamento manual, energia de elevação elétrica

Fonte: Adaptado de Pinto e Gonzáles *et al.*, 2008

4.5.2. Usina de compostagem

Após o processamento dos resíduos pela usina de triagem, espera-se como material resultante do processo de segregação, predominantemente matéria orgânica. Como já citado, a instalação da Peneira Rotativa e do triturador, após o Separador de Corrente Eddy, teriam as funções de melhorar a qualidade do insumo, sendo explicado por Schmitz (2012) que o primeiro é um equipamento que visa a separação dos materiais orgânicos e rejeitos. Já o triturador teria a função de homogeneizar a parte orgânica.

Tendo em vista o volume de resíduos gerados em Betim, se propôs como alternativa para atendimento da demanda, a Compostagem por Leiras Estáticas Aeradas. Segundo CURITIBA (2013), essa metodologia de compostagem se aplica melhor a municípios com população acima de 30.000 habitantes, por demandar um controle maior do processo, incluindo verificação da taxa de aeração e temperatura, gerando um produto final de elevada qualidade, além do menor tempo para alcançar o produto final, sendo em média 60 (sessenta) dias. Teixeira *et al* (2004) também cita a adoção predominante dessa metodologia em grandes cidades, reforçando ser necessário homogeneidade e granulometria adequada do material a ser compostado, além da utilização de bomba para introdução de oxigênio nas leiras, fato que permite a eliminação do revolvimento da massa de resíduos, mas em contrapartida gera gastos adicionais com energia elétrica.

As dimensões das leiras seriam dadas de acordo com adaptações de Pereira Neto (1998, *apud* CURITIBA, 2013). Para o autor, a matéria-prima deverá apresentar partículas com dimensões de 30 a 50 mm, teor de umidade na faixa de 55% a 60% e relação carbono/nitrogênio variando entre 30:1 a 40:1. A leira seria construída sobre tubulação perfurada de 100 mm de diâmetro, devendo apresentar seção reta triangular de 1,70 m de altura, base de 3 a 4 m e o comprimento em função do projeto. Para efeito de cálculo, as dimensões adotadas por leira serão de 1,7 m de altura, 4 m de base e 25 m de comprimento, com espaçamento de 2 m entre as mesmas. O peso específico adotado será de 139,90 kg/m³, valor médio dos resíduos domiciliares calculado por BETIM (2015b), mas que será considerado como orgânico devido à ausência de valores reais discriminados.

Considerando-se que no decorrer da compostagem há alterações nas características dos resíduos proveniente da decomposição e da perda de umidade, estimou-se essas variações quantitativamente. De acordo com estudo realizado por Paula e Cezar (2011), houve, em média, no processo de compostagem perda de 47,87% de massa total (em massa seca), sendo a maior parte decorrente da perda de umidade. Os autores utilizaram a técnica de

compostagem “windrow”, observando perdas superiores a 63% do volume. Apesar de ter sido utilizado uma metodologia de compostagem diferente da proposta, os valores serão considerados nos levantamentos posteriores.

Para determinação do número de funcionários da unidade de compostagem, utilizou-se dados de Ministério do Meio Ambiente (2010), presentes na TABELA 13, parâmetros que subsidiaram o dimensionamento dessas equipes. Apesar da população de Betim ser maior que 400 mil habitantes, utilizou-se como referência os dados da unidade de compostagem para 100 mil habitantes, devido ao fato de que o dimensionamento da usina de triagem e compostagem prevê capacidade para processar o resíduo de cerca de 75 mil habitantes, considerando a geração per capita de 0,512 kg/(hab.dia) em 2011 (BETIM, 2015b).

TABELA 13 – Parâmetros utilizados para estruturação de equipes de compostagem

Itens	Tipos de unidade por número de habitantes			
	5.000	15.000	40.000	100.000
Quantidade compostada (t/dia)	1,00	3,00	9,00	30,00
Funcionários	0,50	2,25	9,75	25,50
Encarregado	--	--	--	1,00
Auxiliar administrativo	--	--	--	1,00
Montador de leira	--	0,80	2,30	7,50
Revirador de Leira	0,50	1,50	4,50	15,00
Auxiliar de Pátio	--	--	--	1,00

Fonte: Adaptado de Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2010

Adaptando os valores da TABELA 13, espera-se um quadro de 10 funcionários para a unidade de compostagem. Os colaboradores seriam subdivididos em 1 encarregado, 1 auxiliar de pátio e 8 montadores de leira. Foram desconsiderados os reviradores de leira, devido à eliminação da necessidade do revolvimento no processo de compostagem escolhido, e o auxiliar administrativo, devido à CTRS já dispor de funcionário para execução dessa atividade.

Finalmente, para execução de todas essas atividades, o pátio de compostagem deveria ser adequado conforme recomendações de FEAM (2006b). A área possuiria o piso pavimentado com massa asfáltica, apresentando incidência solar em toda sua extensão, estruturas que permitissem a destinação dos efluentes para Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) e sistema de drenagem pluvial. Para evitar contaminação do solo, as juntas de dilatação desse pátio necessitariam de manutenções periódicas.

4.6 Tempo de vida útil

Para quantificação da variação no tempo de operação do aterro sanitário decorrente do projeto proposto, foi calculada a capacidade instalada nas etapas que removem os resíduos recicláveis do restante da massa heterogênea, sendo essas as esteiras de triagem primárias, o Separador Magnético e o Separador de Corrente Eddy. Estas etapas foram utilizadas para determinação da massa a ser processada, conseqüentemente, responsáveis pelos dimensionamentos das demais operações unitárias.

Para a esteira de triagem primária, foram calculados 60 triadores trabalhando em dois turnos, conforme mencionado anteriormente, totalizando 120 funcionários para execução dessa tarefa. Cada um desses empregados segregaria, em média, 300 kg/dia, resultando em um total de 36 toneladas processadas diariamente. Entretanto, parte do resíduo é composto por metais, que seriam removidos no Separador Magnético e de Corrente Eddy. Esse fato, de acordo com a TABELA 5, ampliaria o total triado em 3,70% para o cenário de 1994 e 3,22% para o de 2009, levando aos totais processados de 37,33 e 37,16 toneladas por dia, respectivamente. A TABELA 14 ilustra o potencial instalado da UTC, em toneladas por dia.

TABELA 14 – Capacidade instalada da UTC proposta (t/dia)

Cenário	Unidade	MO	Papéis	Plásticos	Metais	Vidro	Rejeito	Total
1994	%	47,10	19,30	11,10	3,70	1,30	17,50	100,00
	t/dia	17,58	7,21	4,14	1,38	0,49	6,53	37,33
2009	%	54,45	9,28	11,90	3,22	1,12	20,03	100,00
	t/dia	20,23	3,45	4,42	1,20	0,42	7,44	37,16

Legenda: MO – Matéria Orgânica

Fonte: Autor

Os valores encontrados deverão ser entendidos como potencial de processamento da UTC, visto que eles ainda não estão preparados para subsidiar de maneira precisa os cálculos do tempo de vida útil, pois não consideraram as perdas. Segundo Abreu et al. (2008), o índice de rejeitos em plantas que adotam esteiras varia entre 20 e 30%. Assim, visando à preparação dos dados adquiridos, foram considerados 20% de perdas em virtude da contaminação dos recicláveis e por falhas na segregação dos resíduos, fato que amplia a quantidade de rejeito aterrado, sendo contabilizado conforme as equações 8 e 9.

$$R \left[\frac{t}{dia} \right] = (MO + P + Pl + M + V) \cdot 0,8 \quad (\text{Equação 8})$$

$$Rej \left[\frac{t}{dia} \right] = Rej + (MO + P + Pl + M + V). 0,2 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

R = Recicláveis [t/dia];

Rej = Rejeito [t/dia];

MO = Matéria Orgânica [t/dia];

P = Papel [t/dia];

Pl = Plástico [t/dia];

M = Metal [t/dia];

V = Vidro [t/dia];

Tendo em vista que os resultados obtidos referentes aos resíduos segregados na UTC, considerando os 20% de perdas, foram gerados em tonelada por dia, foi necessária a conversão para toneladas por mês e posteriormente por ano, visando realizar comparações com os valores reais. Para os cálculos, utilizou-se escala de trabalho de segunda a sábado, correspondendo à média mensal de 26 dias por mês. O valor anual foi calculado partindo da multiplicação entre o valor mensal de resíduos sólidos segregados e o número de meses do ano.

Tendo calculado o potencial de processamento anual de triagem e compostagem para ambos os cenários, foi possível estimar a quantidade de resíduos que seriam reciclados, e conseqüentemente, deixariam de ser aterrados. Este valor, analisado em conjunto com o modelo de tendência mensal na geração de resíduos sólidos em Betim, permitiu a estimativa do tempo de vida útil.

Para o cálculo do tempo de vida útil acrescido, foram utilizadas as massas totais coletadas para os anos de 2012 e 2013, presentes na TABELA 4. Aplicando a variação sazonal prevista nesses anos, foi possível estimar a quantidade mensal gerada. Finalmente, foi realizado o acumulado mensal até que se alcançasse a quantidade total de resíduos triados e compostados, possibilitando definir o tempo acrescido no momento em que os valores se igualaram.

4.6.1. Avaliação do tempo de vida útil considerando a unidade pré-existente

A metodologia para calcular o acréscimo no tempo de vida útil considerando a unidade pré-existente foi a mesma da seção anterior, exceto pelo fato de ter sido descontado a quantidade real processada nas unidades propostas.

4.7 **Avaliação de custos e receitas provenientes do empreendimento**

A estimativa das receitas e custos foi feita com base nos valores de compra e venda do ano de 2016, sendo empregada correção monetária para os demais anos de operação da área de estudo. Foram considerados os parâmetros de projeto da UTC proposta e seus resultados, podendo assim ser estimada sua viabilidade econômica.

4.7.1. Receitas provenientes da venda dos recicláveis

Para a estimativa da receita, foram listados os preços de venda dos materiais recicláveis no mercado e do composto orgânico proveniente da compostagem. Para os recicláveis, considerou-se os preços cotados por CEMPRE (2016), como apresentado na TABELA 15, que reuniram informações de programas de coleta seletiva e cooperativas a respeito da venda desses resíduos.

