



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM ATERRO SANITÁRIO PARA CIDADE DE PEQUENO PORTE

Engº Pedro Sérgio Hortolani Rodrigues

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP – Ênfase em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Profa. Dra. Luzenira Alves Brasileiro

ILHA SOLTEIRA

2008

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP – Ilha Solteira.

R696a

Rodrigues, Pedro Sérgio Hortolani.

Análise de viabilidade econômica de um aterro sanitário para cidade de pequeno porte / Pedro Sérgio Hortolani Rodrigues. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2008.

102 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2008

Orientador: Luzenira Alves Brasileiro

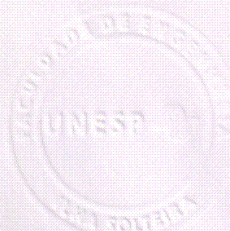
Bibliografia: p. 100-102

1. Resíduos sólidos. 2. Aterro sanitário. 3. Viabilidade econômica.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO



TÍTULO: ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM ATERRO SANITÁRIO PARA CIDADE DE PEQUENO PORTE

AUTOR: PEDRO SÉRGIO HORTOLANI RODRIGUES
ORIENTADORA: Profa. Dra. LUZENIRA ALVES BRASILEIRO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA CIVIL pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. LUZENIRA ALVES BRASILEIRO
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. JAIRO SALIM PINHEIRO DE LIMA
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Profa. Dra. ILCE DE OLIVEIRA CAMPOS
Faculdade de Engenharia Civil / Universidade Federal de Uberlândia

Data da realização: 08 de agosto de 2008.

Presidente da Comissão Examinadora
Profa. Dra. LUZENIRA ALVES BRASILEIRO

DEDICATÓRIA

Aos meus pais pelo apoio prestado em todas as fases de minha vida.

À minha noiva Danielle por todo incentivo e auxílio que sempre me foi prestado.

À Profa. Dra. Luzenira pela amizade, orientação e ensinamentos transmitidos durante nossos trabalhos.

A todos aqueles que dedicam seus esforços para garantir um mundo mais sustentável para as futuras gerações.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu protetor maior.

À Capes pelo auxílio financeiro concedido para meus estudos.

Aos professores do Departamento de Engenharia Civil, pelos conhecimentos prestados durante minha graduação e mestrado.

Ao Prof. Dr. Jairo Salim Pinheiro de Lima e ao Prof. Dr. Sérgio Luís de Carvalho pela orientação prestada em minha qualificação.

À Prefeitura Municipal de Ilha Solteira, por ter cedido os dados necessários para o desenvolvimento do meu trabalho.

A todos meus amigos dos diversos cursos da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira que conquistei nesses anos.

Aos meus amigos de sempre: Marcelo, Netúlio e Janaína, por todos os bons momentos que passamos juntos.

RESUMO

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos consiste em realizar as seguintes etapas: geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte e disposição final. Os tipos de disposição final são: lixão, aterro controlado e aterro sanitário.

A proposta da dissertação foi realizar uma análise de viabilidade econômica de um aterro sanitário para cidade de pequeno porte, através do método da Relação Benefício - Custo (RBC).

O estudo de caso foi feito para a cidade de Ilha Solteira, que se situa no noroeste do Estado de São Paulo, e apresenta aproximadamente 25.700 habitantes.

A pesquisa consistiu em desenvolver as seguintes atividades: coleta de dados sobre a produção de resíduos sólidos urbanos, cálculo dos custos, cálculo dos benefícios e cálculo da Relação Benefício - Custo para o aterro sanitário.

O método da Relação Benefício – Custo consiste em determinar o valor presente dos benefícios e dividir pelo valor presente dos custos. O resultado foi analisado em termos do valor obtido da RBC para o aterro sanitário. O valor da RBC obtido foi 0,16 menor que 1, portanto o aterro sanitário é economicamente inviável para o estudo de caso.

ABSTRACT

The management of urban solid waste consists of the following stages: generation; conditioning; storage; collection; transportation and disposal. The kinds of disposal are: garbage dump; landfill dump and sanitary landfill.

The dissertation proposal was to realize an economic viability analysis of a sanitary landfill for a small city using the benefit-cost ratio method (BCR).

The case study was realized for Ilha Solteira city located in the northwest of São Paulo State. The city provides approximately 25.700 inhabitants.

The research was to develop the following activities: data collection of the solid waste production; costs calculation; benefits calculation and benefit-cost ratio calculation for the sanitary landfill.

The benefit-cost ratio method consists in determine the benefits present values and divide the costs present values. The results were analyzed in terms of the BRC value obtained. The value of BRC obtained was 0.16 lower than 1, so the sanitary landfill is economically unfeasible for the case study.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	07
1.1.	Considerações Gerais	07
1.2.	Definição do Problema	08
1.3.	Objetivo	08
2.	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	09
2.1.	Considerações Gerais	09
2.2.	Classificação	10
2.2.1	Quanto aos riscos potenciais de contaminação ao meio ambiente	10
2.2.2	Quanto à natureza ou origem	11
2.3.	Gerenciamento	13
3.	DESTINAÇÃO FINAL	20
3.1.	Considerações Gerais	20
3.2.	Lixão ou Vazadouro a Céu Aberto	21
3.3.	Aterro Controlado	23
3.4.	Aterro Sanitário	24
3.4.1	Vantagens e desvantagens dos aterros sanitários	26
3.4.2	Estruturas componentes do aterro sanitário	26
4.	MATERIAL E MÉTODO	30
4.1.	Considerações Gerais	30
4.2.	Relação Benefício-Custo	30
4.3.	Benefícios	31
4.4.	Custos	32
5.	CUSTOS DE UM ATERRO SANITÁRIO	33
5.1.	Considerações Gerais	33
5.2.	Equacionamento do Custo de Investimento do Projeto de um Aterro Sanitário	34
5.3.	Equacionamento do Custo de Transporte do Projeto de um Aterro Sanitário	48
5.4.	Equacionamento do Custo de Disposição Final do Projeto de um Aterro Sanitário	53
6.	ESTUDO DE CASO	62
6.1.	Considerações Gerais	62
6.2.	Estudo de Caso do Custo de Investimento do Projeto de um Aterro Sanitário	63
6.3.	Estudo de Caso do Custo de Transporte do Projeto de um Aterro Sanitário	78
6.4.	Estudo de Caso do Custo de Disposição Final do Projeto de um Aterro Sanitário	83
6.5.	Relação Benefício-Custo do Projeto de um Aterro Sanitário	94
7.	CONCLUSÕES	98
8.	REFERÊNCIAS	100

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Gerais

Os resíduos sólidos são todos os materiais apresentados no estado sólido ou semi-sólido que são indesejáveis e que necessitam ser removidos, por terem sido considerados inúteis pelos seus geradores e por não serem passíveis de algum tipo de tratamento especial.

Quanto à natureza ou origem, os diferentes tipos de resíduos podem ser agrupados em cinco classes: lixo doméstico ou residencial, lixo comercial, lixo público, lixo domiciliar especial e lixo de fontes especiais. Este trabalho trata de todos os tipos de resíduos que serão destinados de maneira convencional, excetuando-se os de certas fontes especiais, tais como os lixos industriais e radioativos que são depositados em aterros especiais e são de responsabilidade de seus geradores.

Para que se torne viável a instalação de um sistema de disposição final de resíduos sólidos deve ser realizada uma análise de viabilidade econômica considerando todas as variáveis de ordem técnica, ambiental e social.

As variáveis de ordem técnica são estabelecidas pela engenharia, considerando os equipamentos e materiais disponíveis para a construção e operação do sistema. As variáveis de ordem ambiental são definidas por órgãos públicos fiscalizadores, de modo a diminuir os impactos ao meio ambiente. As de ordem social são estabelecidas em conjunto com a sociedade, podendo gerar benefícios e evitar possíveis impactos sociais.

A análise de viabilidade econômica para escolher o tipo mais adequado de disposição final dos resíduos sólidos de uma cidade torna, compatível o custo da realização do serviço com a demanda da população.

Esse processo de análise proporciona a racionalização do destino final de resíduos sólidos urbanos, principalmente em cidades de pequeno porte, onde os recursos destinados para a atividade são escassos e mal utilizados.

1.2. Definição do Problema

O tipo de disposição final inadequado ao tamanho da cidade gera desconforto aos moradores próximos, tais como odor contínuo, presença de vetores transmissores de doenças e presença de fumaça, além de gerar poluição visual ao ambiente. Portanto, com o crescimento das cidades, o desafio da limpeza urbana não consiste apenas em remover o lixo de logradouros e edificações, mas, principalmente, em dar um destino final adequado aos resíduos coletados.

Devido à variação de volume dos resíduos sólidos gerados, que está ligada à quantidade de habitantes em uma cidade e ao padrão de vida dos mesmos, deve-se escolher o melhor tipo de disposição final que atenda aos parâmetros de ordem técnica, ambiental e social.

Na disposição final dos resíduos sólidos, observam-se problemas relativos à falta de critérios técnicos de projeto, operação e monitoramento para seleção de áreas e implantação desses sistemas (ANDREOLI, 2001).

Além disso, na grande maioria dos municípios, o tipo de disposição final é escolhido sem nenhum critério econômico, gerando custos excessivos de operação e manutenção para a população em geral.

1.3. Objetivo

O objetivo desta pesquisa é realizar uma análise de viabilidade econômica de um aterro sanitário para cidade de pequeno porte.

2. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS ---

2.1. Considerações Gerais

Os resíduos sólidos, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1987), através da NBR 10004, são aqueles resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Também são incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles resíduos gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição assim como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isto soluções técnicas e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível.

Essa definição torna evidente a diversidade e complexidade dos resíduos sólidos. Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são aqueles produzidos por inúmeras atividades desenvolvidas em áreas com aglomerações humanas abrangendo, resíduos de várias origens, tais como residencial, comercial, de estabelecimentos de saúde, da limpeza pública (varrição, capina e poda), da construção civil e, os resíduos agrícolas.

Segundo a U.S. Environmental Protection Agency - EPA (2003), resíduos de demolição e construção, lodos de tratamento de esgotos e resíduos industriais não perigosos são materiais que geralmente não são considerados como RSU, mas podem ser descartados em aterros convencionais, portanto podem ser incluídos ao conjunto dos RSU.

Os fatores que influenciam a origem e a formação do lixo no meio urbano são diversos, dentre eles tem-se: o número de habitantes do local, a área relativa de produção, as variações sazonais, as condições climáticas, os hábitos e costumes da população, o nível educacional, o poder aquisitivo, a frequência de coleta, a eficiência da coleta, o tipo de equipamento de coleta e as leis e regulamentações específicas. Ou seja, estes mesmos fatores são os que também diferenciam as comunidades entre si.

Além das características quali-quantitativas é necessário o conhecimento sobre outras características dos resíduos sólidos. O conhecimento sobre as características químicas possibilita a seleção de processos de tratamento e técnicas de disposição final. No que se refere ao planejamento e gestão de todas as etapas do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, também é útil conhecer a densidade aparente dos resíduos, como também a sua compressividade e composição gravimétrica.

2.2. Classificação

2.2.1. Quanto aos riscos potenciais de contaminação ao meio ambiente

Para Castilhos Junior (2003), há vários tipos de classificação dos resíduos sólidos que se baseiam em determinadas características ou propriedades identificadas. A classificação é relevante para a escolha da estratégia de gerenciamento mais viável.

Apesar de os resíduos sólidos poderem ser classificados de várias maneiras, as mais comuns são quanto aos riscos potenciais de contaminação ao meio ambiente e quanto à natureza ou origem.

De acordo com ABNT (1987), através da NBR 10004, os resíduos sólidos são classificados quanto a sua periculosidade, ou seja, característica apresentada pelo resíduo em função das suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, que podem apresentar potencial risco à saúde pública e ao meio ambiente. Assim, os resíduos podem ser classificados em:

(1) Classe I ou perigosos

Os resíduos desta classe são aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou da morbidade. Estes resíduos, ainda, provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

(2) Classe II ou não-inertes

Esta classe de resíduos é constituída por aqueles que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos ou Classe III – Inertes.

(3) Classe III ou inertes

Os resíduos desta classe são aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente. Estes resíduos, quando amostrados de forma representativa e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada a temperatura ambiente não têm nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

2.2.2. Quanto à natureza ou origem

Segundo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais - IBAM (2001), a origem é o principal elemento para a caracterização dos resíduos sólidos. Segundo este critério, os diferentes tipos de lixo podem ser agrupados em cinco classes, a saber:

(1) Lixo doméstico ou residencial

Estes resíduos são gerados nas atividades diárias de casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais.

(2) Lixo comercial

Estes resíduos são gerados em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem das atividades ali desenvolvidas.

(3) Lixo público

Estes resíduos estão presentes nos logradouros públicos, em geral. Eles são resultantes da natureza; tais como folhas, galhadas, poeira, terra e areia, e também são aqueles descartados irregular e indevidamente pela população; tais como entulho, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos.

(4) Lixo domiciliar especial

Grupo que compreende os entulhos de obras, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus. Os entulhos de obra, também são conhecidos como resíduos da construção civil. Eles só estão enquadrados nesta categoria por causa da grande quantidade de sua geração e pela importância de sua recuperação e reciclagem.

(5) Lixo de fontes especiais

Estes resíduos, em função de suas características peculiares, passam a merecer cuidados especiais em seu manuseio, acondicionamento, estocagem, transporte ou disposição final. Dentro da classe de resíduos de fontes especiais, merecem destaque os seguintes: lixo industrial; lixo radioativo; lixo de portos, aeroportos e terminais rodoferroviários; lixo agrícola; e resíduos de serviços de saúde.

2.3. Gerenciamento

Uma das atividades do saneamento ambiental é aquela que contempla a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. Os termos gestão e gerenciamento podem adquirir conotações diferentes entre as pessoas que trabalham com os resíduos sólidos urbanos, embora possam ser utilizados como sinônimos.

Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos é, em síntese, o envolvimento de diferentes órgãos da administração pública e da sociedade civil, com o propósito de realizar a limpeza urbana, a coleta, o tratamento e a disposição final do lixo. Este eleva a qualidade de vida da população e promove a limpeza da cidade. O processo de gerenciamento dos RSUs considera as características das fontes de produção, o volume e os tipos de resíduos – para ser-lhes dado tratamento diferenciado e disposição final técnica e ambientalmente corretas, as características sociais, culturais e econômicas dos cidadãos e as peculiaridades demográficas, climáticas e urbanísticas locais (IBAM, 2001).

Para Castilhos Junior (2003), as diretrizes das estratégias de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos buscam atender os objetivos do conceito de prevenção da poluição, evitando ou reduzindo a geração de resíduos e poluentes prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública. Deste modo, busca-se priorizar os seguintes procedimentos: a redução na fonte, o reaproveitamento, o tratamento e a disposição final. No entanto, cabe mencionar que a hierarquização dessas estratégias é função das condições legais, sociais, econômicas, culturais e tecnológicas existentes no município, bem como das especificidades de cada tipo de resíduo.

Ainda, segundo Castilhos Junior (2003), o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos deve ser integrado, ou seja, deve englobar etapas articuladas entre si, desde a não geração até a disposição final, com atividades compatíveis com as dos demais sistemas de saneamento ambiental. A participação ativa e cooperativa do primeiro, segundo e terceiro setor, respectivamente, governo, iniciativa privada e sociedade civil organizada é essencial.

De acordo com EPA (2003), deve existir uma hierarquia para facilitar o gerenciamento dos resíduos sólidos, que é composta por três componentes listados em ordem de preferência: redução, incluindo o reuso de produtos; reciclagem e compostagem; e disposição final adequada, ou seja, em aterros sanitários.

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos é de fundamental importância, pois estes trazem constantes riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos consiste em realizar as seguintes etapas: geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte e disposição final, podendo haver algumas variantes, como mostra a Figura 01.

