

BRUNO BRITO DOS SANTOS
LUIS FERNANDO SANTOS LIMONTA
MARIANA GOMES CAIXETA DE ABREU

**ANÁLISES DE ALTERNATIVAS PARA O TRATAMENTO DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS VISANDO O
AUMENTO DA VIDA ÚTIL DO ATERRO SANITÁRIO**

Projeto de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo, no âmbito do Curso de
Engenharia Ambiental

São Paulo

2014

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Santos, Bruno

ANÁLISES DE ALTERNATIVAS PARA O TRATAMENTO DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS VISANDO O
AUMENTO DA VIDA ÚTIL DO ATERRO SANITÁRIO / B. Santos, L. Limonta, M.
Abreu -- São Paulo, 2014.

128 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental.

1.Compostagem 2.Aterro sanitário 3.Resíduos sólidos I.Universidade de
São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Hidráulica e
Ambiental II.t. III.Limonta, Luis IV.Abreu, Mariana

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Professor Doutor Ronan Cleber Contrera pela disposição com que nos recebeu ao longo do ano em nossas várias reuniões, sempre muito solícito. Seu incentivo foi fundamental para desenvolvermos este trabalho.

À Professora Doutora Dione Morita pelas sugestões de pesquisa bibliográfica, de metodologia de trabalho e organização.

À URBAM que nos confiou a responsabilidade de analisar as alternativas para tratar a matéria orgânica que é disposta no aterro sanitário de São José dos Campos. Agradecemos especialmente ao Marcelo Teixeira, quem primeiramente vislumbrou essa parceria, Boanésio Ribeiro por ter apoiado e acreditado no projeto e aos Engenheiros André e Célio, por ter nos fornecido as informações que construíram este estudo.

Aos nossos queridos amigos André Marques, Davi Segre, Taisi Campos e Tatiana Sayuri que acompanharam o desenvolvimento deste trabalho e nos ajudaram em momentos cruciais. Somos eternamente gratos pela dedicação e pelo engajamento de vocês.

RESUMO EXECUTIVO

Este trabalho tem como objetivo apresentar as alternativas para o tratamento da parcela orgânica dos resíduos gerados pelo município de São José dos Campos. A fração da matéria orgânica presente nos Resíduos Sólidos Urbanos do Município não passa por processo de reaproveitamento, sendo encaminhada diretamente para a disposição final no aterro sanitário operado pela Urbanizadora Municipal. A Política Nacional dos Resíduos Sólidos, como é conhecida a Lei Federal 12.305 regulamentada pelo decreto 7.404, estabelece como disposição final ambientalmente adequada em aterros sanitários aquela que garanta anteriormente a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos.

Em julho de 2011, a vida útil do aterro sanitário de São José do Campos foi estimada em apenas 12 anos e 1 mês pela empresa Fral Consultoria LTDA. Aumentar a vida útil do aterro sanitário significa reduzir seu passivo ambiental e para que isso ocorra é imprescindível fortalecer a coleta seletiva realizada por cooperativa e por coleta informal, incentivar a logística reversa, reavaliar a legislação municipal vigente que traz barreiras à produção de energia através de resíduos e estimular a educação e a consciência ambiental da população. Além disso se faz necessário novo estudo de localização, EIA/RIMA e audiência pública.

A descrição qualitativa do resíduo feita pelo estudo gravimétrico afirma que aproximadamente 60% de todo o resíduo que chega à Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos (ETRS) é matéria orgânica. Assim, sistemas de tratamento biológico desta parcela orgânica, que chega ao aterro pela coleta regular, foram analisados e dimensionados a fim de se conhecer melhor os benefícios que essas tecnologias oferecem.

A fim de se comparar as alternativas estudadas, foram construídos dois cenários plausíveis. O primeiro fundamenta-se na ideia de aproveitamento máximo da área da ETRS. Foram analisadas as possibilidades de se implantar um sistema de compostagem no topo de uma das células já encerrada do aterro sanitário, que após nivelamento, atingiria aproximadamente 25 mil m². Dentro desse cenário, foram

avaliadas a compostagem com leiras revolvíveis e com leiras estáticas, cuja oxigenação é garantida por aeração através de tubulações.