TABELA 15 – Preço dos materiais recicláveis no período de julho à agosto de 2016 em Minas Gerais (R\$ por tonelada)

Cidades	Papelão	Papel branco	Latas aço	Latas alumínio	Vidros	Plástico rígido	PET	Plástico filme	Longa vida
Belo Horizonte	600PL	680P	300	3300P	70	1400P	1700P	1500P	100P
Itabira	630PL	900PL	300PL	3900PL	215PL	1420L	1850PL	1700PL	397PL
Lavras	410PL	450PL	150L	270PL	180	1400	1400	1150	200

Legenda: P = Prensado; L = Limpo; PL = Prensado e Limpo.

Fonte: Adaptado de CEMPRE, 2016b

Os cálculos foram feitos considerando os preços referentes a cidade de Belo Horizonte, uma vez que Betim está situada na região metropolitana de Minas Gerais e os municípios de Itabira e Lavras estão a distância mínima de 100 km, fato que aumentaria os custos com logística, possivelmente inviabilizando o negócio.

Contudo, mostrou-se necessidade da readequação da divisão dos grupos de resíduos do GRÁFICO 2 em função da TABELA 15, para posterior estimativa da receita gerada na venda desses materiais. Entretanto, como os dados de 1994 não detalhavam os tipos plásticos e papéis, divergência não evidenciada em 2009. Visto isso, foram calculados os subgrupos de ambos resíduos, de forma proporcional ao segundo cenário, mas mantendo o valor real do grupo.

Em seguida, considerando que materiais recicláveis estariam atendendo as exigências citadas por CEMPRE (2016b), sendo elas de estarem prensados e/ou limpos, multiplicou-se o preço de venda pela massa triada, determinando assim as receitas estimadas cada tipo de resíduo. A soma de todos os grupos permitiu estimar a receita proveniente da usina de triagem em cada cenário, sendo o cálculo expresso pela equação 10.

$$R = \sum_r P_r \cdot m_r \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

R = Receita [R\$];

P = Preço [R\$];

m = massa [t];

r = Grupo;

Assim como feito para os recicláveis, foi estimada a receita proveniente da compostagem, em ambos os cenários. A massa do composto que seria vendida, foi obtida a partir do GRÁFICO 2, sendo adotada a redução percentual de 47,87%, conforme o resultado médio evidenciado por Paula e Cezar (2011). Por fim, determinou-se o valor esperado com a venda do mesmo, através do produto entre a massa descontada e o preço previsto por CEMPRE (2016a).

Concluindo o levantamento das receitas, foram somados os resultados esperados para usina de triagem e para compostagem, sendo deduzido 36,65% de impostos, de acordo com a lista de tributos aplicáveis a cooperativas do SEBRAE (2014). Foram somados 0,65% referentes ao Programa de Interação Social (PIS), 18% de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), 3% de Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) e 15% para o Instituto Nacional do Seguro Social (INSS).

4.7.2. Custos operacionais

Os custos operacionais foram estimados a partir dos valores gastos para manutenção do empreendimento, como por exemplo, para o pagamento da mão de obra, custos de manutenção de equipamentos e insumos produtivos. Foram registrados os principais custos envolvidos no processo de triagem e compostagem, sendo considerado os custos mais significativos da proposta, seguidos de correção inflacionária, quando aplicável.

Na estimativa dos custos relativos a operação do galpão de triagem, foram adotados dados do IBAM (2012). Foram considerados os resultados para unidade de 250.000 habitantes, visto o melhor ajuste em relação aos parâmetros de projeto da UTC proposta. Entretanto, foi necessário dobrar os custos com uniformes e EPI's, uma vez que o número de funcionários estimados pelo IBAM (2012) seria de aproximadamente metade do projetado. Devido à esta adaptação, considerou-se esse valor como correspondente a todos os funcionários da UTC, uma vez que o número seria equivalente.

Os demais parâmetros operacionais da unidade de compostagem foram definidos de acordo com Pires (2011). As despesas com telefone da unidade de compostagem também foram consideradas como compartilhadas, uma vez que haveria apenas uma equipe administrativa atendendo toda a planta.

Por fim, considerando que as atividades seriam realizadas em regime de cooperativa, estimou-se os custos mínimo com pagamento de salários, tendo em vista garantir recurso aos funcionários, mesmo não havendo lucro direto da operação da UTC. Em caso de déficit, o complemento poderia estar a cargo da entidade pública responsável pelo aterro sanitário, no caso em questão, a Prefeitura Municipal de Betim.

4.7.3. Custos de implantação

Nesta seção, serão apresentados os custos envolvidos na implantação da UTC. A composição desses custos avaliou os valores relacionados à construção do galpão de triagem, pavimentação da área de compostagem, compra de materiais de apoio e equipamentos necessários para operação da planta.

Os valores unitários de mobiliário de escritório, equipamentos para proteção e prevenção de incêndio e para informática seguiram as recomendações do IBAM (2012). O galpão de triagem, no qual a maior parte desses materiais estariam alocados, foi orçado de

acordo com dados do SINDUSCON-MG (2016), aplicando o preço unitário de R\$670,36 por metro quadrado em uma área de 1200 m².

Além da construção do galpão de triagem, cotou-se os custos para impermeabilização da área de compostagem. De acordo com MADURI (2014), o custo unitário do metro quadrado da pavimentação em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) é de R\$57,25, sendo esse valor aplicável área de 11.664m².

Concluindo o levantamento dos custos de implantação, foram estimados, através de revisão bibliográfica e cotações com empresas especializadas, os preços unitários de equipamentos adotados na UTC proposta. Estes valores, somados aos demais, compõem o custo de implantação, que será um dos dados utilizados na determinação de viabilidade econômica do projeto.

4.7.4. Viabilidade técnica e econômica do projeto

Anteriormente à implantação de projetos, deve-se estudar a viabilidade econômica do empreendimento. Para isso, foram identificados e cotados nas seções anteriores, os custos e receitas provenientes da implantação da UTC. Em seguida, foram agrupadas essas informações, analisando se a proposta seria classificada como viável ou não.

As ferramentas de análises econômicas utilizadas para projetos não foram aplicadas devido aos resultados negativos encontrados em todos os anos de operação do empreendimento. As análises foram realizadas a partir da correção monetária, que utilizou os dados acumulado de ADVFN (2016), desde 1997, sendo adotado, para 2016, o acumulado de setembro. Para todos os anos, foram calculados os custos anuais, tendo como base de cálculo a subtração dos custos em relação aos benefícios.

Em seguida, a fim de avaliar se os resultados projetados estavam coerentes com os reais, foram comparados os custos da UTC proposta com os da unidade real. Como as medições obtidas apresentavam dados a partir de 2001 e a usina de triagem operou até 2003, foram comparados somente os dados anuais desse período.

Por fim, foi estimado um dos impactos indiretos do projeto, sendo esse a redução dos custos com disposição final. Foram utilizados o custo médio de disposição final de resíduos sólidos urbanos em aterros, de acordo com informações de MMA (2012), considerando os dados aplicáveis aos contratos de prefeituras. Em seguida, esses valores foram multiplicados pelo preço unitário, como exposto pela equação 11, obtendo-se assim a redução anual dos custos para o período de 2003 à 2008.

$$E_i = P_i * T_i \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

E_i = Redução dos custos com disposição final no ano i [R\$];

P_i = Preço unitário de disposição final de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários no ano i [R\$/t];

T_i = Total de resíduos triados e compostados pela UTC projetada no ano i [t].

i = Contador de tempo;

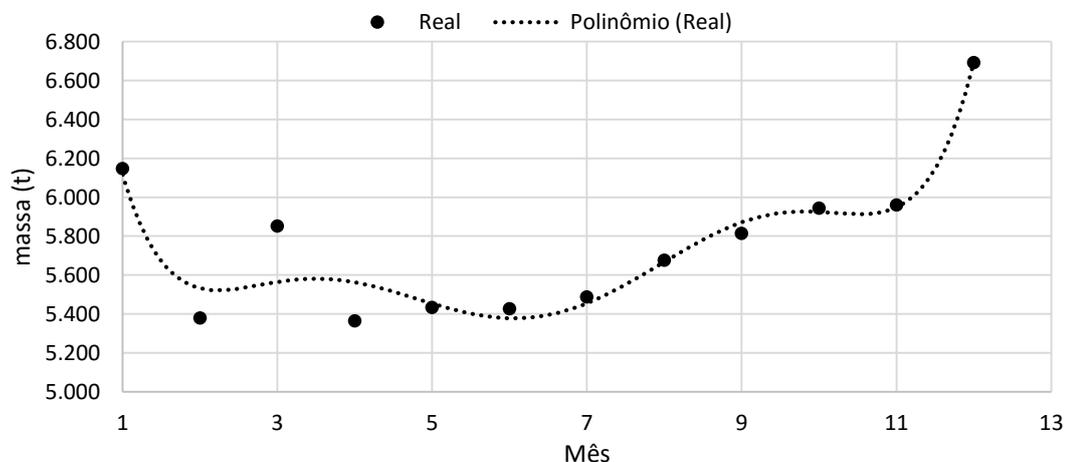
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são discutidos os resultados oriundos dos levantamentos realizados anteriormente, apresentando o modelo sazonal de geração de RSU e os valores referentes ao incremento do tempo de vida útil e custos e receitas envolvidas, considerando que os trabalhadores da UTC se organizariam em modelo de cooperativa.

5.1 Determinação do modelo do perfil de geração de resíduos sólidos em Betim

O modelo criado para o detalhamento do perfil de geração de resíduos em Betim apresentou ajuste que permitiu sua aplicação na determinação do tempo de vida útil da CTRS Betim. O mesmo foi gerado através do Ajuste Polinomial de 6ª ordem, aplicado no *software Excel 2013*, conforme apresentado no GRÁFICO 1.