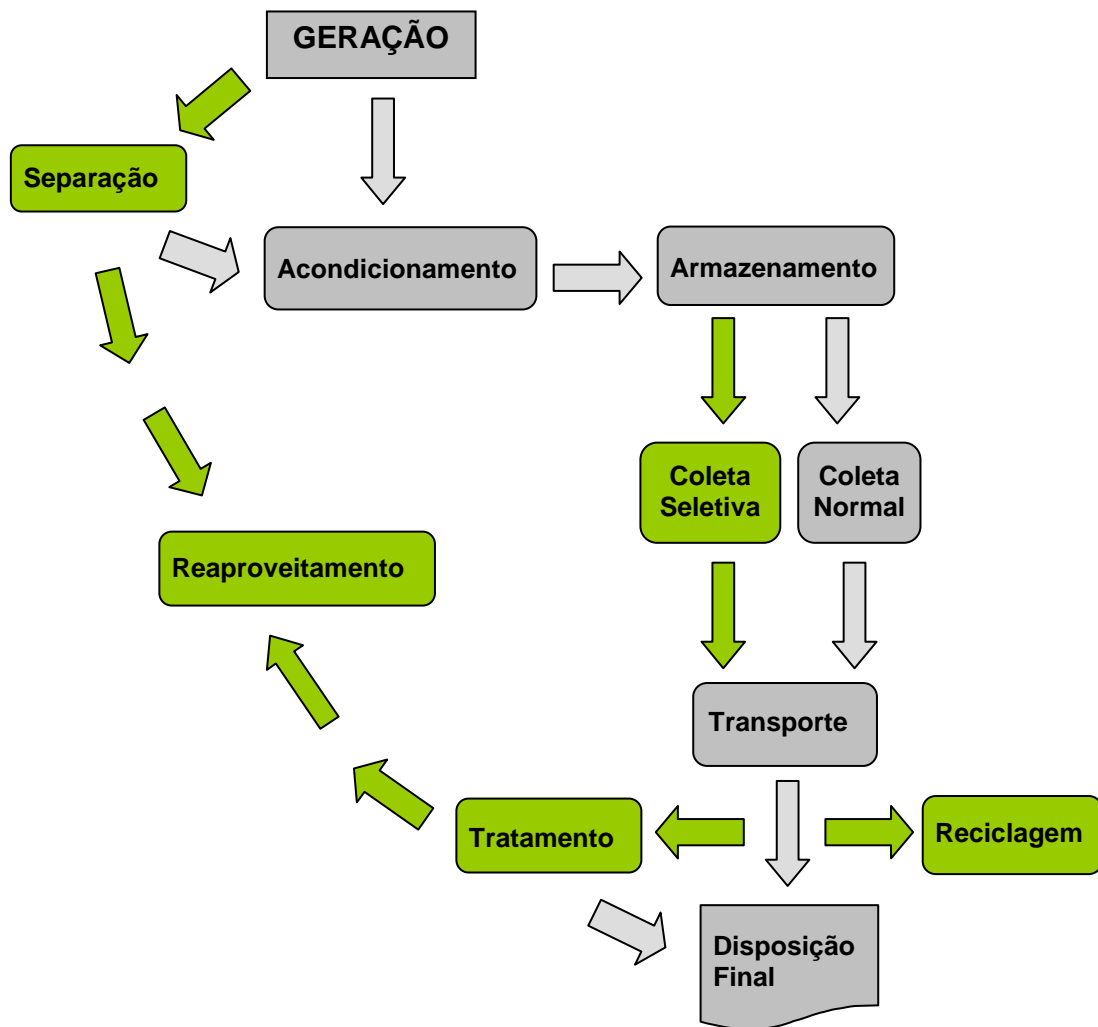


Figura 01 – Fluxograma do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos

(1) Geração

A geração é o ato de produzir o resíduo, através da realização de atividades que originam materiais sem valor para o mesmo tipo de atividade (IBAM, 2001).

Apesar dessa etapa constituir o início do gerenciamento, é de fundamental importância o impacto produzido no sistema; pois quanto maior a quantidade de resíduos gerados, maiores serão os volumes coletados, transportados, tratados e dispostos.

O crescimento da geração de resíduos urbanos é função do processo de urbanização e, principalmente, do elevado consumo de bens materiais, que agrava ainda mais os problemas relacionados à disposição final dos resíduos sólidos (ORSATI, 2006).

De acordo com Ferreira (1994), a taxa média de geração de resíduos sólidos urbanos em países subdesenvolvidos é de aproximadamente 0,5 kg/hab.dia, enquanto em países desenvolvidos esta taxa pode chegar a 2,0 kg/hab.dia.

Para se avaliar corretamente a projeção da geração de lixo per capita é necessário conhecer o tamanho da população residente no município, os hábitos, os costumes e o nível educacional desta, além do desenvolvimento econômico do município.

(2) Separação

Quando o gerador separa os diferentes constituintes do lixo, como plásticos, metais, papéis e orgânicos entre outros. Este é o processo que encaminha o resíduo para a coleta seletiva ou para o reaproveitamento.

(3) Acondicionamento

Segundo ABNT (1985), através da NBR 8849, o acondicionamento é o ato ou efeito de embalar os resíduos sólidos.

O processo de acondicionar os resíduos sólidos significa prepará-los para a coleta de forma sanitariamente adequada, colocando-os em recipientes específicos; tais como sacos plásticos e contêineres, que sejam compatíveis com o tipo e a quantidade de resíduos.

A etapa de acondicionamento do resíduo não significa somente colocá-lo em um recipiente adequado, podendo ser beneficiada por pré-ações como realizar uma lavagem simples dos resíduos dos tipos vasilhames constituídos por materiais metálicos, plásticos e vidros. Este processo retira as impurezas, evita a proliferação de moscas e evita também uma maior produção de chorume.

A qualidade da operação de coleta e transporte do lixo depende da forma adequada de seu acondicionamento. A importância do acondicionamento adequado também está em evitar acidentes, evitar a proliferação de vetores e minimizar o impacto visual e olfativo. A população tem participação decisiva nesta operação.

(4) Armazenamento

O armazenamento é o ato de depositar os resíduos acondicionados. Para manter a qualidade desta etapa deve ser realizado o armazenamento no local, dia e horário estabelecidos pelo órgão de limpeza urbana para a coleta. A população tem também participação ativa nesta operação.

Um armazenamento adequado implica em facilidades para a coleta dos resíduos sólidos urbanos, além de evitar o carreamento dos sacos de lixo pela água da chuva.

(5) Coleta

A coleta do lixo significa recolher o lixo acondicionado, por quem o produz para encaminhá-lo, mediante transporte adequado, a uma possível estação de transferência, a um eventual tratamento e à disposição final. O lixo é coletado para evitar problemas de saúde que ele possa propiciar (IBAM, 2001).

Quando é feita a separação do lixo antes do acondicionamento, este pode ser submetido à coleta seletiva que pode ser realizada na cidade inteira ou em pontos da mesma, de acordo com a disponibilidade da gerenciadora dos resíduos sólidos.

De acordo com Instituto de Pesquisa Tecnológica - IPT e Compromisso Empresarial PARA Reciclagem - CEMPRE (2000), a coleta do lixo e seu transporte para áreas de tratamento ou destinação final são ações do serviço público municipal de grande visibilidade para a população, pois impedem o desenvolvimento de vetores transmissores de doenças que encontram alimento e abrigo no lixo.

A coleta particular é obrigatoriamente de responsabilidade do gerador, em decorrência do tipo de resíduo ou da quantidade ser superior à prevista em legislação municipal. Indústrias, supermercados, shopping centers, construtoras e empreiteiras, entre outros, devem providenciar a coleta dos seus resíduos em função do volume gerado. Hospitais, ambulatórios, centros de saúde e farmácias, entre outros, devem ter coleta particular em função do tipo de lixo. O papel da fiscalização por parte da prefeitura é fundamental (IPT; CEMPRE, 2000).

O planejamento e administração da coleta envolvem algumas características importantes que devem ser consideradas; entre elas estão a frequência, o ponto de coleta, o horário de coleta e a forma de coleta. A identificação destas características tem por objetivo causar o menor incômodo possível para a população, e dar uma solução sanitariamente adequada e economicamente viável (AGUIAR et al., 2005).

(6) Transporte

O transporte é o deslocamento do resíduo entre o ponto de origem e o ponto de destino final, ou para possível tratamento ou reciclagem. No transporte de resíduos podem ser utilizados diferentes tipos de veículos, tais como os caminhões compactadores e os caminhões sem compactação.

Geralmente, o transporte dos resíduos entre as áreas geradoras e as instalações de tratamento, reciclagem ou destinação final é realizado pelos veículos que são utilizados na coleta. Em alguns casos, são previstas estações de transbordo, em que

os resíduos são transferidos de veículos menores para veículos maiores, afim de conferir maior economia ao sistema.

Nas cidades que têm maiores condições de investimento, os caminhões compactadores são usualmente empregados na coleta unificada porque proporcionam maior eficácia operacional. No entanto, outros veículos como caminhões de carroceria aberta continuam sendo empregados em localidades menores.

Segundo IBAM (2001), um bom veículo de coleta de lixo deve possuir as seguintes características:

- não permitir o derramamento do lixo ou do chorume nas vias públicas;
- apresentar uma taxa de compactação de pelo menos 3:1;
- apresentar altura de carregamento na linha de cintura dos garis;
- possibilitar o esvaziamento simultâneo de pelo menos dois recipientes por vez;
- possuir carregamento traseiro, de preferência.
- dispor de local adequado para o transporte dos trabalhadores;
- apresentar descarga rápida do lixo no destino;
- possuir capacidade adequada de manobra e de vencer aclives;
- possibilitar basculamento de diversos tipos de contêineres; e
- apresentar capacidade adequada para o menor número de viagens ao destino, nas condições de cada área.

Para obter uma maior relação benefício-custo, deve-se escolher um veículo de coleta que preencha o maior número das características apresentadas anteriormente.

A roteirização da coleta é outro fator preponderante para a diminuição dos custos, pois quando esta é feita de maneira a diminuir, ao máximo, o trajeto dos veículos, ela faz com que o serviço de coleta seja mais rápido, eficiente e menos oneroso.

(7) Tratamento

Define-se tratamento como uma série de procedimentos destinados a reduzir o potencial poluidor dos resíduos sólidos, seja impedindo o descarte de lixo em ambiente ou local inadequado, seja transformando-o em material inerte ou biologicamente estável (IBAM, 2001).

Assim, alguns componentes do lixo podem ser aproveitados, diminuindo a quantidade de material a ser descartado.

(8) Reciclagem

A reciclagem é o ato de reaproveitar o material previamente separado, criando outros produtos e outras utilizações ao lixo que seria descartado.

A maioria dos materiais separados tem potencial de serem reciclados, podendo gerar benefícios como a preservação dos recursos naturais, diminuição do volume em áreas de disposição final, o aproveitamento energético, a geração de emprego e renda.

(9) Disposição Final

A disposição final é o ato de dispor o resíduo no local de destino. Esta operação é a mais polêmica do gerenciamento dos resíduos sólidos, pois envolve questões econômicas, ambientais e sociais.

Esta última fase do gerenciamento é de obrigação do poder público municipal. Apenas os grandes geradores e os geradores de resíduos perigosos como as indústrias têm a obrigação de dar o destino final aos seus resíduos.

Os tipos de destinação final são: vazadouros a céu aberto (lixões), aterros controlados e aterros sanitários. A triagem, reciclagem, compostagem, incineração e pirólise não são métodos de destinação final. Estes procedimentos são considerados como métodos de tratamento de resíduos sólidos.

3. DESTINAÇÃO FINAL

3.1. Considerações Gerais

Segundo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (1993), pela Resolução N^o 5, um sistema de disposição final de resíduos sólidos é o conjunto de unidades, processos e procedimentos que visam o lançamento de resíduos no solo, garantindo-se a proteção da saúde pública e a qualidade do meio ambiente.

Os tipos de disposição final são: lixão, aterro controlado e aterro sanitário. O lixão é a disposição final a céu aberto, que é caracterizada pela descarga dos resíduos sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. O aterro controlado é o tipo de disposição final que confina os resíduos em uma vala no solo, cobrindo-os com uma camada de material inerte, sem realizar a impermeabilização da base do aterro, a drenagem dos gases e do chorume gerados. O aterro sanitário é também uma vala no solo, que confina e cobre os resíduos com uma camada de material inerte, havendo a impermeabilização da base do aterro, drenagem de chorume e gases.

Por motivos políticos, as prefeituras sempre investem mais recursos na coleta e transporte dos resíduos sólidos, pois são ações visíveis aos olhos da população, não dando muita importância à disposição final. Esta etapa, na maioria dos casos, é feita de maneira inadequada, prejudicando o meio ambiente e podendo gerar um sério problema social, devido ao crescimento desordenado das cidades, com a ocupação de áreas próximas ao local de disposição final, atraindo catadores e proliferando doenças.

Essa questão merece atenção porque, ao realizar a coleta de lixo de forma ineficiente, a prefeitura é pressionada pela população para melhorar a qualidade do serviço, pois se trata de uma operação totalmente visível aos olhos da população. Contudo, ao se dar uma destinação final inadequada aos resíduos, poucas pessoas serão diretamente incomodadas, fato este que não gerará pressão por parte da população (IBAM, 2001).

A disposição final dos RSU consiste em uma das preocupações dos administradores municipais, pois mesmo com o tratamento e/ou aproveitamento dos resíduos ainda sobram os resíduos do resíduo (OLIVEIRA, 1998).

Como a gestão de resíduos urbanos é uma atividade essencialmente municipal e as atividades que a compõem se restringem ao território do Município, não são muito comuns no Brasil as soluções consorciadas, mesmo quando se trata de destinação final em aterros (JUCÁ, 2002).

3.2. Lixão ou Vazadouro a Céu Aberto

O lixão é um local de deposição dos resíduos sólidos afastado do centro das cidades no qual são depositados a céu aberto todos os tipos de resíduos coletados. Este tipo de disposição final constitui uma forma inadequada de descarga dos resíduos sólidos urbanos, porém é a mais comum na grande maioria das cidades dos países em desenvolvimento. As conseqüências decorrentes do abandono do lixo a céu aberto são visíveis aos olhos da população, como mostra a Figura 02.



Figura 02 – Aspecto visual de um lixão (DEMLURB/JF, 2007)

Segundo Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM (2005), os resíduos assim lançados acarretam problemas à saúde pública, como a proliferação de vetores

transmissores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos entre outros), a geração de odores desagradáveis e, principalmente, a poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas pelo chorume (líquido de coloração escura, mau cheiroso e de elevado potencial poluidor, produzido pela decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos), como mostra a Figura 03.

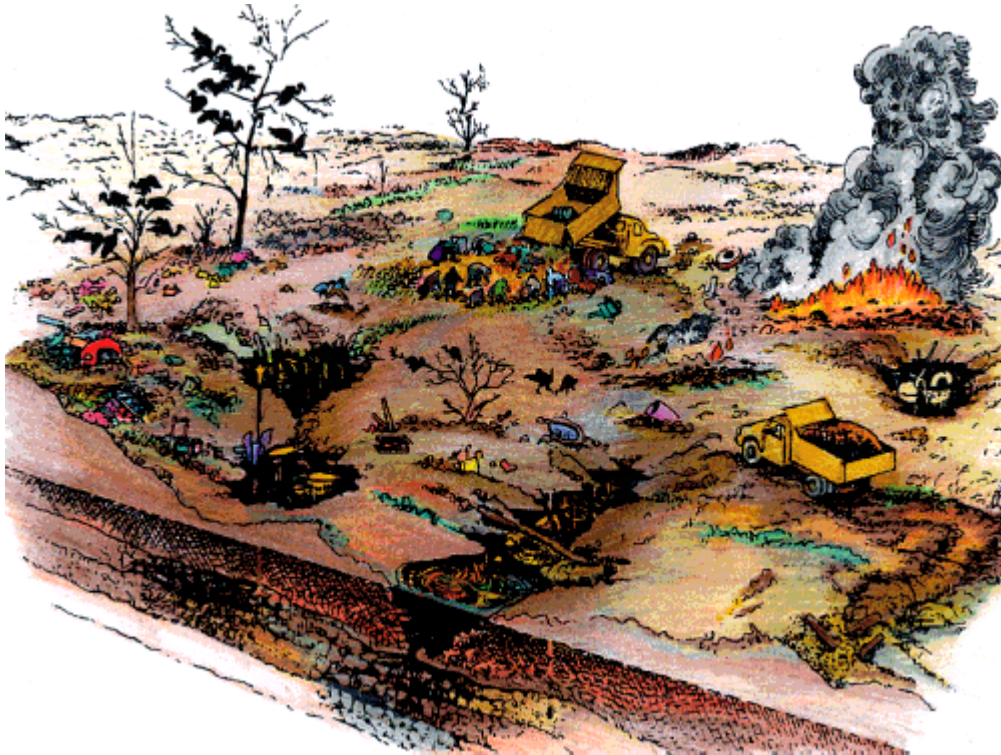


Figura 03 – Rotina operacional de um lixão (REIS, 2001)

Outro problema atribuído aos lixões são as constantes queimas dos resíduos depositados com o intuito de diminuir seu volume, gerando gases tóxicos que poluem o ar e constituem um risco à população que mora nas proximidades.