Os dimensionamentos foram feitos baseados em um plano proposto para coletar a matéria orgânica separadamente, que garantirá a obtenção de uma matéria prima com a pureza e a qualidade necessárias para o tratamento biológico. Este plano deve começar por geradores pontuais como cozinhas industriais, feiras livres e Mercado Municipal, atingindo em 3 anos 50% de toda matéria orgânica gerada no município. Além disso, é previsto o tratamento de 100% de todo o resíduo de capina e roçada de áreas verdes do município.

Concluiu-se que os sistemas de compostagem realizados na área de 25 mil m² no topo do aterro não atendem a meta do plano proposto. A técnica de leiras estáticas apresenta um alcance melhor da meta, mesmo assim a limitação da área impede que se atinja a plenitude da capacidade viável.

O segundo cenário analisado foi tratar a matéria orgânica através do processo de biometanização com tecnologia Valorga®. Para esse cenário, foi proposto uma nova área a ser adquirida e nela seria implantada um sistema de tratamento da matéria orgânica que alcança um horizonte de projeto até o ano de 2040, tratando 100% de todo o resíduo de capina e roçada das áreas verdes e também 90% de toda matéria orgânica gerada no município.

Após realizar o dimensionamento dos três sistemas de tratamento da matéria orgânica, verificou-se através de uma matriz de decisão que o segundo cenário é a melhor alternativa. Apesar de um valor alto de implantação, a alternativa gera produtos de interesse para o mercado, como o biogás; um gás rico em metano que pode ser utilizado como fonte de energia nas indústrias inseridas na região. Além disso, tratar 90% de matéria orgânica através da coleta seletiva e 100% do resíduo de capina e roçada significa deixar de aterrar resíduos no aterro sanitário da URBAM. Com a implementação da biometanização a partir de 2015, verificou-se que para o final de plano – 2040 o aterro sanitário ainda teria 29% de seu volume disponibilizado para uso.

Palavras chave: aterro, São José dos Campos, compostagem, biometanização

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Município de São José dos Campos e o entorno.....	21
Figura 2 – Regiões de São José dos Campos.....	22
Figura 3 – Esquema da evolução da construção de um aterro em uma depressão.....	27
Figura 4 – Aterro sanitário convencional com alguns dos seus principais sistemas.....	28
Figura 5 – Localização do Município de São José dos Campos.....	29
Figura 6 – Vista aérea da Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos – ETRS da URBAM: 91,6% da área corresponde ao Aterro Sanitário e 8,4% abrigam as demais instalações da ETRS.....	30
Figura 7 – Fluxograma do Aterro Sanitário.....	32
Figura 8 – Gráfico da Dispersão dos pontos da população estatística para o município de São José dos Campos – SP.....	35
Figura 9 – Estimativa do crescimento populacional do município de São José dos Campos – SP.....	38
Figura 10 – Dispersão das taxas dos resíduos aterrados.....	40
Figura 11 – Estimativa da taxa dos resíduos aterrados.....	40
Figura 12 – Localização da URBAM dentro dos limites do município.....	60
Figura 13 – Área da URBAM.....	60
Figura 14 – Localização do Topo 2.....	62
Figura 15 – Superfície topográfica existente no Topo 2.....	62
Figura 16 – Nova superfície topográfica no Topo 2.....	63
Figura 17 – Perfil da nova superfície topográfica no Topo 2.....	64
Figura 18 – Perfil aproximado da nova superfície topográfica no Topo 2.....	64
Figura 19 – Localização da área de 160 mil m ² que poderia abrigar uma nova ETRS.....	67
Figura 20 – Localização da área de 260 mil m ² que poderia abrigar uma nova ETRS.....	68