GRÁFICO 1 – Modelo de tendência mensal da geração de resíduos sólidos em Betim, considerando dados de 2008 a 2011



Fonte: Autor

O modelo encontrado e seus respectivos coeficientes de determinação (r^2) e erro padrão de estimação (σ) são descritos a seguir:

$$y = 0,1708x^6 - 6,5864x^5 + 98,86x^4 - 728,51x^3 + 2749,1x^2 - 5022,1x + 9026,1$$

(Equação 7)

$$r^2 = 0,9097$$

$$\sigma = \pm 133,47$$

Observa-se que r^2 apresentou valor superior a 0,9, logo pode-se considerar que as variáveis de resposta foram bem explicadas pelo modelo. Em relação à σ , sabendo-se que esse parâmetro indica o desvio padrão das variáveis de resposta em relação as de entrada, entende-se que os valores presentes no GRÁFICO 1 são bem explicados pelo valor erro padrão de estimação, pois, quando comparados aos valores observados, que variam entre 5.200 e 6.800 toneladas por mês, esse mostra-se baixo. Logo, observa-se que r^2 e σ encontrados foram considerados satisfatórios, sendo essa avaliação reforçada pelo estudo de Protásio *et al* (2011), que avaliou a correlação, ajustou e selecionou modelos estatísticos que permitia a relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal.

5.2 Tempo de vida útil

O potencial de processamento da UTC proposta como previsto anteriormente, não atenderia integralmente à demanda de Betim, mas ao comparar os valores presentes na TABELA 7 com os da TABELA 16, observa-se que o esta superaria a capacidade da unidade real em cerca de 7 toneladas por dia, além de produzir menor quantidade de rejeito. Considerando 20% de perdas em virtude da contaminação dos recicláveis e por falhas na segregação dos resíduos conforme recomendado por Abreu *et al.* (2008), o índice de rejeitos da planta estaria em torno de 35%, como apresentado na TABELA 16.

TABELA 16 – Capacidade instalada da UTC proposta considerando 20% de perda na triagem e compostagem dos papéis, matéria orgânica, plásticos, metais e vidros (t/dia)

Cenário	Unidade	MO	Papéis	Plásticos	Metais	Vidro	Rejeito	Total
1994	%	37,68	15,44	8,88	2,96	1,04	34,00	100,00
	t/dia	14,07	5,76	3,32	1,11	0,39	12,69	37,33
2009	%	43,56	7,42	9,52	2,58	0,90	36,02	100,00
	t/dia	16,19	2,76	3,54	0,96	0,33	13,39	37,16

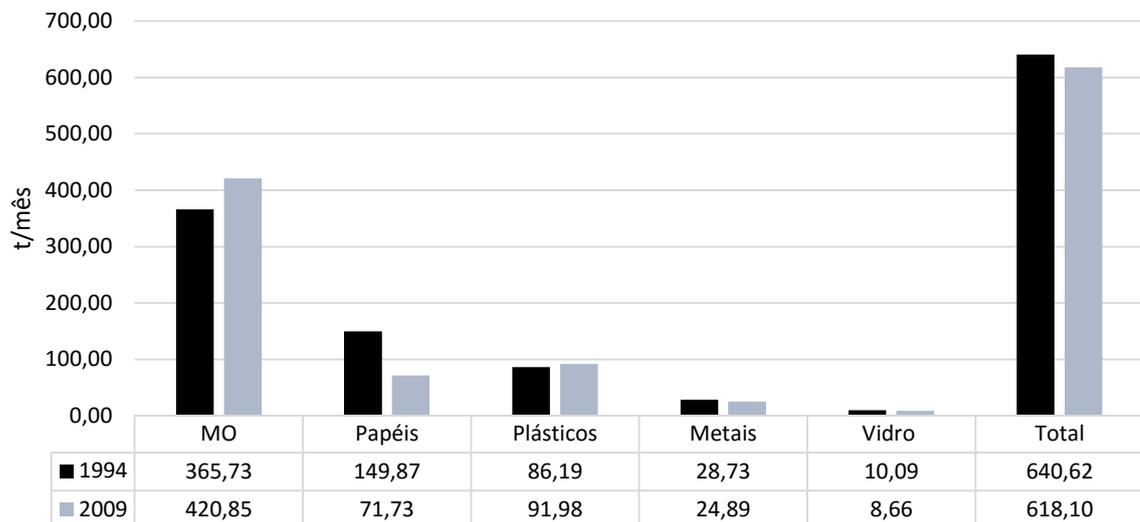
Legenda: MO – Matéria Orgânica

Fonte: Autor

Tendo em vista a adequação dos dados apresentados, considerou-se que a escala de trabalho da usina proposta seria de segunda a sábado, correspondendo à média mensal de 26 dias por mês. Calculando a quantidade mensal processada, alcançaram-se os totais de 970,63 e 966,14 toneladas mensais para os cenários 1 e 2, respectivamente, sendo o percentual de rejeito para esses cenários, de 34% e 36,02%. Avaliando somente os materiais que seriam

passíveis reciclagem, criou-se o GRÁFICO 2, desconsiderando os rejeitos provenientes do processo.

GRÁFICO 2 – Valores finais dos resíduos triados e compostados (t/mês)



Fonte: Autor

Utilizando-se os valores totais mensais dos materiais recicláveis nos dois cenários presentes no GRÁFICO 2, foi possível calcular que a UTC seria capaz de triar 7687,41 t/ano, no cenário de 1994, e 7417,17 t/ano, no de 2009. A partir desses valores, calculou-se o percentual de redução anual e total de resíduos aterrados na CTRS Betim, assim como registrado na TABELA 17.

TABELA 17 – Percentual de redução dos resíduos sólidos aterrados na CTRS Betim, devido à adoção da UTC proposta

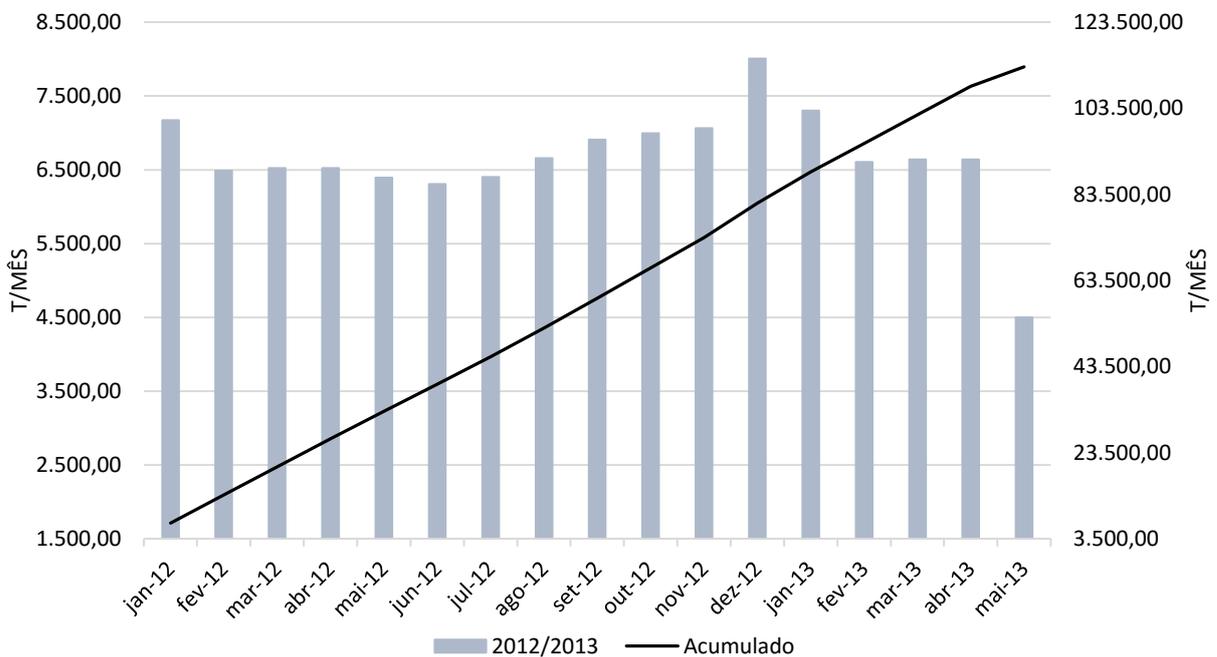
Cenário	Ano	Total Gerado (t/ano)	Triado e com. (t/ano)	Total Aterrado (t/ano)	Percentual de redução (%)
1994	1997	27.615,15	7.687,41	19.927,74	27,84%
	1998	37.030,51	7.687,41	29.343,10	20,76%
	1999	43.066,58	7.687,41	35.379,17	17,85%
	2000	46.203,80	7.687,41	38.516,39	16,64%
	2001	47.684,90	7.687,41	39.997,49	16,12%
	2002	53.973,19	7.687,41	46.285,78	14,24%
	2003	51.644,82	7.687,41	43.957,41	14,89%
2009	2004	53.139,00	7.417,17	45.721,83	13,96%
	2005	55.221,58	7.417,17	47.804,41	13,43%
	2006	60.161,87	7.417,17	52.744,70	12,33%
	2007	64.641,04	7.417,17	57.223,87	11,47%
	2008	70.056,44	7.417,17	62.639,27	10,59%

Cenário	Ano	Total Gerado (t/ano)	Triado e com. (t/ano)	Total Aterrado (t/ano)	Percentual de redução (%)
	2009	75.431,16	7.417,17	68.013,99	9,83%
	2010	77.022,47	7.417,17	69.605,30	9,63%
	2011	71.996,71	7.417,17	64.579,54	10,30%
	Total	834.889,20	113.149,17	721.740,03	13,55%

Fonte: Autor

Caso tivessem adotado a proposta sugerida nesse trabalho durante todos os 15 anos de operação, a CTRS de Betim teria deixado de aterrar cerca de 113.149,17 toneladas de resíduos, valor que corresponderia a 13,55% do total disposto. Utilizando esses resultados, foi possível calcular o tempo acrescido na vida útil do empreendimento, através da relação entre o total de resíduos deixados de ser aterrados, os gerados após 2011 e o perfil previsto no GRÁFICO 1, gerando assim o GRÁFICO 3.