Os lixões, além dos problemas sanitários, também se constituem em um sério problema social, porque acabam atraindo os catadores, indivíduos que fazem da catação do lixo um meio de sobrevivência, muitas vezes permanecendo na área dos lixões, em abrigos e casebres, criando famílias e até mesmo formando comunidades (IBAM, 2001).

Apesar de todos os problemas gerados pelos lixões, este tipo de disposição final ainda é o mais utilizado pelos municípios devido aos baixos custos envolvidos. Os

municípios não consideram os elementos sociais e ambientais garantidos por um sistema adequado de disposição final de resíduos sólidos.

3.3. Aterro Controlado

O aterro controlado é uma forma de confinar tecnicamente o lixo coletado sem poluir o ambiente externo, porém, não dispõe da coleta e tratamento do chorume e da coleta e queima do biogás (IBAM, 2001).

Segundo ABNT (1985), pela NBR 8849, o aterro controlado é a técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Este método utiliza alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho, como mostra a Figura 04.



Figura 04 – Aspecto visual de um aterro controlado (PMPM/SMMAA, 2007)

Com esta técnica de disposição final produz-se, em geral, poluição localizada, não havendo, porém, impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas), nem sistema de tratamento de percolato (chorume mais águas de infiltração) ou de dispersão dos gases gerados (FEAM, 2005).

Este método trata-se de uma solução primária para o problema do descarte dos resíduos sólidos urbanos, mas é preferível ao lixão, apresentando mesmo assim qualidade muito inferior ao aterro sanitário.

3.4. Aterro Sanitário

O aterro sanitário é o método mais adequado de disposição final dos resíduos sólidos no solo. Este método utiliza princípios de engenharia e normas operacionais específicas, que têm como objetivo acomodar no solo, no menor espaço possível, os resíduos sólidos urbanos, sem causar danos ao meio ambiente ou à saúde pública, como mostra a Figura 05.



Figura 05 – Aspecto visual de um aterro sanitário (HELENO E FONSECA CISTRUTÉCNICA S.A., 2007)

De acordo com ABNT (1992), pela NBR 8419, aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é a técnica de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Este método 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, como mostra a Figura 06.

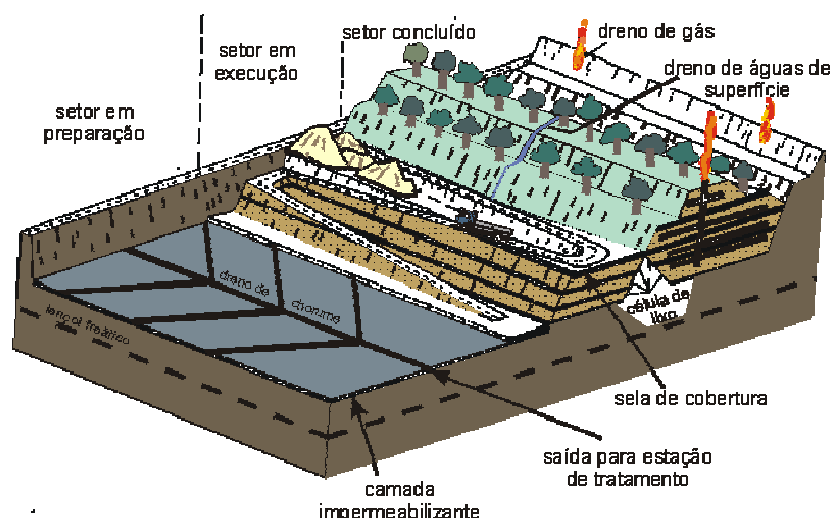


Figura 06 – Esquema operacional de um aterro sanitário (REIS, 2001)

Quando a capacidade do aterro se esgota, a área deve ser recuperada para efeito paisagístico e para utilização pela sociedade, respeitando-se as limitações técnicas inerentes às características dos terrenos aterrados com resíduos.

Em se tratando de uma solução sanitária e ambientalmente adequada, o aterro sanitário é considerado a forma mais barata, a curto prazo, para solucionar a questão dos resíduos sólidos domésticos em cidades médias e grandes (COINTREAU-LEVINE, 1995). Com o passar do tempo, as áreas disponíveis tendem a se esgotar, provocando aumento de custo devido ao preço de novos terrenos ou às maiores distâncias em relação aos centros geradores.

Aterros sanitários de pequeno porte tendem a ser economicamente inviáveis (CASTILHOS JUNIOR, 2003). Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (2006) tem indicado o aterro em valas para pequenas comunidades, como uma solução adequada e economicamente acessível, desde que respeitadas determinadas propriedades técnicas, como características do solo e profundidade do lençol freático.

3.4.1. Vantagens e desvantagens dos aterros sanitários

Para CETESB (1997), as principais vantagens do aterro sanitário são:

- custo de investimento muito menor que o requerido por outras formas de tratamento de resíduos;
- custo de operação muito menor que o requerido pelas instalações de tratamento de resíduos;
- método completo pois não apresenta rejeitos ou refugos a serem tratados em outras instalações;
- simplicidade operacional; e
- flexibilidade operacional, sendo capaz de operar bem mesmo ocorrendo flutuações nas quantidades de resíduos a serem aterradas.

Apesar das vantagens apresentadas, os aterros sanitários também possuem algumas desvantagens:

- não tratam os resíduos, consistindo numa forma de armazenamento no solo;
- requerem áreas cada vez maiores;
- a operação sofre ação das condições climáticas; e
- apresentam risco de contaminação do solo e da água subterrânea.

3.4.2. Estruturas componentes do aterro sanitário

A decomposição da matéria orgânica presente no lixo resulta na formação de um líquido de cor escura, odor desagradável e elevado potencial poluidor, denominado chorume. A percolação das águas de chuva através da massa de resíduos arrasta consigo o chorume, bem como outros materiais em solução ou suspensão, constituindo-se nos chamados líquidos percolados dos aterros (CETESB, 1997).

Em decorrência da decomposição dos resíduos confinados nos aterros, são gerados também grandes volumes de gases tóxicos que saem de forma descontrolada pelos

taludes e superfície ou, mesmo, infiltram-se no solo causando problemas com riscos de explosões, geração de maus odores e poluição do ar.

Portanto, o aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos deve contar com todos os elementos de proteção ambiental. De acordo com Aguiar (2005), destacam-se os seguintes:

1. impermeabilização de fundo e laterais: dependendo do tipo de resíduo pode ser feita com argila e/ou mantas poliméricas;
2. drenagem e tratamento de percolados: em função das chuvas e da decomposição dos resíduos são gerados líquidos percolados – que nos aterros sanitários são chamados de chorume, carregando consigo poluentes. Assim é necessária uma estação de tratamento de efluentes, ou o transporte desses efluentes por carro-pipa para uma estação distante, caso não haja uma no local;
3. drenagem de gases: especialmente importante nos aterros sanitários, porque a decomposição dos resíduos orgânicos gera biogás, que é composto principalmente por metano e gás carbônico, com risco de explosões e de desabamentos, em virtude da formação de bolhas de gás e conseqüente fragilização mecânica;
4. drenagem de águas superficiais: as águas pluviais e eventuais cursos d'água devem ser afastados para minimizar a formação de percolados e, por conseguinte, evitar o transporte de poluentes para o exterior do aterro; e
5. cobertura: no caso de aterros sanitários que recebem resíduos finos carreáveis pelo vento, a cobertura deve ser diária, evitando arraste de poluentes e a ploriferação de vetores, principalmente ratos e baratas.

Segundo FEAM (2005), embora o aterro sanitário consista em uma técnica simples, ele exige cuidados especiais, e procedimentos específicos devem ser seguidos desde a escolha da área até a sua operação e monitoramento. Um aterro sanitário

tem uma vida útil superior a 10 anos, e o seu monitoramento deve prolongar-se, no mínimo, por mais 10 anos após o seu encerramento (FEAM, 2005).

Além das estruturas de proteção ambiental que devem estar presentes no aterro sanitário, são necessárias também instalações de infra-estrutura essenciais para garantir a operação adequada do aterro, tais como:

- guarita ou portaria: Local onde são realizados os primeiros passos da operação do aterro, tais como a recepção, a inspeção e o controle dos caminhões e veículos que chegam na área do aterro.
- balança: Para fazer o controle da quantidade de resíduos que chegam ao aterro.
- isolamento da área: Esta etapa consiste no fechamento com cerca e portão, que circunda completamente a área em operação, construída de forma a evitar o acesso de pessoas estranhas, catadores e animais.
- sinalização: A sinalização deve ser feita por placas indicativas das unidades e advertência nos locais de risco.
- cinturão verde: Cerca viva com espécies arbóreas no perímetro da instalação, diminuindo o impacto visual negativo e fazendo uma significativa barragem dos possíveis odores produzidos.
- acessos: O acesso é constituído pelas vias internas e externas, implantadas e mantidas de maneira a permitir sua utilização sob quaisquer condições climáticas.
- iluminação e força: Ligação à rede de energia para uso dos equipamentos e ações de emergência no período noturno, caso seja necessário.

- comunicação: Ligação à rede de telefonia para comunicações internas e externas, principalmente em ações de emergência.
- abastecimento de água: Ligação à rede pública de abastecimento de água tratada ou outra forma de abastecimento, para uso nas instalações de apoio e para umedecimento das vias de acesso.
- instalações de apoio operacional: Prédio administrativo contendo, no mínimo, escritório, refeitório, copa, instalações sanitárias e vestiários.
- laboratório: Há a necessidade, em alguns casos, da instalação de um laboratório para controle da composição dos resíduos sólidos que estão sendo aterrados.
- oficina de manutenção: Para realizar as eventuais manutenções nos veículos e maquinários que trabalham no aterro.
- instrumentos de monitoramento: Equipamentos para o acompanhamento e controle ambiental do empreendimento, como poços de monitoramento de águas subterrâneas, medidores de vazão, piezômetros e medidores de recalques horizontais e verticais.

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1. Considerações Gerais

Um estudo de caso foi realizado para a cidade de Ilha Solteira – SP. A coleta dos dados sobre a geração de RSU, a situação atual da disposição final e os valores médios do solo urbano foi feita utilizando um formulário desenvolvido para esta pesquisa.

O método utilizado para realizar a análise de viabilidade econômica do aterro sanitário de resíduos sólidos é a Relação Benefício-Custo.

4.2. Relação Benefício-Custo

Este método consiste em dividir o valor presente dos benefícios pelo valor presente dos custos do serviço. A Relação Benefício-Custo está apresentada através da Equação 1.

$$RBC = \frac{\sum_{t=0}^N \frac{B}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^N \frac{C}{(1+i)^t}} = \frac{P_B}{P_C} \quad (1)$$

Onde:

RBC - Relação Benefício-Custo;

t - Tempo atual;

N - Vida útil do projeto (anos);

B - Benefício proveniente do projeto (R\$);

i - Taxa de juros de mercado (%);

C - Custos do projeto (R\$);

P_B - Valor presente dos benefícios; e

P_C - Valor presente dos custos.

Os resultados da Relação Benefício-Custo serão analisados da seguinte forma:

Se $RBC < 1 \Rightarrow$ o benefício é menor do que o custo do projeto, portanto o tipo de disposição final é inviável economicamente;

Se $RBC = 1 \Rightarrow$ o benefício é igual ao custo do projeto, portanto o tipo de disposição final também é inviável economicamente; ou

Se $RBC > 1 \Rightarrow$ o benefício é maior do que o custo do projeto, portanto o tipo de disposição final é viável economicamente.

4.3. Benefícios

O benefício proveniente de um projeto de disposição final de resíduos sólidos urbanos é mostrado através da Equação 2.

$$B = D.T \quad (2)$$

Onde:

B - Benefício proveniente do projeto (ton x R\$/hab/ano);

D - Demanda pelo serviço de disposição final de resíduos, ou seja, quantidade de resíduos gerados pela população urbana (ton ou kg); e

T - Tarifa a ser cobrada, ou seja, custo unitário, que seria pago pela população, para a realização dos serviços de coleta, transporte e disposição final dos resíduos sólidos urbanos (R\$).

A tarifa dos serviços de coleta, transporte e disposição final dos resíduos sólidos urbanos é calculada através da Equação 3.

$$T = \frac{C_{TOT}}{Pop} \quad (3)$$

Onde:

T - Tarifa dos serviços de coleta, transporte e disposição final dos resíduos sólidos urbanos (R\$/hab/ano);

C_{TOT} - Custo total do projeto (R\$); e

Pop – População (hab).

4.4. Custos

O custo total de um projeto de disposição final dos resíduos sólidos urbanos é calculado através da Equação 4.

$$C_{TOT} = I + C_{TR} + C_{DF} \quad (4)$$

Onde:

C_{TOT} - Custo total do projeto (R\$/ano);

I - Custo de investimento do projeto (R\$);

C_{TR} - Custo de transporte dos resíduos (R\$); e

C_{DF} - Custo de disposição final dos resíduos (R\$).

Custos do projeto

Os custos de um projeto de disposição final dos resíduos sólidos urbanos são determinados pela Equação 5.

$$C_{DF} = C_O + C_M \quad (5)$$

Onde:

C_{DF} - Custo de disposição final dos resíduos (R\$);

C_O - Custo de operação do projeto de disposição final (R\$); e

C_M - Custo de manutenção do projeto de disposição final (R\$).

5. CUSTOS DE UM ATERRO SANITÁRIO

5.1. Considerações Gerais

O total dos custos de um aterro sanitário é dividido em três fases, respectivamente, o custo de investimento, onde são calculadas todas as obras para que o aterro sanitário possa ser operado de maneira adequada; o custo de transporte dos resíduos para o local de disposição final; e o custo de disposição final, que é composto pelas etapas de operação e manutenção do aterro sanitário.

Para fazer o levantamento preciso de todas as variáveis que compõe os custos do aterro sanitário deve-se quantificar essas variáveis de acordo com os padrões de engenharia e os padrões ambientais, estabelecidos pelas normas vigentes e pela bibliografia.

O custo de investimento é função de todas as obras a serem realizadas: primeiramente, a aquisição do local para a instalação do aterro; posteriormente as obras de infra-estrutura obrigatórias (guarita, balança, administração e galpão de manutenção); logo após, as obras necessárias para que se possa realizar o adequado aterramento dos resíduos e no final, as obras de proteção ambiental (drenos de chorume, gases, águas pluviais e sistema de tratamento de chorume).

O custo de transporte é referente ao valor do deslocamento dos resíduos a partir dos pontos de geração até o local de disposição final.

O custo de operação de um aterro sanitário é função do volume de resíduos gerados em uma área urbana e, em conseqüência, depende do tamanho da população urbana. O custo de operação depende também da taxa de Encargos Sociais que a empresa gerenciadora disponibiliza para os funcionários. E, ainda, o custo de operação é função do tamanho da área do aterro sanitário, pois a quilometragem considerada na operação é aquela percorrida pelos veículos dentro dos limites internos.

O custo de manutenção é referente ao valor dos custos necessários para manter a obra em operação. Este custo é composto pelos custos de funcionamento dos equipamentos e pelo custo das atividades dos funcionários.