Figura 21 – Expansão da coleta seletiva de matéria orgânica.....	73
Figura 22 – Fluxograma de conservação de área verde sob responsabilidade da SSM.....	76
Figura 23 – Fluxograma do processo de compostagem por revolvedor de leiras.....	79
Figura 24 – Possível layout do sistema de compostagem por revolvedor de leiras.....	80
Figura 25 – Fluxograma do processo de compostagem por leiras estáticas aeradas.....	88
Figura 26 – Layout do sistema de compostagem por revolvedor de leiras.....	89
Figura 27 – Resumo do sistema de pré-tratamento.....	101
Figura 28 – Possível layout do sistema.....	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parafusos de Arquimedes revolvendo o material.....	34
Tabela 2 – Dados populacionais de São José dos Campos.....	35
Tabela 3 – Parâmetros da Curva Logística.....	36
Tabela 4 – Cálculo da população através da projeção.....	37
Tabela 5 – Histórico da quantidade de resíduos aterrados.....	39
Tabela 6 – Estimativas das quantidades de resíduos aterrados.....	41
Tabela 7 – Quantidade de material orgânico aterrado.....	42
Tabela 8 – Decaimento da vida útil do aterro sanitário.....	44
Tabela 9 – Parâmetros comumente utilizados em processos de compostagem.	47
Tabela 10 – Parâmetros normalmente utilizados em processos de digestão anaeróbia.....	51
Tabela 11 – Geração de matéria orgânica Ideal Refeições.....	70
Tabela 12 – Etapas do plano de coleta de matéria orgânica.....	71
Tabela 13 – Distribuição da população de São José dos Campos pelas zonas do município.....	72
Tabela 14 – Expansão do plano de coleta.....	72
Tabela 15 – Estimativa da geração de resíduos sólidos orgânicos.....	73
Tabela 16 – Estimativa da quantidade da matéria orgânica(50%) que será coletada e seu respectivo volume V_{mo} (m^3/dia).....	75
Tabela 17 – Quantidade de resíduos provenientes da conservação de áreas verdes.....	77
Tabela 18 – Estimativa da densidade do resíduo de capinada e roçada.....	77
Tabela 19 – Volume correspondente ao resíduo de capina e roçada.....	78
Tabela 20 – Parâmetros dos revolvedores de leira da Menart®.....	81
Tabela 21 – Cálculo das dimensões diárias das leiras de compostagem para cada equipamento.....	82

Tabela 22 – Resultados da área da base da leira necessária para cada equipamento selecionado.....	84
Tabela 23 – Área útil S_{UP} (m^2) do pátio de compostagem para 120 dias.....	85
Tabela 24 – Área útil S_{UP} (m^2) do pátio de compostagem para 90 dias.....	86
Tabela 25 – Custo médio dos equipamentos.....	87
Tabela 26 – Síntese dos parâmetros.....	90
Tabela 27 – L (m/dia) comprimento total das leiras por dia.....	91
Tabela 28 – S_{BA} (m^2 /dia) áreas das bases das leiras.....	92
Tabela 29 – S_{UP} (m^2) áreas ocupadas considerando um período de 90 dias....	93
Tabela 30 – NAE número de aeradores necessários para cada cenário.....	94
Tabela 31 – T_m tubulação requerida em metros para cada cenário.....	95
Tabela 32 – Custos de aquisição dos aeradores em reais (R\$).....	96
Tabela 33 – Custos de aquisição das tubulações em reais (R\$).....	96
Tabela 34 – Custos de aquisição de equipamentos auxiliares em reais (R\$)..	97
Tabela 35 – Normalização dos valores de áreas S_{UP} (m^2) e custos C (R\$).....	97
Tabela 36 – Pesos atribuídos aos valores.....	98
Tabela 37 – Totalizações T_{10} da matriz de decisão.....	98
Tabela 38 - Cálculo do número de digestores ao longo do período.....	104
Tabela 39 – Resumo das plantas de biometanização.....	111
Tabela 40 – Estimativa da relação entre a média de investimento pela capacidade da planta.....	111
Tabela 41 – Matriz de Decisão para a escolha da melhor alternativa.....	113
Tabela 42 – Justificativa para as notas atribuídas.....	114
Tabela 25 – Cálculo da nova quantidade de resíduo a ser aterrado e de T (t/ano).....	116

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGRA – Área de Gerenciamento do Risco Aviário
AGV – Concentração de Ácidos Graxos Voláteis
APA – Áreas de Preservação Ambiental
C – Custo
C/N – Relação entre carbono e nitrogênio
CEASA – Central Estadual de Abastecimento
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO – Carga orgânica
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
DQO – Demanda Química de Oxigênio
ETRS – Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
EPA – Environment Protection Agency
FORSU – Fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHm - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
k, *a* e *b* – Parâmetros da Curva Logística
L – Comprimento de leira
M – Massa do resíduo
N – Número de leiras
 N_{AE} – Quantidade de aeradores necessária
NBR – Norma Brasileira Registrada
P – População
PBGRA – Plano Básico de Gerenciamento do Risco Aviário
PDET – Programa de Disseminação das Estatísticas do Trabalho
PEAD – Polietileno de Alta Densidade
PERS – Políticas Estadual de Resíduos Sólidos
PIB – Produto Interno Bruto
PMGIRS – Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PMSJC – Prefeitura Municipal de São José dos Campos