GRÁFICO 3 – Determinação do acréscimo no tempo de vida útil da CTRS Betim, através do total de resíduos acumulado (t/mês)



Fonte: Autor

Sendo assim, o tempo de vida útil acrescido, a partir da adoção da proposta seria de 1 ano, 4 meses e 21 dias, valor considerado alto, tendo em vista o perfil de UTC proposta e o volume total tratado pela mesma de 113.149,17 toneladas. Analisando o volume segregado, adotando o peso específico de 139,90 kg/m³ do resíduo sem compactação, seria registrada redução de 808.786,06 m³, valor equivalente a cerca de 323 piscinas olímpicas cheias.

5.2.1. Avaliação do tempo de vida útil considerando a unidade pré-existente

A CTRS de Betim contou com UTC de resíduos sólidos urbanos durante parte dos anos de operação, sendo assim, necessária a comparação da UTC proposta com a mesma. A usina de triagem real foi desativada em 2003 em virtude do direcionamento dos resíduos recicláveis para ASCAPEL. Em relação a usina de compostagem, foi considerada operação interrompida, uma vez que não foi possível saber exatamente o período de operação. A partir dessas informações, a fim de saber o aumento da massa tratada, consequentemente da ampliação do potencial instalado quando comparadas a UTC proposta e a real, calculou-se a diferença, como apresentado na TABELA 18.

TABELA 18 – Comparação entre resultados da UTC proposta e a real

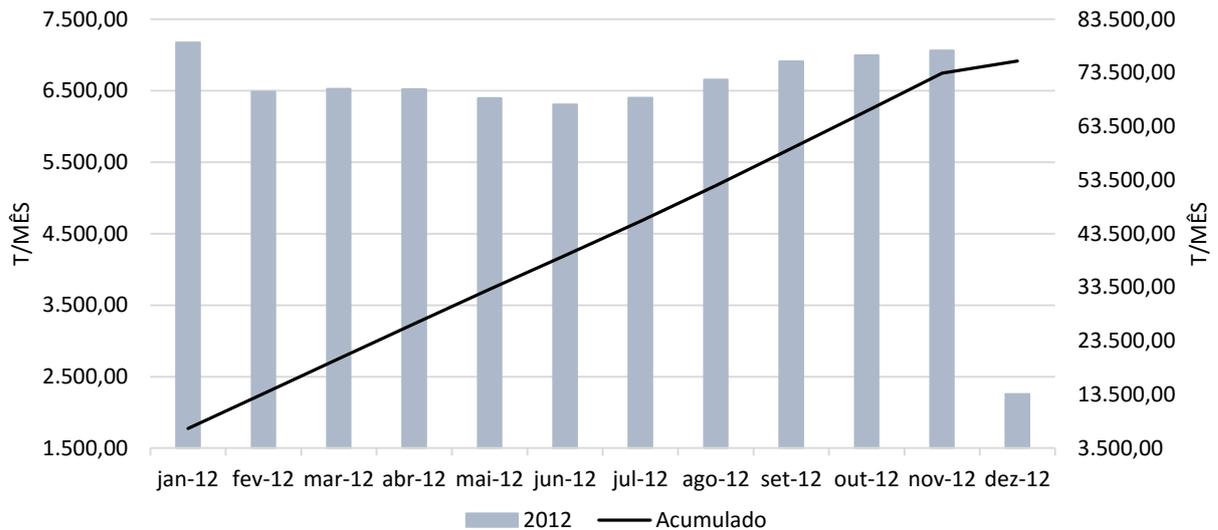
Cenário	Ano	UTC Proposta (t/ano)	UTC Betim (t/ano)	Ampliação (t/ano)	Total Gerado (t/ano)	Percentual de redução (%)
1994	1997	7.687,41	2.964,00	4.723,41	27.615,15	17,10%
	1998	7.687,41	2.964,00	4.723,41	37.030,51	12,76%
	1999	7.687,41	2.964,00	4.723,41	43.066,58	10,97%
	2000	7.687,41	2.964,00	4.723,41	46.203,80	10,22%
	2001	7.687,41	2.964,00	4.723,41	47.684,90	9,91%
	2002	7.687,41	2.964,00	4.723,41	53.973,19	8,75%
	2003	7.687,41	2.184,00	5.503,41	51.644,82	10,66%
2009	2004	7.417,17	2.184,00	5.233,17	53.139,00	9,85%
	2005	7.417,17	2.184,00	5.233,17	55.221,58	9,48%
	2006	7.417,17	2.184,00	5.233,17	60.161,87	8,70%
	2007	7.417,17	2.184,00	5.233,17	64.641,04	8,10%
	2008	7.417,17	2.184,00	5.233,17	70.056,44	7,47%
	2009	7.417,17	2.184,00	5.233,17	75.431,16	6,94%
	2010	7.417,17	2.184,00	5.233,17	77.022,47	6,79%
	2011	7.417,17	2.184,00	5.233,17	71.996,71	7,27%
Total		113.149,17	37.440,00	75.709,17	834.889,20	9,07%

Fonte: Autor

A UTC proposta alcançou resultados de tratamento superiores aos reais, sendo ampliada em 75.709,17 toneladas a quantidade de resíduos triados durante a operação da planta, aumento o percentual total em cerca de 302%. Este aumento corresponderia à 9,07%

do total coletado durante o mesmo período. Avaliando esse dado como tempo de vida útil da CTRS Betim, seria encontrado o resultado aproximado de 11 meses e 9 dias, valor calculado da mesma maneira que na seção anterior, como resultado da avaliação do GRÁFICO 4.

GRÁFICO 4 – Tempo de vida útil da CTRS Betim, acrescido pela adoção da proposta em relação à unidade real



Fonte: Autor

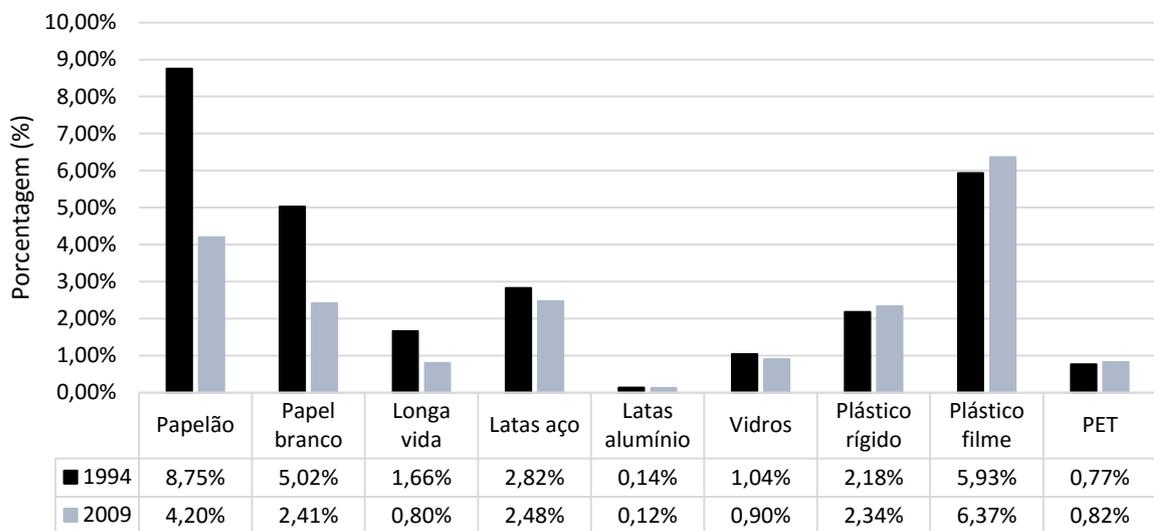
5.3 Avaliação de custos e receitas provenientes do empreendimento

Os ganhos ambientais com a reciclagem dos resíduos e, conseqüentemente, o aumento do tempo de vida útil da CTRS Betim, se mostraram interessantes. Entretanto, todo projeto deve considerar a viabilidade econômica, informação até então não apresentada. Com propósito de avaliar a viabilidade do projeto, levantou-se as receitas e custos envolvidos com a proposta, desde a venda dos materiais até o piso salarial dos funcionários.

5.3.1. Receitas provenientes da venda dos materiais recicláveis

A readequação da divisão dos grupos de resíduos do GRÁFICO 2, em função da TABELA 15, possibilitou que fossem calculadas as receitas provenientes da venda dos materiais recicláveis triados na UTC. O resultado da adequação do perfil gravimétrico, considerando os grupos de CEMPRE (2016b), está demonstrado no GRÁFICO 5.

GRÁFICO 5 – Composição gravimétrica da CTRS Betim readequada, conforme grupos de venda



Fonte: Autor

Em seguida, através do produto entre o preço de venda e a massa triada dos cenários, determinou-se as receitas estimadas, resultando na TABELA 19. Ressalta-se que os resultados monetários estão em virtude dos valores de venda para o ano de 2016, sendo necessárias correções nas comparações com os resultados reais.

TABELA 19 – Receita mensal estimada da venda dos resíduos recicláveis triados, em reais

Grupo	Resíduo	Preço (R\$)	Cenário 1994 (t)	Receita Total 1994	Cenário 2009 (t)	Receita Total 2009
Papéis	Papelão	600PL	84,95	R\$ 50.967,11	40,55	R\$ 24.327,53
	Papel branco	680P	48,77	R\$ 33.164,15	23,28	R\$ 15.829,85
	Longa vida	100P	16,15	R\$ 1.614,93	7,71	R\$ 770,83
Metais	Latas aço	300	27,39	R\$ 8.217,68	23,91	R\$ 7.174,13
	Latas alumínio	3300P	1,34	R\$ 4.416,67	1,17	R\$ 3.855,80
Vidro	Vidros	70	10,09	R\$ 706,62	8,70	R\$ 608,67
Plásticos	Plástico rígido	1400P	21,13	R\$ 29.584,61	22,57	R\$ 31.596,64
	Plástico filme	1500P	57,61	R\$ 86.409,05	61,52	R\$ 92.285,69
	PET	1700P	7,45	R\$ 12.671,88	7,96	R\$ 13.533,69
				R\$ 227.752,70		R\$ 189.982,85

Fonte: Autor

Avaliando a receita para ambos cenários propostos, observa-se que o perfil gravimétrico do primeiro apresentou melhores resultados quando considerados os preços de

venda de Belo Horizonte, em 2016, o que foi confirmado a partir da avaliação das receitas provenientes da compostagem, unidade fundamental na sustentabilidade da UTC.