5.2. Equacionamento do Custo de Investimento do Projeto de um Aterro Sanitário

Os custos de investimento de um projeto de disposição final dos resíduos sólidos urbanos são determinados pela Equação 6.

$$I = C_T + C_{IA} + C_E + C_V + C_{DR} + C_{ST} \quad (6)$$

Onde:

I – Custo total de investimento (R\$);

C_T – Custo do terreno (R\$);

C_{IA} – Custo dos isolamentos e acessos (R\$);

C_E – Custo dos equipamentos (R\$);

C_V – Custo das valas de aterramento dos resíduos (R\$);

C_{DR} – Custo de drenagem (R\$); e

C_{ST} – Custo do sistema de tratamento (R\$).

Custo do Terreno

O custo do terreno é o valor do solo onde será construído o aterro sanitário.

Custo dos Isolamentos e Acessos

O custo dos isolamentos e acessos do aterro sanitário é dado pela Equação 7.

$$C_{IA} = D_{LT} + D_C + D_{AC} \quad (7)$$

Onde:

C_{IA} – Custo dos isolamentos e acessos (R\$);

D_{LT} – Despesas com limpeza do terreno (R\$);

D_C – Despesas com cercamento (R\$); e

D_{AC} – Despesas com execução dos acessos (R\$).

$$D_{LT} = CO_{TE} + (C_C + C_{OL})Q$$

Onde:

D_{LT} – Despesas com limpeza do terreno (R\$);

CO_{TE} – Custo do operador do trator de esteira (R\$);

C_C – Custo de combustível gasto na etapa de limpeza do terreno (R\$/km);

C_{OL} – Custo de óleo e lubrificante gasto na limpeza do terreno (R\$/km); e

Q – Quilometragem percorrida na etapa de limpeza do terreno (km).

$$CO_{TE} = PO_{TE} \times A$$

Onde:

CO_{TE} – Custo do operador do trator de esteira (R\$);

PO_{TE} – Preço do serviço do operador do trator de esteira (R\$/m²); e

A – Área (m²).

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

Onde:

F_C – Fator de consumo de combustível do trator de esteira (litro/km); e

P_C – Preço do combustível (R\$/litro).

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

Onde:

F_{Ci} – Fator de consumo do item trator de esteira (litro/km); e

P_i – Preço do item (R\$/litro).

$$D_C = 4CA_{SG} + C_{CE} + C_{CV}$$

Onde:

D_C – Despesas com cercamento (R\$);

CA_{SG} – Custo do ajudante de serviços gerais (R\$);

C_{CE} – Custo do cercamento com tela de aço (R\$); e

C_{CV} – Custo do cercamento vegetal (R\$).

$$CA_{SG} = PA_{SG} \times M$$

Onde:

CA_{SG} – Custo do ajudante de serviços gerais (R\$);

PA_{SG} – Preço do serviço do ajudante de serviços gerais (R\$/m); e

M – Metragem do cercamento (m).

$$C_{CE} = P_{CE} \times M$$

Onde:

C_{CE} – Custo do cercamento com tela de aço (R\$);

P_{CE} – Preço da cerca de tela de aço (R\$/m); e

M – Metragem do cercamento (m).

$$C_{CV} = P_{MV} \times Q_M$$

Onde:

C_{CV} – Custo do cercamento vegetal (R\$);

P_{MV} – Preço de muda vegetal (R\$); e

Q_M – Quantidade de mudas.

$$D_{AC} = CO_M + CO_{RC} + 2(C_C + C_{OL})Q$$

Onde:

D_{AC} – Despesas com execução dos acessos (R\$);

CO_M – Custo do operador de motoniveladora (R\$);

CO_{RC} – Custo do operador de rolo compactador (R\$);

C_C – Custo de combustível gasto na etapa de execução dos acessos (R\$/km);

C_{OL} – Custo de óleo e lubrificante gasto na execução dos acessos (R\$/km); e

Q – Quilometragem percorrida na etapa de execução dos acessos (km).

$$CO_M = PO_M \times M$$

Onde:

CO_M – Custo do operador de motoniveladora (R\$);

PO_M – Preço do serviço do operador de motoniveladora (R\$/m); e

M – Metragem de via de acesso (m).

$$CO_{RC} = PO_{RC} \times M$$

Onde:

CO_{RC} – Custo do operador de rolo compactador (R\$);

PO_{RC} – Preço do serviço do operador de rolo compactador (R\$/m); e

M – Metragem de via de acesso (m).

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

Onde:

F_C – Fator de consumo de combustível da motoniveladora e do rolo compactador (litro/km); e

P_C – Preço do combustível (R\$/litro).

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

Onde:

F_{Ci} – Fator de consumo do item motoniveladora e rolo compactador (litro/km); e

P_i – Preço do item (R\$/litro).

Custo dos Equipamentos

O custo dos equipamentos do aterro sanitário é dado pela Equação 8.

$$C_E = CC_B + CC_{AD} + C_{GA} + M \quad (8)$$

Onde:

C_E – Custo dos equipamentos (R\$);

CC_B – Custo de construção da guarita e balança (R\$);

CC_{AD} – Custo de construção do escritório de administração (R\$);

CC_{GA} – Custo de construção do galpão de manutenção e almoxarifado (R\$); e

M – Maquinário (R\$).

$$CC_B = C_B \times A$$

Onde:

CC_B – Custo de construção da guarita e da balança (R\$);

C_B – Custo de execução da obra da guarita e da balança (R\$/m²); e

A – Área requerida para a guarita e balança (m²).

$$CC_{AD} = C_{AD} \times A$$

Onde:

CC_{AD} – Custo de construção do escritório de administração (R\$);

C_{AD} – Custo de execução da obra do escritório de administração (R\$/m²);

A – Área requerida para o escritório de administração (m²).

$$CC_{GA} = C_{GA} \times A$$

Onde:

CC_{GA} – Custo de construção do galpão de manutenção e almoxarifado (R\$);

C_{GA} – Custo de execução da obra do galpão de manutenção e almoxarifado (R\$/m²);

e

A – Área requerida para o galpão de manutenção e almoxarifado (m²).

$$M = TE + RE + AT$$

Onde:

M – Maquinário (R\$);

TE – Trator esteira (R\$);

RE – Retroescavadeira (R\$); e

AT – Automóvel (R\$).

Custo das Valas de Aterramento dos Resíduos

O custo das valas de aterramento dos resíduos é dado pela Equação 9.

$$C_V = D_{EV} + D_{CV} + C_{MP} \quad (9)$$

Onde:

C_V – Custo das valas de aterramento dos resíduos (R\$);

D_{EV} – Despesas para a escavação das valas (R\$);

D_{CV} – Despesas para a compactação das valas (R\$); e

C_{MP} – Custo da manta PEAD (R\$).

$$D_{EV} = CO_{RE} + (C_C + C_{OL})Q$$

Onde:

CO_{RE} – Custo do operador da retroescavadeira (R\$);

C_C – Custo de combustível gasto na etapa de escavação das valas (R\$/km);

C_{OL} – Custo de óleo e lubrificante gasto na escavação das valas (R\$/km); e

Q – Quilometragem percorrida na etapa de escavação das valas (km).

$$CO_{RE} = PO_{RE} \times V$$

Onde:

CO_{RE} – Custo do operador da retroescavadeira (R\$);

PO_{RE} – Preço do serviço do operador da retroescavadeira (R\$/m³); e

V – Volume de escavação das valas (m³).

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

Onde:

F_C – Fator de consumo de combustível da retroescavadeira (litro/km); e

P_C – Preço do combustível (R\$/litro).

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

Onde:

F_{Ci} – Fator de consumo do item retroescavadeira (litro/km); e

P_C – Preço do item (R\$/litro).

$$D_{CV} = CO_{RC} + (C_C + C_{OL})Q$$

Onde:

CO_{RC} – Custo do operador do rolo compactador (R\$);

C_C – Custo de combustível gasto na etapa de compactação das valas (R\$/km);

C_{OL} – Custo de óleo e lubrificante gasto na compactação das valas (R\$/km); e

Q – Quilometragem percorrida na etapa de compactação das valas (km).

$$CO_{RC} = PO_{RC} \times V$$

Onde:

CO_{RC} – Custo do operador do rolo compactador (R\$);

PO_{RC} – Preço do serviço do operador do rolo compactador (R\$/m³);e

V – Volume de valas (m³).

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

Onde:

F_C – Fator de consumo de combustível do rolo compactador (litro/km); e

P_C – Preço do combustível (R\$/litro).

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

Onde:

F_{Ci} = Fator de consumo do item rolo compactador (litro/km); e

P_i = Preço do item (R\$/litro).

$$C_{MP} = P_{MP} \times A$$

Onde:

P_{MP} – Preço da manta PEAD (R\$); e

A – Área de valas (m²).

Custo de Drenagem

O custo de drenagem é dado pela Equação 10.

$$C_{DR} = C_{DC} + C_{DG} + C_{DP} \tag{10}$$

Onde:

C_{DR} – Custo de drenagem (R\$);

C_{DC} – Custo dos drenos de chorume (R\$);

C_{DG} – Custo dos drenos verticais de gases (R\$); e

C_{DP} – Custo das canaletas de drenagem pluvial (R\$).

$$C_{DC} = C_{TD} + C_{AB} + C_{CP}$$

Onde:

C_{DC} – Custo dos drenos de chorume (R\$);

C_{TD} – Custo dos tubos de drenagem (R\$);

C_{AB} – Custo da ancoragem com brita (R\$); e

C_{CP} – Custo das caixas de passagem (R\$).

$$C_{TD} = P_{TD} \times M$$

Onde:

C_{TD} – Custo dos tubos de drenagem (R\$);

P_{TD} – Preço do tubo de drenagem (R\$/m); e

M – Metragem de tubos a ser utilizada (m).

$$C_{AB} = (P_{BR4} \times M) + (P_{BR2} \times M) + (P_{AM} \times M) + (P_{GE} \times M)$$

Onde:

C_{AB} – Custo da ancoragem com brita (R\$);

P_{BR4} – Preço da brita N° 4 (R\$/m);

P_{BR2} – Preço da brita N° 2 (R\$/m);

P_{AM} – Preço da areia média (R\$/m);

P_{GE} – Preço do geotêxtil (R\$/m); e

M – Metragem a ser utilizada (m).

$$C_{CP} = (P_{CP} \times QN) + (P_{DA} \times QN)$$

Onde:

C_{CP} – Custo das caixas de passagem (R\$);

P_{CP} – Preço da caixa de passagem de chorume (R\$);

P_{DA} – Preço da caixa de passagem de descarte de água (R\$); e

QN = Quantidade de caixas de passagem.

$$C_{DG} = P_{TDV} \times M$$

Onde:

C_{DG} – Custo dos drenos verticais de gases (R\$);

P_{TDV} – Preço do tubo de drenagem vertical (R\$/m); e

M – Metragem de tubos a ser utilizada (m).

$$C_{DP} = (P_{CD4} \times M) + (P_{CD5} \times M)$$

Onde:

C_{DP} – Custo das canaletas de drenagem pluvial (R\$);

P_{CD4} – Preço da canaleta de drenagem pluvial de 400mm (R\$/m);

P_{CD5} – Preço da canaleta de drenagem pluvial de 500mm (R\$/m); e

M – Metragem de canaletas a ser utilizada (m).

Custo do Sistema de Tratamento de Efluentes

O custo do sistema de tratamento de efluentes é dado pela Equação 11.

$$C_{ST} = CC_{LA} + C_{TBC} \tag{11}$$

Onde:

C_{ST} – Custo do sistema de tratamento de efluentes (R\$);

CC_{LA} – Custo da construção das lagoas aeróbia e anaeróbia (R\$); e

C_{TBC} – Custo das tubulações e caixas de passagem necessárias (R\$).

$$CC_{LA} = D_{EV} + D_{CV} + C_{MP}$$

Onde:

CC_{LA} – Custo da construção das lagoas aeróbia e anaeróbia (R\$);

D_{EV} – Despesas para a escavação da vala (R\$);

D_{CV} – Despesas para a compactação da vala (R\$); e

C_{MP} – Custo da manta PEAD (R\$).

$$D_{EV} = CO_{RE} + (C_C + C_{OL})Q$$

Onde:

CO_{RE} – Custo do operador da retroescavadeira (R\$);

C_C – Custo de combustível gasto na etapa de escavação da vala (R\$/km);

C_{OL} – Custo de óleo e lubrificante gasto na escavação da vala (R\$/km); e

Q – Quilometragem percorrida na etapa de escavação da vala (km).

$$CO_{RE} = PO_{RE} \times V$$

Onde:

CO_{RE} – Custo do operador da retroescavadeira (R\$);

PO_{RE} – Preço do serviço do operador da retroescavadeira (R\$/m³); e

V – Volume de escavação da vala (m³).

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

Onde:

F_C – Fator de consumo de combustível da retroescavadeira (litro/km); e

P_C – Preço do combustível (R\$/litro).

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

Onde:

F_{Ci} – Fator de consumo do item retroescavadeira (litro/km); e

P_i – Preço do item (R\$/litro).

$$D_{CV} = CO_{RC} + (C_C + C_{OL})Q$$

Onde:

CO_{RC} – Custo do operador de rolo compactador (R\$);

C_C – Custo de combustível gasto na etapa de compactação da vala (R\$/km);

C_{OL} – Custo de óleo lubrificante gasto na compactação da vala (R\$/km); e

Q – Quilometragem percorrida na etapa de compactação da vala (km).

$$CO_{RC} = PO_{RC} \times A$$

Onde:

CO_{RC} – Custo do operador de rolo compactador (R\$);

PO_{RC} – Preço do serviço do operador de rolo compactador (R\$/m²); e

A – Área de vala (m²).

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

Onde:

F_C – Fator de consumo de combustível do rolo compactador (litro/km); e

P_C – Preço do combustível (R\$/litro).

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

Onde:

F_{Ci} – Fator de consumo do item rolo compactador (litro/km); e

P_i – Preço do item (R\$/litro).

$$C_{MP} = P_{MP} \times A$$

Onde:

C_{MP} – Custo da manta PEAD (R\$).

P_{MP} – Preço da manta PEAD (R\$); e

A – Área de vala (m²).

$$C_{TBC} = (P_{TB} \times M) + (P_{CP} \times QN)$$

Onde:

C_{TBC} – Custo das tubulações e caixas de passagem necessárias (R\$);

P_{TB} – Preço da tubulação (R\$/m);

P_{CP} – Preço da caixa de passagem de chorume (R\$);

M – Metragem necessária de tubulações (m); e

QN – Quantidade de caixas de passagem.

5.3. Equacionamento do Custo de Transporte do Projeto de um Aterro Sanitário

O custo de transporte de um sistema de disposição final de resíduos sólidos urbanos é determinado pela Equação 12:

$$C_{TR} = [(CF \times T_O) + (CV \times Q_O)] \times F \quad (12)$$

Onde:

C_{TR} – Custo do transporte de resíduos (R\$);

CF – Custos fixos (R\$/mês);

T_O – Tempo de operação do aterro sanitário (anos);

CV – Custos variáveis (R\$/km);

Q_O – Quilometragem percorrida durante o tempo de operação (km); e

F – Frota de veículos envolvidos na coleta de resíduos sólidos.