PNMA – Política Nacional de Meio Ambiente

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PSA – Pressure Swing Adsorption

Q – Vazão diária

RSO – Resíduos Sólidos orgânicos

RSS – Resíduos de Serviços de Saúde

RSU – Resíduo Sólido Urbano

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SEERC – Sindicato dos Empregados nas Empresas de Refeições Coletivas de

São José dos Campos

SSM – Secretaria de Serviços Municipais

S_{ST} – Seção transversal máxima

S_{UP} – Área útil do pátio de compostagem

S_{BA} – Área da base da leira

SJC – São José dos Campos

SV – Sólidos Voláteis

ST – Teor de Sólidos Totais

t – Tempo

T – Média da quantidade de resíduo

TD – Tempo de detenção

TDS – Tempo de detenção de sólidos

T_t – Comprimento de tubulação necessário

T_{\square} – Combinação linear para a totalização

TSA – Temperatura Swing Adsorption

UBS – Unidade Básica de Saúde

URBAM – Urbanizadora Municipal

V_{at} – Volume disponível para aterramento

V_L – Volumes considerado para ser disposto em forma de leiras

V_{cr} – Volume de resíduos de poda e capina de áreas verdes

V_{aterro} – Volume de solo necessário para a terraplanagem

V – Volume do tanque

V_{mo} – Volume de matéria orgânica

VU – Vida útil do aterro sanitário

w – Largura máxima definida pelo equipamento

ZUC6 – Zona de Urbanização 6

ZUPI – Zona de Uso Predominantemente Industrial

ZI – Zona Industrial

ρ – Massa específica média dos resíduos aterrado

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	2
RESUMO EXECUTIVO.....	3
Lista de Ilustrações.....	5
Lista de Tabelas.....	7
Lista de abreviaturas e siglas.....	9
Sumário.....	12
1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 A questão dos resíduos sólidos no Brasil.....	17
2. OBJETIVOS.....	19
2.1 Justificativa.....	19
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA OBJETO DE ESTUDO.....	20
3.1 A cidade de São José dos Campos.....	20
3.1.1 Localização.....	20
3.1.2 Dinâmica demográfica e aspectos socioeconômicos.....	21
3.1.3 Saneamento ambiental.....	22
3.1.4 Setores econômicos principais.....	23
3.1.5 Geração de resíduos.....	23
3.2 Contexto legal.....	24
3.3 Urbanizadora Municipal – URBAM.....	25
3.3.1 História de atuação.....	25
3.3.2 Serviços prestados.....	25
3.5.1 Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos – ETRS.....	30
4. ANÁLISE DOS DADOS.....	34
4.1 Projeção populacional.....	34
4.2 Projeção de geração de resíduos sólidos.....	38
4.3 Cálculo da vida útil do aterro.....	42
5. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	44
6. ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO.....	45
6.1 Compostagem de resíduos sólidos orgânicos.....	45

6.1.1	Vantagens.....	45
6.1.2	Desvantagens.....	45
6.1.3	Fases da compostagem.....	46
6.1.4	Parâmetros do processo.....	46
6.1.5	Usina de compostagem.....	47
6.1.6	Legislação e licenciamento ambiental.....	48
6.2	Digestão anaeróbia.....	48
6.2.1	Vantagens.....	48
6.2.2	Desvantagens.....	48
6.2.3	Fases da Digestão Anaeróbia.....	49
6.2.4	Parâmetros do processo de digestão anaeróbia.....	50
6.2.5	Digestor anaeróbio.....	51
6.2.6	Sistema de digestão anaeróbia.....	52
6.2.7	Processos usados comercialmente.....	53
6.3	Incineração.....	56
6.3.1	Vantagens.....	57
6.3.2	Desvantagens.....	57
6.3.3	Legislação.....	58
7.	ESTUDOS DAS ÁREAS.....	59
7.1	Áreas no topo do aterro sanitário da URBAM.....	59
7.1.1	Cálculo para estimar o volume de movimentação de solo e custos com a terraplenagem no Topo 2.....	61
7.2	Novas áreas no município ou entorno.....	64
8.	CONCEPÇÃO DAS ALTERNATIVAS.....	68
8.1	Plano de coleta seletiva de resíduos orgânicos.....	68
8.2	Estimativa da quantidade da matéria orgânica coletada e do resíduo de conservação de áreas verdes.....	74
8.3	Processo de compostagem por revolvimento de leiras.....	78
8.3.1	Equipamentos necessários.....	78
8.3.2	Layout.....	79
8.3.3	Área requerida.....	80
8.3.4	Segurança.....	86
8.3.5	Análise financeira.....	87