Segundo CEMPRE (2016a), o preço do composto varia entre R\$100,00 e R\$150,00 a tonelada, valores referentes aos meses de julho e agosto. Tendo em vista que seriam triadas 365,73 e 420,85 toneladas de matéria orgânica por mês, nos cenários de 1994 e 2009, respectivamente, foi possível estimar a receita. Contudo, antes da definição da receita total, considerou-se a redução da massa durante o processo de compostagem, adotando a redução percentual de 47,87%, de acordo com estudo realizado por Paula e Cezar (2011), resultando em massas de 190,66 e 219,39 toneladas por mês. Finalmente, admitindo preço de venda de R\$100,00 e a produção final (com as perdas de 47,87%), estimou-se receitas de R\$19.660,00 e R\$21.939,00, para os cenários de 1994 e 2009, nesta ordem.

Somando todos valores das vendas esperadas da UTC, obteve-se, para o primeiro cenário, o resultado de R\$247.412,70, e para o segundo de R\$211.921,85. No entanto, ao deduzir 36,65% de impostos, de acordo com a lista de tributos aplicáveis a cooperativas do SEBRAE (2014), determinou-se receitas de R\$156.735,95 e R\$134.252,49, respectivamente.

5.3.2. Custos operacionais

Os custos de operacionais foram listados considerando-se os principais custos envolvidos no processo de triagem e compostagem, visando posterior avaliação da viabilidade da operação da UTC. Quando aplicável, foram feitas correções dos dados de acordo com a inflação.

Na estimativa dos custos relativos a operação do galpão de triagem, foram adotados dados do IBAM (2012), sendo esses corrigidos conforme a inflação, através da calculadora do cidadão disponível pelo Banco Central (BRASIL, 2016), considerando a variação de janeiro de 2012 a setembro de 2016. Como representado pela TABELA 20, os custos foram listados, havendo a adequação do valor dos equipamentos de proteção individual (EPI) em função da divergência entre o número de funcionários projetados por IBAM (2012) e os da UTC proposta, uma vez que o primeiro considerou 95 funcionários e o segundo 188.

TABELA 20 – Custos mensais relativos a operação do galpão de triagem da UTC proposta

Descrição	Unidade	Resultado	
		250.000 hab.	Corrigido Inflação
Energia Elétrica	R\$	5.000,00	7.000,00
Telefone	R\$	1.500,00	2.000,00
Manutenção e conservação	R\$	10.000,00	14.000,00
Uniformes e EPI's	R\$	3.230,00	9.000,00*
Despesa total mensal	R\$	19.730,00	32.000,00

*Valor dobrado de funcionários da UTC proposta em relação ao do IBAM

Fonte: Adaptado de IBAM, 2012

O número de uniformes e EPI's corrigidos seria capaz de atender aos colaboradores do processo de triagem e de compostagem, assim como as despesas com telefone, diferente dos demais custos variáveis, que seriam segundo Pires (2011), de aproximadamente R\$8.591,00, já corrigida a inflação.

Finalmente, considerou-se o piso salarial para os funcionários da UTC como de um salário mínimo, sendo esse, em 2016, igual à R\$ 880,00 (CONTÁBEIS, 2016), mas podendo ser ampliado de acordo com a rentabilidade da UTC. A TABELA 21 apresenta os custos fixos com pessoal, separando o número de trabalhadores por tarefa e seus respectivos salários, resultando em um total geral.

TABELA 21 – Piso salarial dos funcionários da usina de triagem e compostagem

Processo	Descrição	Unidade	SM*	Unitário	Total
Triagem	Triadores	R\$	880,00	120,00	105.600,00
	Deslocadores de tambor/big bag	R\$	880,00	4,00	3.520,00
	Retriadores de plástico	R\$	880,00	10,00	8.800,00
	Enfardadores	R\$	880,00	40,00	35.200,00
	Administradores	R\$	1760,00	4,00	7.040,00
Compostagem	Encarregado	R\$	1760,00	1,00	1.760,00
	Auxiliar de pátio	R\$	880,00	1,00	880,00
	Montadores de leira	R\$	880,00	8,00	7.040,00
		R\$		188,00	169.840,00

*SM = Salário mínimo

Fonte: Autor

Dentre todos custos listados na operação, observa-se que o custo com pessoal é o mais significativo, totalizando R\$169.840,00, não sendo aplicáveis tributos diretamente sobre os cooperados. Somado os custos mensais de mão-de-obra aos demais, chegou-se a quantia mensal de R\$210.431,00, valor superior a ambos cenários adotados com a venda dos produtos da UTC, logo, haveria prejuízos decorrentes da operação da unidade proposta.

5.3.3. Custos de implantação

Assim, como receitas e custos de operação, para avaliação de projetos, foi preciso estimar o investimento necessário para implantação dos mesmos. Para isso, foram considerados os custos mais significativos para o empreendimento, de tal forma que se pudesse obter um resultado aproximado do que realmente seria investido, considerando valores atuais.

Os valores unitários de mobiliário de escritório, equipamentos para proteção e prevenção de incêndio e para informática seguiram as recomendações do IBAM (2012), resultando em um investimento de cerca de R\$27.000,00, já considerando a inflação. Em relação as obras de construção do galpão de triagem, aplicando o preço unitário de R\$670,36 por metro quadrado, conforme SINDUSCON-MG (2016), em uma área de 1200 m², encontra-se o valor total de R\$804.432,00.

Item que também apresenta contribuição considerável nos custos é a impermeabilização da área de compostagem. De acordo com MADURI (2014), o custo unitário do metro quadrado da pavimentação com CBUQ é de R\$57,25, gerando o custo total de R\$667.764,00, visto a necessidade de adequação de uma área de 11.664m².

Concluindo o levantamento dos custos de implantação, foram estimados, através de revisão bibliográfica e cotações com empresas especializadas os preços unitários de equipamentos adotados na UTC proposta, resultando na TABELA 22.

TABELA 22 – Preço cotado dos equipamentos utilizados na UTC

Descrição	Quantidade (Unidades)	Unitário (R\$)	Total (R\$)
Aerador	10,00	40.000,00	400.000,00
Balança	2,00	2.249,00	4.498,00
Carrinho manual para transporte de tambores e <i>bags</i>	2,00	331,55	663,10
Carrinho plataforma	2,00	644,01	1.288,02

Descrição	Quantidade (Unidades)	Unitário (R\$)	Total (R\$)
Empilhadeira simples	2,00	2.871,00	5.742,00
Esteiras de triagem	3,00	30.000,00	90.000,00
Medidor de temperatura	1,00	4.400,00	4.400,00
Moega	1,00	3.800,00	3.800,00
Peneira Rotativa	5,00	2.800,00	14.000,00
Prensa enfardadeira	2,00	8.900,00	17.800,00
Separador de Corrente Eddy	1,00	93.600,00	93.600,00
Separador Magnético	1,00	35.000,00	35.000,00
Triturador	3,00	6.728,00	20.184,00
Total	35,00		690.975,12

Fonte: Autor

Com base nos valores estimados para equipamentos, obras e materiais de apoio, calculou-se a quantia total, resultando no montante de R\$2.190.171,12, tendo como ano de referência 2016. Este valor em conjunto com as receitas e custos operacionais permitiram estudar a viabilidade econômica do projeto.

5.3.4. Viabilidade técnica e econômica do projeto

Evidenciou-se, nas seções anteriores, que os custos operacionais da proposta de UTC para a CTRS Betim superaram as receitas, fato que a princípio classificaria o empreendimento como economicamente inviável, conseqüentemente tornando desinteressante sua execução. Entretanto, avaliações a respeito da situação em que o projeto está inserido foram realizadas, para isso foi aplicada a correção monetária para os anos de operação da CTRS, conforme apresentado na TABELA 23.

TABELA 23 – Avaliação dos resultados econômicos da UTC proposta (R\$/ano) para a CTRS Betim

Ano	Inflação	Benefício (R\$)	Custo Operacional (R\$)	Custo Implantação (R\$)	Descontado (R\$)
1996	9,56%	-	-	517.868,86	-517.868,86
1997	5,22%	491.734,93	660.194,89	-	-168.459,96
1998	1,66%	518.817,19	696.555,06	-	-177.737,88
1999	8,94%	527.574,93	708.313,06	-	-180.738,13
2000	5,97%	579.370,67	777.853,13	-	-198.482,46

Ano	Inflação	Benefício (R\$)	Custo Operacional (R\$)	Custo Implantação (R\$)	Descontado (R\$)
2001	7,67%	616.155,13	827.239,32	-	-211.084,19
2002	12,53%	667.340,12	895.959,40	-	-228.619,29
2003	9,30%	762.936,00	1.024.304,80	-	-261.368,80
2004	7,60%	841.164,28	1.129.332,74	-	-288.168,46
2005	5,69%	910.350,95	1.222.221,58	-	-311.870,63
2006	3,14%	965.275,10	1.295.961,81	-	-330.686,70
2007	4,45%	996.567,32	1.337.974,20	-	-341.406,88
2008	5,90%	1.042.979,92	1.400.286,97	-	-357.307,04
2009	4,31%	1.108.373,99	1.488.083,92	-	-379.709,93
2010	5,90%	1.158.296,57	1.555.109,12	-	-396.812,55
2011	6,50%	1.230.920,90	1.652.613,31	-	-421.692,40
Total		12.417.857,99	16.672.003,30	419.933,41	-4.772.014,16

Fonte: Autor

Os resultados apontam perdas para todos os anos de operação da UTC, sendo os valores classificados como indesejados, pois espera-se que um empreendimento apresente receita maior que os custos. Entretanto, ao avaliar os valores do APÊNDICE B e compará-los aos anos que tiveram operação da usina de triagem e compostagem simultaneamente na unidade real (2001, 2002 e 2003), observa-se que apesar de haver ampliação de 75.709,17 toneladas de resíduos processados, os custos de operação projetados são menores para os anos de 2001 e 2002, reduzindo o custo total da UTC.