Custos Fixos

Os custos fixos de transporte são dados pela Equação 13:

$$CF = D + R_C + D_M + S + IN \quad (13)$$

Onde:

CF – Custos fixos (R\$/ano);

D – Depreciação (R\$/ano);

R_C – Remuneração do capital (R\$/ano);

D_M – Despesas com motorista (R\$/ano);

S – Seguros (R\$/ano); e

I – Impostos (R\$/ano).

$$D = \frac{(C_o - R)}{n}$$

Onde:

D – Depreciação (R\$/ano);

C_o – Custo original do veículo (R\$);

R – Valor residual do veículo (R\$); e

n – Número de anos de uso (anos).

$$R = C_o \times 0,20$$

Onde:

R – Valor residual do veículo (R\$); e

C_o – Custo original do veículo (R\$).

$$R_c = \frac{2,4 + (n-1) \times i \times C_o}{n}$$

Onde:

R_c – Remuneração do capital (R\$/ano);

n – Vida útil do veículo (anos); e

C_o – Custo original do veículo (R\$).

$$D_M = (SM \times 1,108) \times (1 + ES) \times 12$$

Onde:

D_M – Despesas com o motorista (R\$/ano);

SM – Salário do motorista (R\$); e

ES – Encargos Sociais (R\$).

$$D_{AJ} = (SA \times 1,108) \times (1 + ES) \times N_A \times 12$$

Onde:

D_{AJ} – Despesas com o ajudante (R\$/ano);

SA – Salário do ajudante (R\$);

ES – Encargos sociais (RS); e

N_A – Número de ajudantes.

$$S = \frac{(C_o \times 0,05)}{n}$$

Onde:

S – Seguros (R\$/ano);

C_o – Custo original do veículo (R\$); e

n – Vida útil do veículo (anos).

$$I = \frac{(C_o \times 0,05)}{n}$$

Onde:

I – Impostos (R\$/ano);

C_o – Custo original do veículo (R\$); e

n – Vida útil do veículo (anos).

Custos Variáveis

Os custos variáveis de transporte são dados pela Equação 14:

$$CV = CB + OM + OT + LL + PCR + PM \quad (14)$$

Onde:

CV – Custos variáveis (R\$/km);

CB – Custo de combustível (R\$/km);

OM – Custo do óleo do motor (R\$/km);

OT – Custo do óleo de transmissão (R\$/km);

LL – Custo de lavagem e lubrificação (R\$/km);

PCR – Custo de pneus, câmaras e recapagens (R\$/km); e

PM – Custo de peças e material de oficina (R\$/km).

$$CB = \frac{C_c}{C_{méd}}$$

Onde:

CB – Custo de combustível (R\$/km);

C_c – Custo do litro de combustível (R\$/l); e

$C_{méd}$ – Consumo médio (km/l).

$$OM = \frac{(C_{oL} \times V_o)}{Q_t}$$

Onde:

OM – Custo do óleo do motor (R\$/km);

C_{oL} – Custo do litro do óleo lubrificante (R\$/l);

V_o – Volume do cárter (l); e

Q_t – Quilometragem de troca (km).

$$OT = \frac{(C_{OT} \times V_{CT})}{Q_t}$$

Onde:

OT – Custo do óleo de transmissão (R\$/km);

C_{OT} – Custo do litro de óleo de transmissão (R\$/l);

V_{CT} – Volume da caixa de transmissão (l); e

Q_t – Quilometragem de troca (km).

$$LL = \frac{(C_{LL} \times N_L)}{Q_P}$$

Onde:

LL – Custo de lavagem e lubrificação (R\$/km);

C_{LL} – Custo de execução da lavagem e lubrificação (R\$);

N_L – Número mensal de lavagens; e

Q_{LL} – Quilometragem de lavagem e lubrificação (km).

$$PCR = \frac{(C_P + C_C + C_R)}{Q_P}$$

Onde:

PCR – Custo de pneus, câmaras e recapagens (R\$/km);

C_P – Custo de um pneu (R\$);

C_C – Custo de uma câmara (R\$);

C_R – Custo de recapagem (R\$); e

Q_P – Quilometragem que um pneu novo roda a mais que uma recapagem (km).

$$PM = \frac{C_{MAN}}{Q_{MAN}}$$

Onde:

PM – Custo de peças e material de oficina (R\$/km);

C_{MAN} – Valor mensal gasto com manutenção (R\$); e

Q_{MAN} – Quilometragem rodada a cada manutenção (km).

5.4. Equacionamento do Custo de Disposição Final do Projeto de um Aterro Sanitário

Custo de Operação

O custo de operação de um aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é determinado pela Equação 15:

$$C_O = C_R + C_D + C_{EC} + C_{RE} + C_{RA} \quad (15)$$

Onde:

C_O – Custo de operação (R\$);

C_R – Custo de recebimento (R\$);

C_D – Custo de descarga (R\$);

C_{EC} – Custo de espalhamento e compactação (R\$);

C_{RE} – Custo de recobrimento (R\$); e

C_{RA} – Custo de raspagem (R\$).

$$C_R = DF + DE_G$$

Onde:

C_R – Custo de recebimento (R\$);

DF – Despesas com fiscal (R\$); e

DE_G - Despesas com encarregado geral.

$$DF = RF + ES$$

Onde:

RF – Remuneração do fiscal (R\$); e

ES – Encargos Sociais (R\$).

$$RF = 13,3SF$$

Onde:

SF – Salário do fiscal (R\$)

$$DE_G = RE_G + ES$$

Onde:

RE_G - Remuneração do encarregado geral; e

ES – Encargos Sociais (R\$).

$$RE_G = 13,3SE_G$$

Onde:

SE_G - Salário do encarregado geral (R\$).

$$C_D = DA_O$$

Onde:

C_D – Custo de descarga (R\$); e

DA_O - Despesas com ajudante de operação (R\$).

$$DA_O = RA_O + ES$$

Onde:

RA_O = Remuneração do ajudante de operação (R\$); e

ES – Encargos Sociais (R\$).

$$RA_O = 13,3SA_O$$

Onde:

SA_O – Salário do ajudante de operação (R\$).

$$C_{EC} = DO_{TE} + (C_C + C_{OL})Q$$

Onde:

C_{EC} – Custo de espalhamento e compactação (R\$);

DO_{TE} - Despesas com operador de trator de esteira (R\$);

C_C – Custo de combustível gasto na etapa de espalhamento e compactação (R\$/km);

C_{OL} – Custo de óleo e lubrificante gasto no espalhamento e compactação (R\$/km); e

Q – Quilometragem percorrida na etapa de espalhamento e compactação (km).

$$DO_{TE} = RO_{TE} + ES$$

Onde:

DO_{TE} - Despesas com operador de trator de esteira (R\$);

RO_{TE} - Remuneração do operador do trator de esteira (R\$); e

ES – Encargos Sociais (R\$).

$$RO_{TE} = 13,3SO_{TE}$$

Onde:

RO_{TE} - Remuneração do operador do trator de esteira (R\$); e

SO_{TE} - Salário do operador do trator de esteira (R\$).

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

Onde:

F_C – Fator de consumo de combustível trator de esteira (litro/km); e

P_C – Preço do combustível (R\$/litro).

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

Onde:

F_{Ci} - Fator de consumo de óleo e lubrificante do trator de esteira (litro/km); e

P_i - Preço do óleo lubrificante (R\$/litro).

$$C_{RE} = DM_{CB} + (C_C + C_{OL})Q + C_T$$

Onde:

C_{RE} – Custo de recobrimento (R\$);

DM_{CB} - Despesas com motorista do caminhão basculante (R\$);

C_C – Custo de combustível gasto na etapa de recobrimento (R\$/km);

C_{OL} – Custo de óleo e lubrificante gasto na etapa de recobrimento (R\$/km);

Q – Quilometragem percorrida na etapa de recobrimento (km); e

C_T – Custo do solo de recobrimento (R\$).

$$DM_{CB} = RM_{CB} + ES$$

Onde:

DM_{CB} - Despesas com motorista do caminhão basculante (R\$);

RM_{CB} - Remuneração do motorista do caminhão basculante (R\$); e

ES – Encargos Sociais (R\$).

$$RM_{CB} = 13,3SM_{CB}$$

Onde:

RM_{CB} - Remuneração do motorista do caminhão basculante (R\$); e

SM_{CB} - Salário do motorista do caminhão basculante (R\$).

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

Onde:

F_C – Fator de consumo de combustível do caminhão basculante (litro/km); e

P_C – Preço do combustível (R\$/litro).

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

Onde:

F_{Ci} - Fator de consumo do item do caminhão basculante (litro/km); e

P_i - Preço do item (R\$/litro).

$$C_T = P_T \cdot V$$

Onde:

P_T - Preço do solo de recobrimento (R\$/m³); e

V - Volume do solo de recobrimento (m³).

$$C_{RA} = 2DA_{SG}$$

Onde:

C_{RA} - Custo de raspagem (R\$); e

DA_{SG} - Despesas com ajudante de serviços gerais (R\$).

$$DA_{SG} = RA_{SG} + ES$$

Onde:

DA_{SG} - Despesas com ajudante de serviços gerais (R\$);

RA_{SG} - Remuneração do ajudante de serviços gerais (R\$); e

ES - Encargos Sociais (R\$).

$$RA_{SG} = 13,3SA_{SG}$$

Onde:

RA_{SG} - Remuneração do ajudante de serviços gerais (R\$); e

SA_{SG} - Salário do ajudante de serviços gerais (R\$)

Custo de Manutenção

O custo de manutenção de um aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é determinado pela Equação 16:

$$C_M = C_{TC} + C_{AM} + C_{SD} \quad (16)$$

Onde:

C_M – Custo de manutenção (R\$);

C_{TC} – Custo de tratamento de chorume (R\$);

C_{AM} – Custo de monitoramento ambiental (R\$); e

C_{SD} – Custo de serviços diversos.

$$C_{TC} = D_{TC}$$

Onde:

C_{TC} – Custo de tratamento de chorume (R\$); e

D_{TC} – Despesas com técnico de campo (R\$).

$$D_{TC} = R_{TC} + ES$$

Onde:

D_{TC} – Despesas com técnico de campo (R\$);

R_{TC} – Remuneração do técnico de campo (R\$); e

ES – Encargos Sociais (R\$).

$$R_{TC} = 13,3S_{TC}$$

Onde:

R_{TC} – Remuneração do técnico de campo (R\$); e

S_{TC} – Salário do técnico de campo (R\$).

$$C_{AM} = D_{EA}$$

Onde:

C_{AM} – Custo de monitoramento ambiental (R\$); e

D_{EA} – Despesas com envio das amostras de águas superficiais, subterrâneas e chorume para análise (R\$).

$$D_{EA} = (C_C + C_{OL})Q + C_{AS} + C_{ASB} + C_{CH}$$

Onde:

D_{EA} – Despesas com envio das amostras de águas superficiais, subterrâneas e chorume para análise (R\$);

C_C – Custo de combustível gasto no transporte das amostras (R\$/km);

C_{OL} – Custo de óleo e lubrificante gasto no transporte das amostras (R\$/km);

Q – Quilometragem percorrida no transporte das amostras (km);

C_{AS} – Custo da análise das amostras de água superficial (R\$/ano);

C_{ASB} – Custo da análise das amostras de água subterrânea (R\$/ano); e

C_{CH} – Custo da análise das amostras de chorume (R\$/ano)

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

Onde:

F_C – Fator de consumo de combustível do automóvel (litro/km); e

P_C – Preço do combustível (R\$/litro).

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

Onde:

F_{Ci} - Fator de consumo do item automóvel (litro/km); e

P_i - Preço do item (R\$/litro).

$$C_{SD} = D_{SD}$$

Onde:

C_{SD} – Custo de serviços diversos (R\$); e

D_{SD} – Despesas com o servente de serviços diversos (R\$).

$$D_{SD} = R_{SD} + ES$$

Onde:

R_{SD} = Remuneração do servente de serviços diversos (R\$); e

ES – Encargos Sociais (R\$).

$$R_{SD} = 13,3S_{SD}$$

Onde:

S_{SD} – Salário do servente de serviços diversos (R\$).

6. ESTUDO DE CASO

6.1. Considerações Gerais

O estudo de caso foi realizado para a cidade de Ilha Solteira, localizada na Região Noroeste do Estado de São Paulo a, aproximadamente, 672 km de distância da capital. A cidade possui uma população de aproximadamente 25.700 habitantes, portanto, é considerada como uma cidade de pequeno porte.

As principais atividades econômicas desenvolvidas na cidade são agricultura e pecuária. Além disto, a cidade constitui-se em um pólo de atração de estudantes de nível superior, com o campus da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) e com duas faculdades particulares – FAISA e Faculdade Reunidas. A Figura 07 ilustra a localização geográfica da cidade de Ilha Solteira – SP.

A produção diária dos RSUs é de aproximadamente 12 toneladas, excetuando-se os resíduos coletados para reciclagem. O órgão responsável pela coleta dos RSUs é a própria Prefeitura Municipal. A coleta dos resíduos não é realizada de maneira unificada, ou seja, cada tipo de resíduo é coletado por veículos específicos.

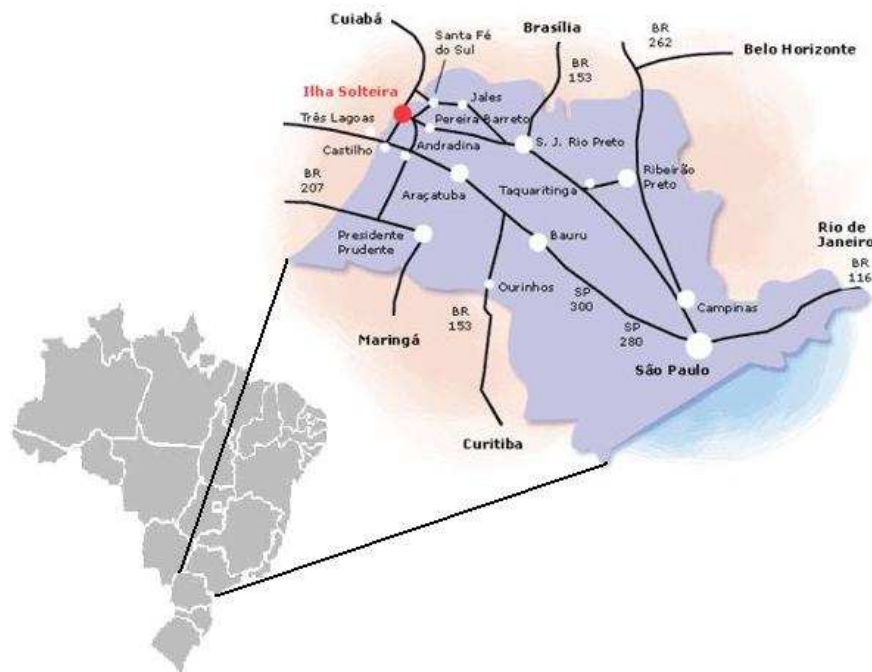


Figura 07 – Localização geográfica da cidade de Ilha Solteira – SP

6.2. Estudo de Caso do Custo de Investimento do Projeto de um Aterro Sanitário

De posse de todos os dados necessários para alimentar o equacionamento, foi estimado o custo de investimento do projeto de um aterro sanitário para a cidade de Ilha Solteira.

Os dados referentes ao sistema real foram obtidos por meio de um projeto de um aterro sanitário da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira.