8.4	Processo de compostagem por leiras estáticas aeradas.....	87
8.4.1	Equipamentos necessários.....	87
8.4.2	<i>Layout</i>	88
8.4.3	Área requerida.....	89
8.4.4	Aeradores e tubulação requerida.....	93
8.4.5	Custos de instalação.....	95
8.4.6	Avaliação dos cenários de compostagem por leira estática aerada	97
8.5	Processo de digestão anaeróbia: biometanização da fração orgânica	98
8.5.1	Alcance do projeto.....	98
8.5.2	Plano de coleta seletiva municipal para o novo alcance do projeto.	99
8.5.3	Linha de pré-tratamento.....	99
8.5.4	Fases da linha.....	99
8.5.5	Parâmetros do Processo.....	101
8.5.6	Unidade de Metanização.....	103
8.5.7	Metanização – VALORGA.....	103
8.5.8	<i>Layout</i>	108
8.5.9	Operação.....	109
8.5.10	Compostagem do digestor.....	110
8.5.11	Análise financeira.....	111
8.6	UTILIZAÇÃO DO GÁS METANO E COMPOSTO FINAL.....	112
9.	ESCOLHA DA SOLUÇÃO.....	113
10.	GANHOS PARA A VIDA ÚTIL DO ATERRO SANITÁRIO.....	115
11.	CONCLUSÃO.....	118
	Referências.....	120
	ANEXO A – Responsáveis por grupos e serviços e origem e destino dos RSU de São José dos Campos.....	125
	ANEXO B – Catálogo de equipamentos selecionados para a alternativa de compostagem.....	126
	ANEXO C – Planta da ETRS da URBAM com planificação do topo do aterro e detalhes.....	127

ANEXO D – Zoneamento Urbano de São José dos Campos.....128

ANEXO E – Macrozoneamento de São José dos Campos.....129

1. INTRODUÇÃO

O aterro sanitário é uma das técnicas de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, que idealmente deve receber apenas rejeitos. Este sistema não causa danos à saúde pública e a sua segurança e utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível ao reduzi-los ao menor volume exequível, cobrindo-os com uma camada de solo a cada etapa do aterramento.

No entanto, estima-se que a disposição final de resíduos sólidos urbanos em cerca 70% dos municípios brasileiros ocorra em lixões, que são depósitos a céu aberto, ou em aterros controlados, ambos inadequados tanto sanitariamente como ambiental e economicamente.

O Brasil enfrenta um grande desafio: no dia 2 de agosto de 2014 terminou o prazo estipulado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) para que os municípios brasileiros dessem disposição adequada aos seus resíduos e rejeitos. Simplificando, todas as cidades brasileiras precisariam eliminar seus lixões e aterros controlados. A Lei nº 12.305/10, que institui a PNRS, ainda prevê outras responsabilidades para as prefeituras como a adoção de políticas de gestão eficiente dos resíduos para que apenas rejeitos sejam encaminhados para os aterros. E, para que isso seja possível, é preciso repensar a forma como se consome atualmente e criar incentivos de mercado para o trio: redução, reutilização e reciclagem. Tais mudanças deverão estar acompanhadas da implantação ou ampliação da coleta seletiva nos municípios com apoio efetivo ao trabalho desenvolvido pelas cooperativas de catadores, já que há 400 mil pessoas que trabalham e sobrevivem da reciclagem, segundo a publicação Diagnóstico sobre Catadores de Resíduos Sólidos feita pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea).

Atualmente, segundo dados do documento *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (2012)* da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, cerca de 24 milhões de toneladas/ano de resíduos ainda têm disposição inadequada. Materiais que poderiam voltar à cadeia produtiva ou ser reaproveitados são enviados para lixões e aterros apenas controlados – locais não adequados para receber os resíduos. Mais grave ainda são as 6 milhões de toneladas estimadas de

resíduos sólidos que sequer são coletadas, sendo lançadas em terrenos, valas, rios, ruas e terrenos baldios, um total desrespeito às leis e ao espaço público.