Além dos custos e receitas diretos da UTC, impactos indiretos são gerados. Um desses impactos é consequência da redução da quantidade aterrada de resíduos, resultando em economia com a disposição final. Segundo MMA (2012), o custo médio de disposição final de resíduos sólidos urbanos em aterros, considerando prefeituras estão presentes na TABELA 24, assim como a redução anual estimada pela proposta para o período de 2003 a 2008.

TABELA 24 – Valor contratual médio para disposição em aterro

	Uni.	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Prefeitura ou SLU	R\$/t	16,63	16,63*	8,47	23,04	42,27	20,02
Processamento - UTC	t	7.687,41	7.417,17	7.417,17	7.417,17	7.417,17	7.417,17
Economia	R\$	127.841,63	123.347,54	62.823,43	170.891,60	313.523,78	148.491,74

*Valor duplicado de 2003, em virtude da ausência de informação por parte do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR)

Fonte: Adaptado de MMA, 2012

Nesse período, seriam economizados cerca de R\$ 946.919,71, sendo essa quantia deduzida dos R\$ 1.890.808,52 que seriam gastos no mesmo período na operação da UTC. Ressalta-se que o valor poupado poderia ser ainda maior se o aterro fosse de contrato privado, como é a atual situação do município de Betim, que tem disposto seus resíduos no aterro industrial Classe I da empresa Essencis MG Soluções Ambientais S/A (BETIM, 2015b).

Além dos custos indiretos, medida que poderia ser avaliada para redução dos custos com limpeza urbana seria a extinção da coleta seletiva porta-a-porta. Os resultados apresentados pelo município estimam que apenas 0,83% da massa total coletada, em 2014, foi oriunda da coleta seletiva, sendo o melhor resultado evidenciado em 2007 (1,86%), demonstrando a pouca eficiência da modalidade no município.

A partir dos dados expostos, interpreta-se que a UTC projetada se mostrou factível apesar do resultado econômico negativo, pois proporcionaria melhor desempenho e menores custos, além da geração de empregos e preservação ambiental. Ressalta-se ainda que foi estimado apenas um dos custos indiretos decorrentes do projeto, podendo haver outras deduções significativas, como a de redução de equipamentos na operação do aterro, valoração ambiental dos benefícios gerados e outros.

6 CONCLUSÕES

As considerações finais dessa pesquisa foram baseadas nas informações apresentadas ao decorrer do trabalho, sendo essas provenientes da revisão da literatura e, posteriormente, dos resultados obtidos a partir de sua compilação.

O modelo da variação sazonal apresentou ajuste bem explicado pelo valor erro padrão de estimação e pelo coeficiente de determinação. Entretanto, a avaliação do perfil gravimétrico gerou questionamentos em relação a eficiência da coleta seletiva do município, tendo em vista o percentual de materiais recicláveis coletados ser baixo quando comparado ao total.

Dentre as alternativas disponíveis para melhoria dos indicadores sanitários do município está a adoção de UTC nos moldes projetados. Mesmo desconsiderando a coleta seletiva prévia, os resultados foram significativos, uma vez que apontaram acréscimo de 1 ano, 4 meses e 21 dias no tempo de vida útil da CTRS Betim, valor que corresponderia a 13,55% do total gerado durante a operação do empreendimento. Se comparados os desempenhos da planta proposta e da real, haveria incremento de 75.709,17 toneladas de resíduos tratados durante os 15 anos de operação.

Esses resultados refletem parte dos ganhos provenientes da UTC, pois quantifica o acréscimo no tempo de vida útil, além de servir de subsídio para projetos futuros. Aterros sanitários que forem construídos considerando unidades de triagem e compostagem em seus dimensionamentos tendem a possuir menores áreas ou maiores períodos de operação. Em ambos os casos, gerando benefícios ambientais decorrentes da redução da necessidade por terreno e pela reincorporação de materiais recicláveis no processo produtivo.

Apesar de não ter apresentado retorno econômico direto, a unidade proposta geraria custos menores e melhores resultados comparados à planta original, além de gerar, conseqüentemente, benefícios ambientais e sociais. O retorno econômico indireto calculado também mostrou-se positivo, uma vez que o aumento do percentual de resíduos reciclados reduz a quantidade aterrada e os custos com disposição final.

Outras avaliações relativas aos custos são importantes, pois subsidiam tomadas de decisões. A primeira envolve o levantamento de custos ambientais, não estimados nessa pesquisa, mas que devem ser considerados em projetos. A segunda pode ser feita por aterros sanitários particulares, que são beneficiados economicamente com a ampliação da vida útil, pois permite que estes empreendimentos recebam maior volume de resíduos ao decorrer dos seus anos de operação, possibilitando ampliação de sua receita. Por fim, municípios que

apresentam baixos índices de reciclagem, deveriam estudar a possibilidade de extinção da coleta seletiva porta-a-porta e/ou ações que visem ampliação de desempenho, visto os altos custos envolvidos nesse modelo de coleta.

Recomenda-se que mais trabalhos similares sejam desenvolvidos em outros locais a fim de destacar a importância da adoção de unidades de triagem e compostagem e, conseqüentemente a geração de benefícios ambientais e sociais para municípios. Além disso, demonstrar a possibilidade de autossuficiência das mesmas, permitindo maior interesse por parte dos municípios e da iniciativa privada.

7 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Estudos detalhados a respeito das perdas provenientes do processo de triagem e compostagem se mostraram escassos, podendo ser melhor explorados em pesquisas futuras. Foram encontrados trabalhos apontando parâmetros de projeto, mas seriam importantes trabalhos focados nas perdas e mecanismos de redução dessas. Este tipo de estudo permitiria maior precisão em projetos e melhorias de processos das usinas de triagem e compostagem, possibilitando maior difusão dessas unidades.

Além das melhorias operacionais das UTC's, estudos a respeito da viabilidade econômica do modelo de coleta seletiva porta-a-porta mostram-se necessários, em razão da importância de propostas que visem a redução dos custos de gestão dos resíduos sólidos e proporcionem melhores resultados percentuais. Poderiam ser avaliadas comparativamente modelos de uso misto da coleta seletiva porta-a-porta com usina de triagem e compostagem, ou somente o tratamento sem segregação previa por parte da população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. F. (Org.). **Coleta seletiva com inclusão social: em municípios, empresas, instituições, condomínios e escolas**. Belo Horizonte: CREA-MG, 2008.
- AAS Engenharia Ambiental; **Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental – RADA**; Betim: Prefeitura Municipal de Betim; 2009; 199 p.;
- ADVFN BRASIL. IPCA acumulado. 2016. Disponível em: <<http://br.advfn.com/indicadores/ipca>> Acesso em: 27 de out. de 2016;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Estimativas dos Custos para Viabilizar a Universalização da Destinação Adequada de Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2015. 94 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2011**. ABRELPE: [S.I.], 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama Dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014**. 12 ed. São Paulo, 2014. 120 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT; **Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos**. NBR 8419, Rio de Janeiro, ABR 1992. 7 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT; **Aterros de Resíduos Não Perigosos - Critérios para Projeto, Implantação e Operação**. NBR 13896, Rio de Janeiro, JUN 1997. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT; **Incineração de resíduos sólidos perigosos - Padrões de desempenho**. NBR 11.175, Rio de Janeiro, JUN 1990. 5 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.
- ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; NÓBREGA, C. C.; GADELHA, C. L. M.; SOUZA, I. M. F.; FAGUNDES, G. S. **Efeito do Antigo Lixão do Roger, João Pessoa, Brasil, na Qualidade da Água Subterrânea Local**. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 4, n. 1, p. 142-155 2009.

- BARREIRA, L. A.; JUNIOR A. P.; RODRIGUES M. S. **Usinas de Compostagem do Estado de São Paulo: Qualidade dos Compostos e Processos de Produção**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.
- BARROS, R. T.. **Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos**. 1. ed. Belo Horizonte: Tessitura, 2012. 424 p.
- BENGER, R. **Análise Benefício-Custo: Instrumento de Auxílio para Tomada de Decisões na Empresa Florestal**. São Paulo: IPEF, 1980.
- BETIM, **Plano Decenal de Educação de Betim 2015/2024**, 2015a, Betim. Disponível em
<http://www.betim.mg.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/plano_decenal_de_educacao_de_betim_2015_2024;07242613;20151202.pdf> Acesso em: 20 mai. 2016;
- BETIM, **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Betim**, Betim, Minas Gerais, Prefeitura Municipal de Betim. 2010;
- BETIM, **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Betim**, 2015b, Betim. Disponível em
<[http://www.betim.mg.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/Plano%20Municipal%20de%20Betim%20-%20Revis%C3%A3o%20-%202015.09.15%20\(1\)%20\(1\);;20151104.pdf](http://www.betim.mg.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/Plano%20Municipal%20de%20Betim%20-%20Revis%C3%A3o%20-%202015.09.15%20(1)%20(1);;20151104.pdf)>
Acesso em: 08 abr. 2016;
- BETIM, **Relatório de Avaliação do Desempenho Ambiental**, Betim, Minas Gerais, Prefeitura Municipal de Betim. 2009;
- BRASIL. **Calculadora do cidadão**. 2016. Disponível em:
<<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice>> Acesso em: 25 nov. 2016.
- BRASIL, **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Lei nº 12.305/2010, de 02 de agosto de 2010, Diário Oficial da União, Brasília, 03/08/2010.
- BUDZIAK, C. R.; MAIA, C. M.; MANGRICH, A. S. **Transformações Químicas da Matéria Orgânica Durante a Compostagem de Resíduos da Indústria Madeireira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2004.
- CAMPOS, D. P.; ABREU, R. L. **Localização de Betim em Minas Gerais**. 2006. Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Betim#/media/File:MinasGerais_Municip_Betim.svg>
Acesso em: 25 set. 2016.