Custo do Terreno

O custo do terreno na região de Ilha Solteira é de R\$ 1,26/m², portanto, para a área requerida para a instalação do aterro que é de 96.500 m², tem-se que:

$$C_T = 1,26 \times 96.500$$

$$C_T = \text{R\$ } 121.590,00$$

Custo dos Isolamentos e Acessos

O preço do serviço do operador de trator esteira (PO_{TE}) é de R\$ 0,07/m² e a área a ser realizada a limpeza é de 96.500 m², portanto, para o custo do operador de trator esteira (CO_{TE}) tem-se que:

$$CO_{TE} = PO_{TE} \times A$$

$$CO_{TE} = 0,07 \times 96.500$$

$$CO_{TE} = \text{R\$ } 6.755,00$$

O Fator de Consumo (F_C) de combustível do trator esteira é 1,82 l/km e o Preço do Combustível (P_C) é 1,848 R\$/l, assim, tem-se:

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

$$C_C = 1,82 \times 1,848$$

$$C_C = 3,363 \text{ R\$/km}$$

O Fator de Consumo do Item (F_{Ci}) trator esteira é 0,000242 l/km e o Preço do Item (P_i) é 6,0 R\$/l, assim, tem-se:

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

$$C_{OL} = 0,000242 \times 6,0$$

$$C_{OL} = 0,001452 \text{ R\$/km}$$

A quilometragem (Q) percorrida na etapa de limpeza do terreno é de aproximadamente 1.900 km, portanto, as despesas com limpeza do terreno (D_{LT}) resultam em:

$$D_{LT} = CO_{TE} + (C_C + C_{OL})Q$$

$$D_{LT} = 6.755,00 + (3,363 + 0,001452) \times 1.900$$

$$D_{LT} = \text{R\$ } 13.147,46$$

O preço do serviço do ajudante de serviços gerais (PA_{SG}) é de R\$ 0,14/m e a metragem de cercamento é de 2.130 m, portanto, para o custo do ajudante de serviços gerais (CA_{SG}) tem-se que:

$$CA_{SG} = PA_{SG} \times M$$

$$CA_{SG} = 0,14 \times 2.130$$

$$CA_{SG} = R\$ 298,20$$

O preço da cerca de tela de aço (P_{CE}) é de R\$ 6,20/m e a metragem de cercamento é de 2.130 m, portanto, para o custo do cercamento com tela de aço (C_{CE}) tem-se que:

$$C_{CE} = P_{CE} \times M$$

$$C_{CE} = 6,20 \times 2.130$$

$$C_{CE} = R\$ 13.206,00$$

O preço da muda vegetal (P_{MV}) é de R\$ 1,55 e para o cercamento vegetal serão necessárias 3.043 mudas, portanto, para o custo do cercamento vegetal (C_{CV}) tem-se que:

$$C_{CV} = P_{MV} \times Q_M$$

$$C_{CV} = 1,55 \times 3.043$$

$$C_{CV} = R\$ 4.716,65$$

Assim, as despesas com cercamento (D_C) resultam em:

$$D_C = 4CA_{SG} + C_{CE} + C_{CV}$$

$$D_C = 4 \times 298,20 + 13.206,00 + 4.716,65$$

$$D_C = R\$ 19.115,45$$

O preço do serviço do operador de motoniveladora (PO_M) é de R\$ 0,14/m e tem-se 2.200 m de vias de acesso, portanto, o custo do operador de motoniveladora (CO_M) resulta em:

$$CO_M = PO_M \times M$$

$$CO_M = 0,14 \times 2.200$$

$$CO_M = R\$ 308,00$$

O preço do serviço do operador de rolo compactador (PO_{RC}) é de R\$ 0,07/m e tem-se 2.200 m de vias de acesso, portanto, o custo do operador de rolo compactador (CO_{RC}) resulta em:

$$CO_{RC} = PO_{RC} \times M$$

$$CO_{RC} = 0,07 \times 2.200$$

$$CO_{RC} = R\$ 154,00$$

O Fator de Consumo (F_C) de combustível da motoniveladora e do rolo compactador é 1,92 l/km e o Preço do Combustível (P_C) é 1,848 R\$/l, assim, tem-se:

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

$$C_C = 1,92 \times 1,848$$

$$C_C = 3,548 \text{ R\$/km}$$

O Fator de Consumo do Item (F_{Ci}) motoniveladora e rolo compactador é 0,000252 l/km e o Preço do Item (P_i) é 6,0 R\$/l, assim, tem-se:

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

$$C_{OL} = 0,000252 \times 6,0$$

$$C_{OL} = 0,001512 \text{ R\$/km}$$

Assim, para 1.250 km percorridos na etapa de execução dos acessos, as despesas com execução dos acessos (D_{AC}) resultam em:

$$D_{AC} = CO_M + CO_{RC} + 2(C_C + C_{OL})Q$$

$$D_{AC} = 308,00 + 154,00 + 2 \times (3,548 + 0,001512) \times 1.250$$

$$D_{AC} = R\$ 9.335,78$$

Portanto, o custo dos isolamentos e acessos do aterro sanitário, pela Equação 7, resultam em:

$$C_{IA} = D_{LT} + D_C + D_{AC}$$

$$C_{IA} = 13.147,46 + 19.115,45 + 9335,78$$

$$C_{IA} = R\$ 41.598,69$$

Custo dos Equipamentos

O custo de execução da obra da guarita e da balança (C_B) é de R\$ 622,72/m² e a área requerida é de 44 m², portanto, substituindo na relação $CC_B = C_B \times A$, tem-se que:

$$CC_B = C_B \times A$$

$$CC_B = 622,72 \times 44$$

$$CC_B = R\$ 27.399,68$$

O custo de execução da obra do escritório de administração é de R\$ 200,00/m² e área requerida é de 35 m², portanto, substituindo na relação $CC_{AD} = C_{AD} \times A$, tem-se que:

$$CC_{AD} = C_{AD} \times A$$

$$CC_{AD} = 200,00 \times 35$$

$$CC_{AD} = R\$ 7.000,00$$

O custo de execução da obra do galpão de manutenção e almoxarifado é de R\$ 120,00/m² e a área requerida é de 130 m², portanto, substituindo na relação $CC_{GA} = C_{GA} \times A$, tem-se que:

$$CC_{GA} = C_{GA} \times A$$

$$CC_{GA} = 120,00 \times 130$$

$$CC_{GA} = R\$ 15.600,00$$

O custo do trator esteira Caterpillar D3G é de R\$ 220.000,00, o custo da retroescavadeira Caterpillar 416C é de R\$ 180.000,00 e o custo de um automóvel popular é de R\$ 26.000, portanto, o total em maquinário adquirido resulta em:

$$M = TE + RE + AT$$

$$M = 220.000,00 + 180.000,00 + 26.000$$

$$M = R\$ 426.000,00$$

Portanto, o custo dos equipamentos, pela Equação 8, resulta em:

$$C_E = CC_B + CC_{AD} + C_{GA} + M$$

$$C_E = 27.399,68 + 7.000,00 + 15.600,00 + 426.000,00$$

$$C_E = R\$ 475.999,68$$

Custo das Valas de Aterramento dos Resíduos

O preço do serviço do operador da retroescavadeira (PO_{RE}) é de R\$ 0,14/m³ e o volume total de escavação das valas é de 97.298 m³, portanto, para o custo do operador da retroescavadeira (CO_{RE}), tem-se que:

$$CO_{RE} = PO_{RE} \times V$$

$$CO_{RE} = 0,14 \times 97.298$$

$$CO_{RE} = R\$ 13.621,72$$

O Fator de Consumo (F_C) de combustível da retroescavadeira é 1,52 l/km e o Preço do Combustível (P_C) é 1,848 R\$/l, assim, tem-se:

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

$$C_C = 1,52 \times 1,848$$

$$C_C = 2,809 \text{ R\$/km}$$

O Fator de Consumo do Item (F_{Ci}) retroescavadeira é 0,000232 l/km e o Preço do Item (P_i) é 6,0 R\$/l, assim, tem-se:

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

$$C_{OL} = 0,000232 \times 6,0$$

$$C_{OL} = 0,001392 \text{ R\$/km}$$

Assim, para aproximadamente 60.000 km percorridos na etapa de escavação das valas, as despesas com a escavação das valas (D_{EV}) resultam em:

$$D_{EV} = CO_{RE} + (C_C + C_{OL})Q$$

$$D_{EV} = 13.621,72 + (2,809 + 0,001392) \times 60.000$$

$$D_{EV} = R\$ 182.245,24$$

O preço do serviço do operador do rolo compactador (PO_{RC}) é R\$ 0,10/m³ e o volume total de compactação das valas é de 97.298 m³, portanto, para o custo do operador do rolo compactador (CO_{RC}), tem-se que:

$$CO_{RC} = PO_{RC} \times V$$

$$CO_{RC} = 0,10 \times 97.298$$

$$CO_{RC} = R\$ 9.729,80$$

O Fator de Consumo (F_C) de combustível do rolo compactador é 1,92 l/km e o Preço do Combustível (P_C) é 1,848 R\$/l, assim, tem-se:

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

$$C_C = 1,92 \times 1,848$$

$$C_C = 3,548 \text{ R\$/km}$$

O Fator de Consumo do Item (F_{Ci}) e rolo compactador é 0,000252 l/km e o Preço do Item (P_i) é 6,0 R\$/l, assim, tem-se:

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

$$C_{OL} = 0,000252 \times 6,0$$

$$C_{OL} = 0,001512 \text{ R\$/km}$$

Assim, para aproximadamente 12.000 km percorridos na etapa de compactação das valas, as despesas com a compactação das valas (D_{CV}) resultam em:

$$D_{CV} = CO_{RC} + (C_C + C_{OL})Q$$

$$D_{CV} = 9.729,80 + (3,548 + 0,001512) \times 12.000$$

$$D_{CV} = R\$ 52.323,94$$

O preço da manta PEAD de 2mm é de R\$ 8,00/m² e a área total das valas é de 48.765 m², portanto, o custo da manta PEAD (C_{MP}) resulta em:

$$C_{MP} = P_{MP} \times A$$

$$C_{MP} = 8,00 \times 48.765$$

$$C_{MP} = R\$ 390.120,00$$

Assim, o custo das valas de aterramento, pela Equação 9, resulta em:

$$C_V = D_{EV} + D_{CV} + C_{MP}$$

$$C_V = 182.245,24 + 52.323,94 + 390.120,00$$

$$C_V = R\$ 624.689,18$$

Custo de Drenagem

O preço do tubo de drenagem (P_{TD}) é de R\$ 3,00/m e a metragem a ser utilizada é de aproximadamente 2.573m, portanto, substituindo na relação $C_{TD} = P_{TD} \times M$ tem-se que:

$$C_{TD} = P_{TD} \times M$$

$$C_{TD} = 3,00 \times 2.573$$

$$C_{TD} = R\$ 7.719,00$$

O preço da brita N° 4 (P_{BR4}) é de R\$ 2,50/m e a metragem a ser utilizada é de 2.689m, o preço da brita N° 2 (P_{BR2}) é de R\$ 4,60/m e a metragem a ser utilizada é de 2.558m, o preço da areia média (P_{AM}) é de R\$ 4,50/m e a metragem a ser utilizada é de 2.573m e o preço do geotêxtil (P_{GE}) é de R\$ 4,20/m e a metragem a ser utilizada é de 2.573m, portanto, para o custo de ancoragem com brita (C_{AB}) tem-se que:

$$C_{AB} = (P_{BR4} \times M) + (P_{BR2} \times M) + (P_{AM} \times M) + (P_{GE} \times M)$$

$$C_{AB} = (2,50 \times 2.689) + (4,60 \times 2.558) + (4,50 \times 2.573) + (4,20 \times 2.573)$$

$$C_{AB} = R\$ 40.874,40$$

O preço da caixa de passagem de chorume (P_{CP}) é de R\$ 250,00 e são necessárias nove caixas e o preço da caixa de passagem de descarte de água é de R\$ 50,00 e são necessárias também nove caixas, portanto, o custo das caixas de passagem (C_{CP}) resulta em:

$$C_{CP} = (P_{CP} \times QN) + (P_{DA} \times QN)$$

$$C_{CP} = (250,00 \times 9) + (50,00 \times 9)$$

$$C_{CP} = R\$ 2.700,00$$

Portanto, substituindo na relação $C_{DC} = C_{TD} + C_{AB} + C_{CP}$, o custo dos drenos de chorume (C_{DC}) resulta em:

$$C_{DC} = C_{TD} + C_{AB} + C_{CP}$$

$$C_{DC} = 7.719,00 + 40.874,40 + 2.700,00$$

$$C_{DC} = R\$ 51.293,40$$

O preço do tubo de drenagem vertical (P_{TDV}) é de R\$ 50,00/m e a metragem a ser utilizada é de 65m, portanto, substituindo na relação $C_{DG} = P_{TDV} \times M$ resulta em:

$$C_{DG} = P_{TDV} \times M$$

$$C_{DG} = 50,00 \times 65$$

$$C_{DG} = R\$ 3.250,00$$

O preço da canaleta de drenagem pluvial de 400mm é de R\$ 9,60/m e a metragem a ser utilizada é de 335m e o preço da canaleta de drenagem pluvial de 500mm é de R\$ 14,00/m e a metragem a ser utilizada é de 5m, portanto, o custo das canaletas de drenagem pluvial (C_{DP}) resulta em:

$$C_{DP} = (P_{CD4} \times M) + (P_{CD5} \times M)$$

$$C_{DP} = (9,60 \times 335) + (14,00 \times 5)$$

$$C_{DP} = R\$ 3.286,00$$

Assim, o custo de drenagem (C_{DR}), pela Equação 10, resulta em:

$$C_{DR} = C_{DC} + C_{DG} + C_{DP}$$

$$C_{DR} = 51.293,40 + 3.250,00 + 3.286,00$$

$$C_{DR} = R\$ 57.829,40$$

Custo do Sistema de Tratamento de Efluentes

O preço do serviço do operador da retroescavadeira é (PO_{RE}) é de R\$ 0,14/m³ e o volume total de escavação das valas é de 35.120 m³, portanto, para o custo do operador da retroescavadeira (CO_{RE}), tem-se que:

$$CO_{RE} = PO_{RE} \times V$$

$$CO_{RE} = 0,14 \times 35.120$$

$$CO_{RE} = \text{R\$ } 4.916,80$$

O Fator de Consumo (F_C) de combustível da retroescavadeira é 1,52 l/km e o Preço do Combustível (P_C) é 1,848 R\$/l, assim, tem-se:

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

$$C_C = 1,52 \times 1,848$$

$$C_C = 2,809 \text{ R\$/km}$$

O Fator de Consumo do Item (F_{Ci}) retroescavadeira é 0,000232 l/km e o Preço do Item (P_i) é 6,0 R\$/l, assim, tem-se:

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

$$C_{OL} = 0,000232 \times 6,0$$

$$C_{OL} = 0,001392 \text{ R\$/km}$$

Assim, para aproximadamente 4.000 km percorridos na etapa de escavação das valas, as despesas com a escavação das valas (D_{EV}) resultam em:

$$D_{EV} = CO_{RE} + (C_C + C_{OL})Q$$

$$D_{EV} = 4.916,80 + (2,809 + 0,001392) \times 4.000$$

$$D_{EV} = \text{R\$ } 16.158,37$$

O preço do serviço do operador do rolo compactador (PO_{RC}) é R\$ 0,10/m³ e o volume total de compactação das valas é de 35.120 m³, portanto, para o custo do operador do rolo compactador (CO_{RC}), tem-se que:

$$CO_{RC} = PO_{RC} \times V$$

$$CO_{RC} = 0,10 \times 35.120$$

$$CO_{RC} = \text{R\$ } 3.512,00$$

O Fator de Consumo (F_C) de combustível do rolo compactador é 1,92 l/km e o Preço do Combustível (P_C) é 1,848 R\$/l, assim, tem-se:

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

$$C_C = 1,92 \times 1,848$$

$$C_C = 3,548 \text{ R\$/km}$$

O Fator de Consumo do Item (F_{Ci}) e rolo compactador é 0,000252 l/km e o Preço do Item (P_i) é 6,0 R\$/l, assim, tem-se:

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

$$C_{OL} = 0,000252 \times 6,0$$

$$C_{OL} = 0,001512 \text{ R\$/km}$$

Assim, para aproximadamente 3.000 km percorridos na etapa de compactação das valas, as despesas com a compactação das valas (D_{CV}) resultam em:

$$D_{CV} = CO_{RC} + (C_C + C_{OL})Q$$

$$D_{CV} = 3.512,00 + (3,548 + 0,001512) \times 3.000$$

$$D_{CV} = R\$ 14.160,54$$

O preço da manta PEAD de 4mm é de R\$ 13,00/m² e a área total das valas é de 1.756 m², portanto, o custo da manta PEAD (C_{MP}) resulta em:

$$C_{MP} = P_{MP} \times A$$

$$C_{MP} = 13,00 \times 1.756$$

$$C_{MP} = R\$ 22.828,00$$

Assim, o custo da construção das lagoas aeróbia e anaeróbia resulta em:

$$CC_{LA} = D_{EV} + D_{CV} + C_{MP}$$

$$CC_{LA} = 16.158,37 + 14.160,54 + 22.828,00$$

$$CC_{LA} = R\$ 53.146,91$$

O preço da tubulação (P_{TB}) de 100mm é de R\$ 4,95/m e a metragem necessária de tubulação é de 147m, e o preço da caixa de passagem de chorume (P_{CP}) é de R\$ 250,00 e são necessárias seis caixas, portanto, o custo das tubulações e caixas de passagem necessárias (C_{TBC}) resulta em:

$$C_{TBC} = (P_{TB} \times M) + (P_{CP} \times QN)$$

$$C_{TBC} = (4,95 \times 147) + (250 \times 6)$$

$$C_{TBC} = R\$ 2.227,65$$

Assim, o custo do sistema de tratamento de efluentes (C_{ST}), pela Equação 11, resulta em:

$$C_{ST} = CC_{LA} + C_{TBC}$$

$$C_{ST} = 53.146,91 + 2.227,65$$

$$C_{ST} = R\$ 55.374,56$$

Portanto, o custo total de investimento do projeto do aterro sanitário, pela Equação 6, resulta em:

$$I = C_T + C_{IA} + C_E + C_V + C_{DR} + C_{ST}$$

$$I = 121.590,00 + 41.598,69 + 475.999,68 + 624.689,18 + 57.829,40 + 55.374,56$$

$$I = R\$ 1.377.081,51$$

6.3. Estudo de Caso do Custo de Transporte do Projeto de um Aterro Sanitário

De posse de todos os dados necessários para alimentar o equacionamento, foi estimado o custo de transporte para os veículos envolvidos no sistema de coleta dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Ilha Solteira – SP.