- CAMPOS, L. R. **Aterro Sanitário Simplificado: Instrumento de Análise de Viabilidade Econômico-Financeira, Considerando Aspectos Ambientais.** 122 p. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2008.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. **Artigos e Publicações, Ficha Técnica: Composto Orgânico.** 2016a, São Paulo. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/10/composto-urbano>> Acesso em: 09 out. 2016;
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. **CEMPRE informa número 148 julho/agosto: Material Reciclável.** 2016b, São Paulo. Disponível em: <<http://cempre.org.br/cempre-informa/id/77/preco-do-material-reciclavel>> Acesso em: 05 out. 2016;
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. **CEMPRE Review 2013.** São Paulo: Sérgio Adeodato, 2013, 24 p.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. **CICLOSOFT 2014: Radiografando a Coleta Seletiva.** 2014, São Paulo. Disponível em: <<http://cempre.org.br/ciclossoft/id/2>> Acesso em: 14 mai. 2016.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** 3 ed. São Paulo: André Vilhena, 2010. 350 p.
- CONSELHO DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM. **Deliberação Normativa nº 118, de 27 de junho de 2008.** Altera os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, e dá outras providências. Minas Gerais, Belo Horizonte, 01/07/2008;
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução Nº 307, de 5 de julho de 2002.** 2002. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. Publicada no Diário Oficial da União em 17/07/2002.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002.** Publicada no Diário Oficial da União em 20/11/2002.

- CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO PARANÁ - CREA-PR. **Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos**. v. 3. Paraná: Habitat Ecológico Ltda, 2009. 64 p.
- CONTÁBEIS: O PORTAL DA PROFISSÃO CONTÁBIL. **Salários Mínimos de 1995 a 2016**. Disponível em: <<http://www.contabeis.com.br/tabelas/salario-minimo/>> Acesso em: 08 out. 2016;
- COSTA, M. L.; **Estudo De Processos De Compostagem Centralizada E Doméstica Aplicáveis À Empresa Ambisousa**. 118 p. Dissertação (mestrado em Engenharia do Ambiente) – FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Universidade do Porto. Porto, 2014.
- CUNHA, V.; FILHO, J. V. **Gerenciamento da Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos: Estruturação e Aplicação de Modelo Não-Linear de Programação por Metas**. São Paulo: Gestão & Produção, 2002. 19 p.
- DAL ZOT, E. **Análise de Investimento: Estudo para a Abertura de Filial de Rede de Educação Profissional**. 54 p. Monografia (Graduação em Administração) – Departamento de Ciências Administrativas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- DUARTE, G. C. **Introdução à Matemática e à Administração Financeira Intervalar**. 163 p. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) – Departamento de Informática e Matemática Aplicada, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL - IBAM. **Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação da logística reversa por cadeia produtiva. Componente: produtos e embalagens**. 2012. Disponível em: <http://www.aliancaspublicoprivadas.org.br/app/wp-content/uploads/2014/07/12case_evte-vpsite.pdf>. Acesso em: 10 out. 2016;
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Área Territorial Brasileira**, 2016a; Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm> Acesso em: 09 mai. 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estimativas populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros em 01.07.2015**, 2016b. Disponível em:

- <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_dou.shtm> Acesso em: 09 mai. 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estados: Minas Gerais**. 2016c. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?lang=&sigla=mg>> Acesso em: 12 mai. 2016;
 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, **Minas Gerais: Betim**, 2016d. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm> Acesso em: 20 mai. 2016.
 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, **Minas Gerais: Betim. Infográficos: evolução populacional e pirâmide etária**. 2016e. Disponível em:
<<http://cidades.ibge.gov.br/painel/populacao.php?lang=&codmun=310670&search=minas-gerais|betim|info%20gr%20ficos:-evolu%20o-populacional-e-pir%20mide-et%20ria>> Acesso em: 28 ago. 2016.
 - FUNDAÇÃO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – FADE. **Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. 1. ed. Pernambuco: Universidade Federal de Pernambuco, 2014. 187 p.
 - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Análise de Pré-Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental da Implantação de um Sistema de Aproveitamento Energético de Biogás Gerado em um Aterro Sanitário Existente no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEAM, 2009. 120 p.
 - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Caderno Técnico de Reabilitação de Áreas Degradadas por Resíduos Sólidos Urbanos**. Belo Horizonte: FEAM, 2010. 35 p.
 - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Orientações Básicas para Operação de Aterro Sanitário**. Belo Horizonte: FEAM, 2006a. 36 p.
 - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Orientações Básicas para Operação de Usina de Triagem e Compostagem de Lixo**. Belo Horizonte: FEAM, 2006b. 52 p.

- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Orientações Técnicas: para atendimento à deliberação normativa 118/2008 do conselho estadual de política ambiental.** Belo Horizonte: FEAM, 2008. 25 p.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Panorama da Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de Minas Gerais em 2014.** Belo Horizonte: FEAM, 2015. 52 p.
- FURLANETO, F. P; ESPERANCINI, M.S. **Estudo da Viabilidade Econômica de Projetos de Implantação de Piscicultura em Viveiros Escavados.** São Paulo: Informações Econômicas, v.39, n.2, 2009.
- GAZZONI, E. I. **Fluxo de Caixa – Ferramenta de Controle Financeiro para a Pequena Empresa.** 96 p. Dissertação (mestrado em Engenharia da Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- HIRSCHFELD, H. **Engenharia Econômica e Análise de Custos.** 7 ed. São Paulo: Atlas S.A., 2000. 519 p.
- MALLMANN, R. **Análise da Viabilidade de um Empreendimento de Produção Musical.** 81 p. Monografia (Graduação em Ciências Contábeis) – Departamento de Ciências Administrativas, Contábeis, Econômicas e da Comunicação (DACEC), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul Unijuí, Ijuí, 2012.
- MANDURI. **Planilha Orçamentaria.** 2014. Disponível em: <http://www.manduri.sp.gov.br/transparencia/LRF/PREGOES/TOMADA_013/Orcamento%20asfalto%2003%202014.pdf> Acesso em: 10 nov. de 2016;
- MINAS GERAIS, **Política Estadual de Resíduos Sólidos de Minas Gerais, Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009, Diário do Executivo – “Minas Gerais”, Belo Horizonte - 13/01/2009;**
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Manual Para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos.** Izabella Teixeira (Ministra de Estado de Meio Ambiente). Brasília: MMA, 2010;
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Plano Nacional de Resíduo Sólidos.** Silvano Silvério da Costa (Secretário de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano). Brasília: MMA, 2012;

- MORGADO, T. C.; FERREIRA, O. M. **Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos, Aproveitamento na Co-Geração de Energia. Estudo para a Região Metropolitana de Goiânia.** Goiânia: Universidade Católica de Goiás, 2006. 18 p.
- MUÑOZ, S. **Impacto Ambiental na Área do Aterro Sanitário e Incinerador de Resíduos Sólidos de Ribeirão Preto, SP: Avaliação dos Níveis de Metais Pesados.** 158 p. Tese (doutorado em Enfermagem) – Programa de Pós-Graduação de Enfermagem em Saúde Pública – Linha de Pesquisa: Saúde Ambiental. Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2002.
- PAULA, L.G.; CEZAR, V.R. **Compostagem de Resíduos Orgânicos da Área Verde do Campus Marechal Deodoro–Ifal em Função do Número de Revolvimentos.** Espírito Santo. Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 4, p. 155-163, 2011;
- PEREIRA NETO, J. T. **Manual de Compostagem: Processo de Baixo Custo.** Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. 81p.
- PINTO, T. P., GONZÁLEZ, J. L. P. (Orgs.). **Elementos para a organização da coleta seletiva e projeto dos galpões de triagem.** Brasília: Ministério das Cidades e Ministério do Meio Ambiente, 2008. 57p.
- PIRES, A. **Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema de Compostagem Acelerada para Resíduos Sólidos Urbanos.** 65 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011.
- PROTÁSIO, Thiago *et al.* **Relação Entre o Poder Calorífico Superior e os Componentes Elementares e Minerais da Biomassa Vegetal.** Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 31, n. 66, p. 113-122, abr./jun. 2011;
- QUINA, M. M. J. **Processos de Inertização e Valorização de Cinzas Volantes: Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos.** 423 p. Tese (doutorado em Engenharia da Química) – Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, Coimbra, 2005.
- RUSSO, M. A. T.. **Tratamento de Resíduos Sólidos.** Coimbra: Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil. 2003.
- SANTOS. R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática.** 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. **Cooperativa: Série de Empreendimentos Coletivos.** 2014. Disponível

em:<[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/65f0176ca446f4668643bc4e4c5d6add/\\$File/5193.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/65f0176ca446f4668643bc4e4c5d6add/$File/5193.pdf)> Acesso em: 17 out. de 2016;

- SCHMITZ, M. **Gerenciamento de resíduos sólidos domésticos: estudo de caso na central de triagem, tratamento e destino final dos resíduos sólidos domésticos do município de Estrela/RS.** Lajeado. UNIVATES, 2012.
- SCHROEDER, J. T. *et al*, **O Custo de Capital como Taxa Mínima de Atratividade na Avaliação de Projetos de Investimento.** Ponta Grossa: Revista Gestão Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. v. 01, n. 02 p. 036-045, 2005.
- SEEBLA ENGENHARIA. **Estudo de Impacto Ambiental**, 1994, Prefeitura Municipal de Betim, Betim, 1994;
- SILVA, C. C. **Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos: Avaliação Qualitativa do que Pensa o Cidadão no Bairro Santa Terezinha, em Juiz de Fora – MG.** 1 ed. 65 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz De Fora, Juiz de Fora, 2014.
- SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS - SINDUSCON-MG, **Custos Unitários Básicos de Construção.** 2016. Disponível em: <http://www.sinduscon-mg.org.br/site/arquivos/up/cub/tabelas/tabela_cub_setembro_2016.pdf> Acesso em: 15 out. de 2016;
- TEIXEIRA, L.B, GERMANO V.L.C., OLIVEIRA R..F e JUNIOR, J.F. **Processo de Compostagem, a partir de lixo orgânico urbano, em leira estática com ventilação natural.** EMBRAPA. BELÉM. 2004
- VILELA, M. C. *et al*. **Análise da Viabilidade Econômico-Financeira de Projeto de Piscicultura em Tanques Escavados.** IN: 9º Congresso USP de Iniciação Científica em Contabilidade, 2013.
- VIMIEIRO, G. V. **Usinas de triagem e compostagem: valoração de resíduos e de pessoas - um estudo sobre a operação e os funcionários de unidades de Minas Gerais.** 464 p. Teses (doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Linha de Pesquisa: Saneamento. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

APÊNDICE A

APÊNDICE A – Quantidade estimada de resíduos sólidos urbanos gerados mensalmente no Município de Betim – MG (t/mês)

Proporção Calculada	8,81%	7,97%	8,01%	8,01%	7,85%	7,74%	7,86%	8,17%	8,48%	8,59%	8,67%	9,83%	100,00%
Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total (t)
1997	2.432,5	2.199,9	2.212,4	2.211,7	2.168,4	2.138,8	2.170,4	2.257,2	2.342,5	2.372,0	2.395,0	2.714,4	27.615
1998	3.261,8	2.949,9	2.966,7	2.965,8	2.907,8	2.868,0	2.910,4	3.026,7	3.141,1	3.180,8	3.211,6	3.639,8	37.031
1999	3.793,5	3.430,8	3.450,3	3.449,2	3.381,7	3.335,5	3.384,8	3.520,1	3.653,2	3.699,3	3.735,1	4.233,1	43.067
2000	4.069,8	3.680,7	3.701,6	3.700,5	3.628,1	3.578,5	3.631,4	3.776,5	3.919,3	3.968,7	4.007,2	4.541,5	46.204
2001	4.200,3	3.798,7	3.820,3	3.819,1	3.744,4	3.693,2	3.747,8	3.897,6	4.044,9	4.096,0	4.135,6	4.687,1	47.685
2002	4.754,2	4.299,6	4.324,1	4.322,8	4.238,2	4.180,2	4.242,0	4.411,6	4.578,3	4.636,1	4.681,0	5.305,2	53.973
2003	4.561,2	4.125,1	4.148,5	4.147,3	4.066,1	4.010,5	4.069,8	4.232,5	4.392,5	4.447,9	4.491,0	5.089,8	51.782
2004	4.689,2	4.240,8	4.264,9	4.263,7	4.180,2	4.123,0	4.184,0	4.351,2	4.515,7	4.572,7	4.617,0	5.232,6	53.235
2005	4.877,2	4.410,9	4.435,9	4.434,6	4.347,8	4.288,3	4.351,8	4.525,7	4.696,8	4.756,1	4.802,1	5.442,4	55.370
2006	5.306,2	4.798,9	4.826,1	4.824,7	4.730,3	4.665,6	4.734,6	4.923,8	5.109,9	5.174,4	5.224,5	5.921,2	60.240
2007	5.801,5	5.246,8	5.276,6	5.275,0	5.171,8	5.101,1	5.176,5	5.383,4	5.586,9	5.657,4	5.712,2	6.473,9	65.863
2008	6.266,3	5.667,2	5.699,4	5.697,7	5.586,2	5.509,8	5.591,3	5.814,7	6.034,5	6.110,7	6.169,8	6.992,5	71.140
2009	6.644,3	6.009,0	6.043,2	6.041,4	5.923,1	5.842,1	5.928,5	6.165,4	6.398,5	6.479,3	6.542,0	7.414,3	75.431
2010	6.784,5	6.135,8	6.170,7	6.168,8	6.048,1	5.965,3	6.053,6	6.295,5	6.533,5	6.616,0	6.680,0	7.570,7	77.022
2011	6.341,8	5.735,4	5.768,0	5.766,3	5.653,5	5.576,1	5.658,6	5.884,7	6.107,2	6.184,3	6.244,1	7.076,8	71.997
Total	73.784	66.729	67.109	67.089	65.776	64.876	65.836	68.467	71.055	71.952	72.648	82.335	837.655

Fonte: Adaptado de BETIM, 2015 *apud* Viasolo Engenharia Ambiental S/A

APÊNDICE B

APÊNDICE B – Custos (R\$) anuais de operação da CTRS Betim, entre os anos de 2001 e 2011

Descrição	TOTAL (R\$)					
	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Usina de Triagem/Compostagem	300.746,43	526.266,84	248.147,96	0,00	0,00	0,00
Equipe para manutenção do Aterro Sanitário	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Equipe de topografia para Aterro Sanitário	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Equipe de vigilância para o Aterro Sanitário	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fornecimento de material para equipe padrão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LOCAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA ATERRO SANITÁRIO						
Trator de esteiras 150 HP	126.661,44	260.651,65	338.407,30	278.274,28	338.173,71	403.265,80
Retroescavadeira 65 HP	28.584,18	109.111,73	104.388,21	48.787,29	73.398,42	97.898,90
Pá carregadeira 100 HP	41.965,30	107.059,03	81.926,57	85.541,90	94.975,11	77.283,96
Caminhão basculante 6,0 m ³	100.520,58	271.956,30	326.206,65	320.011,48	289.385,84	268.705,89
Caminhão pipa 7000L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rolo compactador	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total (R\$)	598.477,94	1.275.045,55	1.099.076,69	732.614,95	795.933,08	847.154,54

Descrição	TOTAL (R\$)				Total (R\$)
	2007	2008	2010	2011	
Usina de Triagem/Compostagem	0,00	139.007,78	0,00	0,00	1.214.169,01
Equipe para manutenção do Aterro Sanitário	29.988,78	186.451,98	268.595,16	262.075,86	747.111,78
Equipe de topografia para Aterro Sanitário	19.447,42	96.814,33	87.513,39	54.114,56	257.889,70
Equipe de vigilância para o Aterro Sanitário	61.071,40	393.440,75	392.266,30	285.391,35	1.132.169,80
Fornecimento de material para equipe padrão	0,00	6.751,77	0,00	0,00	6.751,77
LOCAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA ATERRO SANITÁRIO					
Trator de esteiras 150 HP	656.147,69	1.045.853,00	1.248.310,00	441.419,20	5.137.164,07
Retroescavadeira 65 HP	136.697,80	121.437,61	71.857,95	0,00	792.162,08
Pá carregadeira 100 HP	156.355,16	172.141,20	128.697,66	70.897,68	1.016.843,57
Caminhão basculante 6,0 m ³	456.492,52	320.252,58	244.134,24	126.291,63	2.723.957,71
Caminhão pipa 7000L	33.410,28	190.585,20	239.774,70	117.071,01	580.841,19
Rolo compactador	26.192,00	0,00	0,00	0,00	26.192,00
Total (R\$)	1.575.803,04	2.672.736,20	2.681.149,40	1.357.261,29	13.635.252,68

Fonte: Autor

APÊNDICE C

APÊNDICE C – Quantidade estimada de RSU passíveis de reciclagem gerados mensalmente no Município de Betim – MG (t/mês)

Proporção Calculada	8,81%	7,97%	8,01%	8,01%	7,85%	7,74%	7,86%	8,17%	8,48%	8,59%	8,67%	9,83%	100,00%
Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total (t)
1997	2.410,8	2.180,3	2.192,7	2.192,0	2.149,1	2.119,7	2.151,1	2.237,1	2.321,6	2.350,9	2.373,7	2.690,2	27.369
1998	3.239,0	2.929,3	2.946,0	2.945,1	2.887,5	2.848,0	2.890,1	3.005,6	3.119,2	3.158,6	3.189,2	3.614,4	36.772
1999	3.616,9	3.271,1	3.289,7	3.288,7	3.224,3	3.180,2	3.227,3	3.356,2	3.483,1	3.527,1	3.561,2	4.036,1	41.062
2000	3.972,6	3.592,8	3.613,2	3.612,1	3.541,4	3.493,0	3.544,7	3.686,3	3.825,7	3.874,0	3.911,5	4.433,0	45.100
2001	3.981,7	3.601,0	3.621,4	3.620,4	3.549,5	3.500,9	3.552,7	3.694,7	3.834,4	3.882,8	3.920,4	4.443,1	45.203
2002	4.605,8	4.165,4	4.189,1	4.187,8	4.105,9	4.049,7	4.109,6	4.273,9	4.435,4	4.491,4	4.534,9	5.139,6	52.288
2003	4.358,1	3.941,4	3.963,8	3.962,6	3.885,1	3.831,9	3.888,6	4.044,0	4.196,9	4.249,8	4.291,0	4.863,2	49.476
2004	4.505,0	4.074,2	4.097,4	4.096,2	4.016,0	3.961,1	4.019,6	4.180,3	4.338,3	4.393,1	4.435,6	5.027,1	51.144
2005	4.733,8	4.281,2	4.305,5	4.304,2	4.220,0	4.162,3	4.223,8	4.392,6	4.558,7	4.616,2	4.660,9	5.282,4	53.742
2006	5.036,4	4.554,8	4.580,7	4.579,4	4.489,8	4.428,3	4.493,8	4.673,4	4.850,1	4.911,3	4.958,9	5.620,1	57.177
2007	5.330,4	4.820,7	4.848,1	4.846,7	4.751,8	4.686,8	4.756,2	4.946,2	5.133,2	5.198,0	5.248,3	5.948,2	60.515
2008	5.778,2	5.225,7	5.255,4	5.253,8	5.151,0	5.080,5	5.155,7	5.361,7	5.564,4	5.634,6	5.689,2	6.447,8	65.598
2009	6.399,0	5.787,2	5.820,1	5.818,3	5.704,5	5.626,4	5.709,7	5.937,8	6.162,3	6.240,1	6.300,5	7.140,6	72.646
2010	6.670,3	6.032,5	6.066,8	6.065,0	5.946,3	5.865,0	5.951,7	6.189,6	6.423,5	6.504,6	6.567,6	7.443,3	75.726
2011	6.213,9	5.619,8	5.651,7	5.650,0	5.539,5	5.463,7	5.544,5	5.766,1	5.984,1	6.059,6	6.118,3	6.934,1	70.545
Total	70.852	64.077	64.442	64.422	63.162	62.298	63.219	65.746	68.231	69.092	69.761	79.063	804.364

Fonte: Adaptado de BETIM, 2015 *apud* Viasolo Engenharia Ambiental S/A