Os dados referentes ao estudo de caso foram utilizados a partir do sistema de coleta dos resíduos sólidos realizado atualmente pela Prefeitura Municipal de Ilha Solteira.

Custos Fixos

O Valor do Veículo Novo (C_0) é de R\$ 175.000,00; portanto, para o Valor Residual (R) tem-se que:

$$R = C_0 \times 0,20$$

$$R = 175.000,00 \times 0,20$$

$$R = \text{R\$ } 35.000,00$$

A vida útil do veículo é de 10 anos, assim, para a Depreciação (D) tem-se que:

$$D = \frac{(C_0 - R)}{n}$$

$$D = \frac{(175.000 - 35.000)}{10}$$

$$D = \text{R\$ } 14.000,00/\text{ano}$$

A taxa anual de juros (i) é de 6% ao ano; portanto, para a Remuneração do Capital (R_c) tem-se que:

$$R_C = \frac{2,4 + (n-1) \times i \times C_o}{n}$$

$$R_C = \frac{2,4 + (10-1) \times 0,06 \times 175.000}{10}$$

$$R_C = 11.970,00/\text{ano}$$

O Salário do Motorista (SM) é de R\$ 811,00 e a taxa de Encargos Sociais (ES) é 71,36%; portanto, para as despesas com motorista (D_M), tem-se que:

$$D_M = (SM \times 1,108) \times (1 + ES)$$

$$D_M = (811,00 \times 1,108) \times (1 + 0,7136) \times 12$$

$$D_M = R\$ 18.477,84/\text{ano}$$

O Salário do Ajudante (AS) é de R\$ 520,00, a taxa de Encargos Sociais (ES) é 71,36% e são necessários dois ajudantes; portanto, para as Despesas com Ajudantes (D_{AJ}), tem-se que:

$$D_{AJ} = (SA \times 1,108) \times (1 + ES) \times N_A \times 12$$

$$D_{AJ} = (520,00 \times 1,108) \times (1 + 0,7136) \times 2 \times 12$$

$$D_{AJ} = R\$ 23.695,44/\text{ano}$$

Para o Seguro (S), tem-se que:

$$S = \frac{(C_o \times 0,05)}{n}$$

$$S = \frac{(175.000 \times 0,05)}{10}$$

$$S = R\$ 875,00/\text{ano}$$

Da mesma forma, para os Impostos (I), tem-se que:

$$I = \frac{(C_o \times 0,05)}{n}$$

$$I = \frac{(175.000 \times 0,05)}{10}$$

$$I = R\$ 875,00/\text{ano}$$

Assim, os Custos Fixos (CF), pela Equação 13, resultam em:

$$CF = D + R_C + D_M + D_{AJ} + S + I$$

$$CF = 14.000,00 + 11.970,00 + 18.477,84 + 23.695,44 + 875,00 + 875,00$$

$$CF = R\$ 69.893,28/\text{ano}$$

Custos Variáveis

O Custo do Litro do Combustível (C_C) é de R\$ 1,86/l e o Consumo Médio ($C_{méd}$) do caminhão utilizado no sistema de coleta é de 2,0km/l; portanto, para o Custo de Combustível (CB), tem-se que:

$$CB = \frac{C_c}{C_{méd}}$$

$$CB = \frac{1,86}{2,0}$$

$$CB = R\$ 0,93/\text{km}$$

O Custo do Litro do Óleo Lubrificante (C_{OL}) é de R\$ 5,94/l, o Volume do Cárter (V_O) é de 33 litros e a Quilometragem de troca (Q_t) é de 20.000km; portanto, para o Custo do Óleo do Motor (OM), tem-se que:

$$OM = \frac{(C_{OL} \times V_O)}{Q_t}$$

$$OM = \frac{(5,94 \times 33)}{20.000}$$

$$OM = \text{R\$ } 0,0098/\text{km}$$

O Custo do Litro do Óleo de Transmissão (C_{OT}) é de R\$ 7,92/l, o Volume da Caixa de Transmissão (V_{CT}) é de 17 litros e a Quilometragem de Troca (Q_t) é de 20.000km; portanto, para o Custo do Óleo de Transmissão (OT), tem-se que:

$$OT = \frac{(C_{OT} \times V_{CT})}{Q_t}$$

$$OT = \frac{(7,92 \times 17)}{20.000}$$

$$OT = \text{R\$ } 0,0067/\text{km}$$

O Custo de Execução de Lavagem e Lubrificação (C_{LL}) é de R\$ 60,00, são necessárias duas lavagens mensais e a Quilometragem de Lavagem e Lubrificação (QLL) é de 10.000km; portanto, para o Custo de Lavagem e Lubrificação (LL), tem-se que:

$$LL = \frac{(C_{LL} \times N_L)}{Q_p}$$

$$LL = \frac{(60 \times 2)}{10.000}$$

$$LL = R\$ 0,012/\text{km}$$

O Custo de um Pneu (C_P) é de R\$ 400,00, o Custo de uma Câmara (C_C) é de R\$ 60,00, o Custo de Recapagem (C_R) é de R\$ 297,00 e a Quilometragem que um pneu roda mais que uma recapagem (Q_P) é de 55.000km; portanto, para o Custo de Pneus, Câmaras e Recapagens, tem-se que:

$$PCR = \frac{(C_P + C_C + C_R)}{Q_P}$$

$$PCR = \frac{(400 + 60 + 297)}{55.000}$$

$$PCR = R\$ 0,014/\text{km}$$

O Valor Mensal gasto com Manutenção é de R\$ 350,00 e a Quilometragem Rodada a cada Manutenção é de 10.000km; portanto, para o Custo de Peças e Material de Oficina (PM), tem-se que:

$$PM = \frac{C_{MAN}}{Q_{MAN}}$$

$$PM = \frac{350}{10.000}$$

$$PM = R\$ 0,035/\text{km}$$

Assim, os Custos Variáveis (CV), pela Equação 14, resultam em:

$$CV = CB + OM + OT + LL + PCR + PM$$

$$CV = 0,93 + 0,0098 + 0,0067 + 0,144 + 0,035$$

$$CV = R\$ 1,0075/\text{km}$$

Portanto, para um Tempo de Operação (T_O) do aterro sanitário de 22 anos, para uma Quilometragem percorrida durante o tempo de operação (Q_O) de 949.344km e para três veículos envolvidos no sistema de coleta, o Custo de Transporte (C_{TR}) de um sistema de disposição final de resíduos sólidos urbanos, pela Equação 12, resulta em:

$$C_{TR} = (CF \times T_O) + (CV \times Q_O) \times F$$

$$C_{TR} = [(69.893,28 \times 22) + (1,0075 \times 949.344)] \times 3$$

$$C_{TR} = R\$ 7.482.348,72$$

6.4. Estudo de Caso do Custo de Disposição Final do Projeto de um Aterro Sanitário

De posse de todos os dados necessários para alimentar o equacionamento, foi estimado o custo de disposição final dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Ilha Solteira – SP.

Os dados referentes ao sistema real foram obtidos por meio do projeto de um aterro sanitário fornecido pela Prefeitura Municipal de Ilha Solteira.

Custo de Operação

O Salário do Fiscal (SF) é R\$ 708,40, portanto, substituindo na relação $RF = 13,3SF$, tem-se que:

$$RF = 13,3 \times 708,40$$

$$RF = R\$ 9.421,72/\text{ano}$$

A taxa de Encargos Sociais (ES) é 71,36%; portanto, para a Remuneração do Fiscal (RF), tem-se:

$$ES = 0,7136 \times RF$$

$$ES = 0,7136 \times 9.421,72$$

$$ES = R\$ 6.723,34/\text{ano}$$

Assim, as Despesas com o Fiscal (DF) são:

$$DF = RF + ES$$

$$DF = 9.421,72 + 6.723,34$$

$$DF = R\$ 16.145,06/\text{ano}$$

O Salário do Encarregado Geral (SE_G) é R\$ 1.538,40, portanto, substituindo na relação $RE_G = 13,3SE_G$, tem-se que:

$$RE_G = 13,3 \times 1.538,40$$

$$RE_G = R\$ 20.460,72/\text{ano}$$

A taxa de Encargos Sociais (ES) é 71,36%; portanto, para a Remuneração do Encarregado Geral (RE_G), tem-se:

$$ES = 0,7136 \times RE_G$$

$$ES = 0,7136 \times 20.460,72$$

$$ES = R\$ 14.600,77/\text{ano}$$

Assim, as Despesas com o Encarregado Geral (DE_G) são:

$$DE_G = RE_G + ES$$

$$DE_G = 20.460,72 + 14.600,77$$

$$DE_G = R\$ 35.061,49/\text{ano}$$

Portanto, pela Equação 2, tem-se que o Custo de Recebimento (C_R) resulta em:

$$C_R = DF + DE_G$$

$$C_R = 16.145,06 + 35.061,49$$

$$C_R = R\$ 51.206,55/\text{ano}$$

Custo de Descarga

O Salário do Ajudante de Operação (SA_O) é R\$ 681,60, portanto, substituindo na relação $RA_O = 13,3SA_O$, tem-se que:

$$RA_O = 13,3 \times 681,60$$

$$RA_O = R\$ 9.065,28/\text{ano}$$

A taxa de Encargos Sociais (ES) é 71,36%; portanto, para a Remuneração do Ajudante de Operação (RA_O), tem-se:

$$ES = 0,7136 \times RA_O$$

$$ES = 0,7136 \times 9.065,28$$

$$ES = R\$ 6.468,98/\text{ano}$$

Assim, as Despesas com o Ajudante de Operação (DA_O) são:

$$DA_O = RA_O + ES$$

$$DA_O = 9.065,28 + 6.468,98$$

$$DA_O = R\$ 15.534,26/\text{ano}$$

Assim, o Custo de Descarga dos resíduos resulta em:

$$C_D = DA_O$$

$$C_D = R\$ 15.534,26/\text{ano}$$

O Salário do Operador de Trator Esteira é R\$ 921,60, portanto, substituindo na relação $RO_{TE} = 13,3SO_{TE}$, tem-se que:

$$RO_{TE} = 13,3 \times 921,60$$

$$RO_{TE} = R\$ 12.257,28/\text{ano}$$

A taxa de Encargos Sociais (ES) é 71,36%; portanto, para a Remuneração do Operador de Trator Esteira (RO_{TE}), tem-se:

$$ES = 0,7136 \times RO_{TE}$$

$$ES = 0,7136 \times 12.257,28$$

$$ES = R\$ 8.746,80/\text{ano}$$

Assim, as Despesas com o Operador de Trator Esteira (DO_{TE}) são:

$$DO_{TE} = RO_{TE} + ES$$

$$DO_{TE} = 12.257,28 + 8.746,80$$

$$DO_{TE} = R\$ 21.004,08/\text{ano}$$

O Fator de Consumo (F_C) de combustível do trator esteira é 1,82 l/km e o Preço do Combustível (P_C) é 1,848 R\$/l, assim, tem-se:

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

$$C_C = 1,82 \times 1,848$$

$$C_C = 3,363 \text{ R\$/km}$$

O Fator de Consumo de óleo e lubrificante do (F_{Ci}) trator esteira é 0,000242 l/km e o Preço do óleo e lubrificante (P_i) é 6,0 R\$/l, assim, tem-se:

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

$$C_{OL} = 0,000242 \times 6,0$$

$$C_{OL} = 0,001452 \text{ R\$/km}$$

A Quilometragem (Q) anual percorrida na etapa de espalhamento e compactação é de 2.428,8 km, portanto, o Custo de Espalhamento e Compactação (C_{EC}) resulta em:

$$C_{EC} = DO_{TE} + (C_C + C_{OL})Q$$

$$C_{EC} = 21.004,08 + (3,363 + 0,001452) \times 2.428,8$$

$$C_{EC} = R\$ 29.176,38/\text{ano}$$

O Salário do Motorista do Caminhão Basculante (SM_{CB}) é R\$ 1.075,20, portanto, substituindo na relação $RM_{CB} = 13,3SM_{CB}$, tem-se que:

$$RM_{CB} = 13,3 \times 1.075,20$$

$$RM_{CB} = R\$ 14.300,16/\text{ano}$$

A taxa de Encargos Sociais (ES) é 71,36%; portanto, para a Remuneração do Motorista do Caminhão Basculante (RM_{CB}), tem-se:

$$ES = 0,7136 \times RM_{CB}$$

$$ES = 0,7136 \times 14.300,16$$

$$ES = R\$ 10.204,59/\text{ano}$$

Assim, as Despesas com o Motorista do Caminhão Basculante (DM_{CB}) são:

$$DM_{CB} = RM_{CB} + ES$$

$$DM_{CB} = 14.300,16 + 10.204,59$$

$$DM_{CB} = R\$ 24.504,75/\text{ano}$$

O Fator de Consumo (F_C) de combustível do caminhão basculante é 0,40 l/km e o Preço do Combustível (P_C) é 1,848 R\$/l, assim, tem-se:

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

$$C_C = 0,40 \times 1,848$$

$$C_C = 0,739 \text{ R\$/km}$$

O Fator de Consumo de óleo e lubrificante do (F_{Ci}) caminhão basculante é 0,00008 l/km e o Preço do óleo e lubrificante (P_i) é 6,0 R\$/l; assim, tem-se:

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

$$C_{OL} = 0,00008 \times 6,0$$

$$C_{OL} = 0,00048 \text{ R\$/km}$$

O preço do solo de recobrimento é 21,54 R\$/m³ e o volume de terra utilizado anualmente é aproximadamente 165,72 m³, portanto, para o Custo do solo de recobrimento (C_T), tem-se:

$$C_T = P_T \cdot V$$

$$C_T = 21,54 \times 165,72$$

$$C_T = \text{R\$ } 3569,61/\text{ano}$$

A Quilometragem (Q) anual percorrida na etapa de recobrimento é 1.135,2 km, portanto, o Custo de Recobrimento (C_{RE}) resulta em:

$$C_{RE} = DM_{CB} + (C_C + C_{OL})Q + C_T$$

$$C_{RE} = 20.504,75 + (0,739 + 0,00048) \times 1135,2 + 3569,61$$

$$C_{RE} = \text{R\$ } 24.913,82/\text{ano}$$

O Salário do Ajudante de Serviços Gerais (SA_{SG}) é R\$ 681,60, portanto, substituindo na relação RA_{SG} = 13,3SA_{SG}, tem-se que:

$$RA_{SG} = 13,3 \times 681,60$$

$$RA_{SG} = \text{R\$ } 9.065,28/\text{ano}$$

A taxa de Encargos Sociais (ES) é 71,36%; portanto, para a Remuneração do Ajudante de Serviços Gerais (RA_{SG}), tem-se:

$$ES = 0,7136 \times RA_{SG}$$

$$ES = 0,7136 \times 9065,28$$

$$ES = R\$ 6.468,98/\text{ano}$$

Assim, as Despesas com o Ajudante de Serviços Gerais (DA_{SG}) são:

$$DA_{SG} = RA_{SG} + ES$$

$$DA_{SG} = 9.065,28 + 6.468,98$$

$$DA_{SG} = R\$ 15.534,26/\text{ano}$$

Portanto, para o Custo de Raspagem, tem-se que:

$$C_{RA} = 2DA_{SG}$$

$$C_{RA} = 2 \times 15.534,26$$

$$C_{RA} = R\$ 31.068,52/\text{ano}$$

Assim, o Custo de Operação (C_O) anual do serviço de disposição final de resíduos sólidos urbanos, utilizando um aterro sanitário, pela Equação 15, resulta em:

$$C_O = C_R + C_D + C_{EC} + C_{RE} + C_{RA}$$

$$C_O = 51.206,55 + 15.534,26 + 29.176,38 + 24.913,82 + 31.068,52$$

$$C_O = R\$ 151.899,53/\text{ano}$$

Para um Tempo de Operação do aterro sanitário de 22 anos, o Custo de Operação (C_O) resulta em:

$$C_O = R\$ 3.341.789,66$$

Custo de Manutenção

O Salário do Técnico de campo (S_{TC}) é R\$ 910,60, portanto, substituindo na relação $R_{TC} = 13,3S_{TC}$, tem-se que:

$$R_{TC} = 13,3 \times 910,60$$

$$R_{TC} = \text{R\$ } 12.110,98/\text{ano}$$

A taxa de Encargos Sociais (ES) é 71,36%; portanto, para a Remuneração do técnico de campo (R_{TC}), tem-se:

$$ES = 0,7136 \times R_{TC}$$

$$ES = 0,7136 \times 12.110,98$$

$$ES = \text{R\$ } 8.642,40/\text{ano}$$

Assim, as Despesas com o Técnico de campo (D_{TC}) são:

$$D_{TC} = R_{TC} + ES$$

$$D_{TC} = 12.110,98 + 8.642,40$$

$$D_{TC} = \text{R\$ } 20.753,38/\text{ano}$$

Assim, tem-se que:

$$C_{TC} = D_{TC}$$

$$C_{TC} = \text{R\$ } 20.753,38/\text{ano}$$

O Fator de Consumo (F_C) de combustível do automóvel é 0,077l/km e o Preço do Combustível (P_C) é 2,49R\$/l, assim, tem-se:

$$C_C = F_C \cdot P_C$$

$$C_C = 0,077 \times 2,49$$

$$C_C = 0,192\text{R\$/km}$$

O Fator de Consumo do Item automóvel (F_{Ci}) é 0,003 l/km e o Preço do Item (P_i) é 13,0 R\$/l, assim, tem-se:

$$C_{OL} = F_{Ci} \cdot P_i$$

$$C_{OL} = 0,003 \times 13,0$$

$$C_{OL} = 0,039 \text{ R\$/km}$$

A Quilometragem (Q) anual percorrida no transporte das amostras é de 2.440km; são necessárias 216 amostras por ano de água superficial (R\$ 28/amostra) e subterrânea (R\$ 28/amostra);e são necessárias 288 amostras por ano de chorume (R\$ 60/amostra), portanto, tem-se que:

$$D_{EA} = (C_C + C_{OL})Q + C_{AS} + C_{ASB} + C_{CH}$$

$$D_{EA} = (0,192 + 0,039)2.440 + 3.024,00 + 3.024,00 + 17.280,00,$$

$$D_{EA} = \text{R\$ } 23.891,64/\text{ano}$$

Assim, tem-se que:

$$C_{AM} = D_{EA}$$

$$C_{AM} = \text{R\$ } 23.891,64/\text{ano}$$

O Salário do Servente de serviços diversos (S_{SD}) é R\$ 520,00, portanto, substituindo na relação $R_{SD} = 13,3S_{SD}$, tem-se que:

$$R_{SD} = 13,3 \times 520,00$$

$$R_{SD} = \text{R\$ } 6.916,00/\text{ano}$$

A taxa de Encargos Sociais (ES) é 71,36%; portanto, para a Remuneração do servente de serviços diversos (R_{SD}), tem-se:

$$ES = 0,7136 \times R_{SD}$$

$$ES = 0,7136 \times 6.916,00$$

$$ES = \text{R\$ } 4.935,26/\text{ano}$$

Assim, as Despesas com o servente de serviços diversos (D_{SD}) são:

$$D_{SD} = R_{SD} + ES$$

$$D_{SD} = 6.916,00 + 4.935,26$$

$$D_{SD} = \text{R\$ } 11.851,26/\text{ano}$$

Assim, tem-se que:

$$C_{SD} = D_{SD}$$

$$C_{SD} = \text{R\$ } 11.851,26/\text{ano}$$

Assim, o Custo de Manutenção (C_M) anual do serviço de disposição final de resíduos sólidos urbanos, utilizando um aterro sanitário, pela Equação 16, resulta em:

$$C_M = C_{TC} + C_{AM} + C_{SD}$$

$$C_M = 20.753,38 + 23.891,64 + 11.851,26$$

$$C_M = \text{R\$ } 56.496,28/\text{ano}$$

Para um Tempo de Operação do aterro sanitário de 22 anos, o Custo de Manutenção (C_M) resulta em:

$$C_M = \text{R\$ } 677.955,36$$

Portanto, o Custo de Disposição Final (C_{DF}), para 22 anos de operação do aterro sanitário, pela Equação 5, resulta em:

$$C_{DF} = C_O + C_M$$

$$C_{DF} = 3.341.789,66 + 677.955,36$$

$$C_{DF} = \text{R\$ } 4.019.745,02$$

6.5. Relação Benefício – Custo do Projeto de um Aterro Sanitário

Para Custo Total anual (C_{TOT}) de um projeto de disposição final dos resíduos sólidos urbanos utilizando um aterro sanitário, para os 22 anos de operação, pela Equação 4, tem-se que:

$$C_{TOT} = I + C_{TR} + C_{DF}$$

$$C_{TOT} = 1.377.081,51 + 7.482.348,72 + 4.019.745,02$$

$$C_{TOT} = \text{R\$ } 12.879.175,25$$

Assim, anualmente teremos:

$$C_{TOT} = \text{R\$ } 585.417,06/\text{ano}$$

A população da cidade de Ilha Solteira é de aproximadamente 25.700 habitantes. Portanto, para a tarifa dos serviços de coleta, transporte e disposição final dos resíduos sólidos urbanos, pela Equação 3, tem-se que:

$$T = \frac{C_{TOT}}{Pop}$$

$$T = \frac{585417,06}{25700}$$

$$T = \text{R\$ } 22,78/\text{hab/ano}$$

Na operação do aterro sanitário serão depositadas aproximadamente 4.380 toneladas de resíduos sólidos anualmente. Portanto, o benefício proveniente de um projeto de disposição final de resíduos sólidos urbanos, pela Equação 2 resulta em:

$$B = D.T$$

$$B = 4.380 \times 22,78$$

$$B = 99.776,40 \text{ ton} \times \text{R\$}/\text{hab/ano}$$

O Gráfico 1 apresenta um fluxo de caixa indicando o investimento, benefícios e custos para os 22 anos de operação do aterro sanitário.

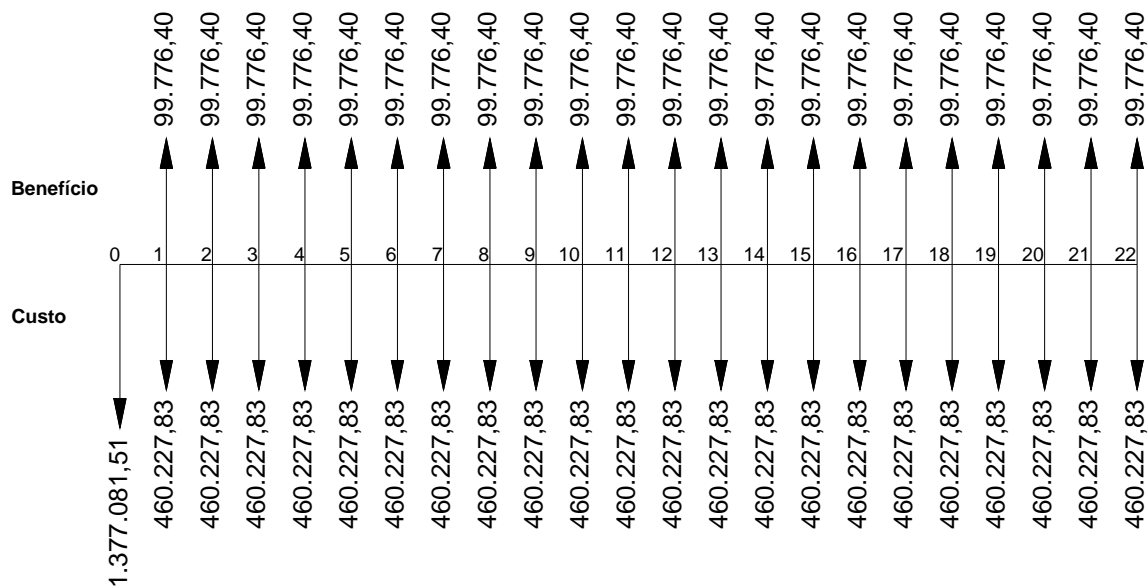


Gráfico 1 – Fluxo de caixa para os custos e benefícios

O benefício, igual para todos os anos, resulta em vinte e dois vetores positivos, formando uma série uniforme.

O custo ($C_{TR} + C_{DF} - I$), igual para todos os anos, resulta em vinte e dois vetores negativos formando também uma série uniforme.

Assim, para as variáveis da Equação 1, para cada ano, para uma taxa de juros de 11,50% a.a., tem-se que:

$$RBC = \frac{\sum_{t=0}^N \frac{B}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^N \frac{C}{(1+i)^t}} = \frac{P_B}{P_C}$$

$$RBC = \frac{P_B}{P_C} = \frac{U(u/p; i\%; n)}{P + U(u/p; i\%; n)}$$

Pela tabela de valores de fatores, usando $(u/p; 11,50\%; 22)$, tem-se:

$$(u/p; 11,50\%; 22) = 7,9027$$

Portanto:

$$RBC = \frac{99.776,40 \times 7,9027}{1.377.081,51 + (460.227,83 \times 7,9027)}$$

$$RBC = 0,16$$

7. CONCLUSÕES

O projeto do aterro sanitário da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira, datado de 1998, propõe 22 anos de funcionamento, para uma produção diária de 12 toneladas de resíduos sólidos em média.

Este projeto propôs 96.360 toneladas dispostas nos 22 anos de operação. O custo de investimento calculado foi de R\$ 1.037.197,00, o custo de transporte foi de R\$ 7.482.348,72 e o custo de disposição final foi de R\$ 4.019.745,02, resultando num custo total de R\$ 12.879.175,25.

Portanto, tem-se um custo por tonelada disposta de R\$ 133,66/ton.

O projeto do aterro sanitário da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira não considerou os custos de transporte e disposição final, também componentes do equacionamento desenvolvido neste trabalho.

O equacionamento realizado para o investimento do projeto do aterro sanitário desenvolvido neste trabalho considerou, além dos insumos propostos no projeto do aterro sanitário da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira, outras variáveis, entre elas:

- Custo do serviço dos operadores dos maquinários;
- Consumo de combustível, óleo e lubrificantes dos maquinários; e
- Aquisição de maquinários necessários à operação do aterro sanitário.

O valor da Relação Benefício-Custo obtido foi de 0,16, menor que 1. Assim, o benefício é menor do que o custo do projeto, portanto o tipo de disposição final, utilizando um aterro sanitário, é inviável economicamente para a cidade de Ilha Solteira.

Para que o projeto do aterro sanitário seja viável economicamente, tem-se que:

$$RBC = \frac{P_B}{P_C} \geq 1,01$$

$$P_B \geq 1,01 \times P_C$$

$$U \times (u / p; i\%; n) \geq 1,01 \times P$$

$$U \times 7,9027 \geq 1,01 \times 1.377.081,51$$

$$U \geq 175.997,11$$

Para que a série uniforme seja 175.997,11, para o valor do benefício positivo (B) tem-se que:

$$B - C = 175.997,11$$

$$B = 175.997,11 + 460.227,83$$

$$B = 636.224,94 \text{ ton} \times \text{R\$/hab/ano}$$

Como $B = D \times T$, tem-se:

$$636.224,94 = D \times T$$

$$636.224,94 = 4.380 \times T$$

$$T = \text{R\$ } 145,26/\text{hab/ano}$$

Portanto, para que o aterro sanitário gere benefícios maiores que os custos, a tarifa a ser cobrada mensalmente de cada habitante deveria ser de R\$ 12,11 para que os resíduos sólidos da cidade tenham uma destinação final adequada.

8. REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. O. et al. Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. In: ____ **Resíduos sólidos:** características e gerenciamento. Barueri: Manole, 2005. Cap 8, p. 267-321.

ANDREOLI, C. V. Resíduos sólidos do saneamento. In: ____ **Processamento, reciclagem e disposição final.** Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2001. Cap.6, p. 143-162.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8849:** apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1985. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004:** resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8419:** apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 7 p.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. **Resíduos sólidos urbanos:** aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

COINTREAU-LEVINE, S. **Private sector participation in municipal solid waste services in developing countries:** the formal Sector. Washington : UNDP/UNCHS, 1995. v.1, 52 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Aterro sanitário:** apostilas ambientais. São Paulo: CETESB, 1997. 40 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares**: relatório de 2005. São Paulo: CETESB, 2006. 95 p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução Nº5**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1993. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res93/res0593.html>>. Acessado em: 03 jun. 2007.

JUIZ DE FORA. Departamento de Limpeza Urbana de Juiz de Fora - DEMLURB. **Aterro sanitário de Juiz de Fora**. (s.l., s.n, 2000?). Disponível em: <<http://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/demlurb>>. Acesso em: 15 abr. 2007.

FERREIRA, A. **A questão dos resíduos sólidos urbanos**: um projeto institucional da UNESP. São Paulo: FUNDUNESP, 1994. 74 p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações técnicas para a operação de aterros sanitários**. Belo Horizonte: FEAM, 2005. 32 p.

HELENO; FONSECA CONSTRUTÉCNICA S.A.. **Aterro sanitário Bandeirantes**. (s.l., s.n, 2000?). Disponível em: <www.hfc.com.br/bandeirantes.htm>. Acessado em: 15 abr. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL – IBAM. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS ; COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2. ed.. São Paulo: IPT, 2000. 370 p.

JUCÁ, J. F. T. Destinação final dos resíduos sólidos no Brasil: situação atual e perspectivas. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10, Braga, 2002. **Anais...** Braga: SILUBESA, 2002. 18p.

OLIVEIRA, J. A. N. **Engenharia econômica**: uma abordagem às decisões de investimento. (s.l.): McGraw do Brasil ,1982. 223p.

OLIVEIRA, A. S. Gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) na microrregião serra de Botucatu/SP. **Revista Limpeza Pública da ABLP**, São Paulo, n.47,1998, 7p.

ORSATI, A. S. **Análise de impactos ambientais e econômicos na escolha de locais para disposição final de resíduos sólidos**. 2006. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

PARÁ DE MINAS. Prefeitura Municipal de Pará de Minas - Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Recuperação do aterro controlado de Pará de Minas**. (s.l.: s.n., 2000?) Disponível em: <<http://www.parademinas.mg.gov.br/agropecuária.html>>. Acessado em: 15 abr. 2007.

REIS, F. A. G. **Curso de geologia ambiental via internet**: disposição de resíduos. (s.l.: s.n., 2000?). Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/residuos.htm>>. Acessado em: 15 abr. 2007.

ESTADOS UNIDOS-Environmental Protection Agency - EPA. **Municipal solid waste in the United States**: facts and figures. New York: Office Of Solid Waste And Emergency Response, 2003. 170 p. Disponível em: <<http://www.epa.gov/garbage/pubs/msw2001.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2006.