Entende-se que a problemática dos resíduos sólidos urbanos no Brasil é resultado de um histórico de governança que sempre negligenciou seu gerenciamento, impedindo investimentos em infraestrutura e em produção de conhecimento técnico no país. Os prejuízos são inúmeros, mas principalmente sociais, ambientais e econômicos.

Começar a alinhar os planos e programas, federais, estaduais e municipais, com as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos é um dos caminhos para se fazer a transição para uma nova fase, onde o poder público, o setor privado e população compartilharão a responsabilidade pelos resíduos sólidos urbanos. O Brasil precisa ir além. É imprescindível que se busque uma melhoria contínua dos aterros sanitários, investindo em tecnologias que diminuam o passivo ambiental. Isto pode ser alcançado se houver investimentos substanciais em técnicas de tratamento e disposição de resíduos sólidos que sejam mais eficientes, resultando em uma menor quantidade de rejeito a ser aterrado.

A reciclagem é a forma mais difundida e utilizada de reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos, que tem um papel fundamental na desoneração dos aterros sanitários. Porém, sabe-se que no Brasil a maior parcela da composição dos resíduos sólidos urbanos é de matéria orgânica - seguida de materiais recicláveis - cujas técnicas de utilização são ainda pouco exploradas. Logo, o país está desperdiçando a oportunidade de usufruir de muitos benefícios que poderiam ser obtidos do tratamento de matéria orgânica. Alguns destes benefícios serão apresentados neste trabalho assim como detalhes da operação de alguns sistemas de tratamento.

Na última avaliação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, o aterro sanitário de São José dos Campos, operado pela URBAM, obteve a maior nota possível: dez. Este nível de qualidade de serviço é fruto de uma gestão competente que investe em boas práticas ambientais e busca novas tecnologias para o tratamento de resíduos.

No primeiro trimestre de 2014, o aterro sanitário recebeu aproximadamente 704 toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos originários de diferentes coletas: da varrição de vias públicas, das feiras livres, da limpeza de bocas de lobo, valas, estradas vicinais, margem de córregos e outros, dos resíduos domiciliares, de

estabelecimentos públicos e comerciais e também recebe os resíduos não reaproveitados pela Central de Triagem da ETRS.

1.1 A questão dos resíduos sólidos no Brasil

No Brasil, são usualmente utilizadas três alternativas de disposição final de resíduos sólidos domiciliares: lixões, aterros controlados e aterros sanitários.

Os aterros sanitários são estruturas geotécnicas planejadas com o objetivo de receber os resíduos sólidos de forma adequada, passando por todo o processo de controle técnico, operacional e monitoramento durante toda sua vida útil. Trata-se da forma mais adequada de disposição de resíduo sólido no solo.

A categoria chamada aterro controlado consiste em um sistema de contenção do resíduo sólido que, após ser lançado no solo, é coberto por uma camada de solo. Este sistema minimiza o mau cheiro e o impacto visual, além de evitar a proliferação de insetos e animais. Porém, não há impermeabilização da área para evitar a contaminação do solo e da água subterrânea pelo lixiviado, nem sistema de tratamento do lixiviado ou de biogás.

A denominação vazadouro a céu aberto, popularmente conhecido como lixão, refere-se à simples disposição do resíduo em um terreno, sem procedimento técnico algum. O resíduo sólido permanece exposto, sujeito às intempéries do clima, liberando substâncias poluentes no solo e no ar, a medida que ocorre a degradação.

Segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada em 2008 pelo IBGE, a disposição a céu aberto é a forma de destinação final para os resíduos sólidos em 50,8% dos municípios do país. Os aterros controlados recebem 22,5% e 27,7% vão para aterros sanitários, que são a única forma legal de disposição.

A Lei nº 12.305/10, conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos, define as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos sólidos no país. Nas últimas duas décadas, tempo aproximado em ela ficou em trâmite no congresso nacional, a questão dos resíduos sólidos no Brasil permaneceu desamparada e estagnada. Ela dispõe sobre planos de gerenciamento de resíduos, traz o conceito de ecoeficiência e propõe instrumentos econômicos.

A lei atribui responsabilidades compartilhadas aos atores sociais, empresas e órgãos públicos, assim o Estado permanece como o maior responsável, no entanto já não o único, desde o cidadão comum que produz o lixo doméstico até as indústrias a aqueles que realizam atividades agropastoris, também respondem por prejuízos e tem o dever contribuir com a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Segundo o diagnóstico de manejo de resíduos sólidos urbanos feito em 2010 pela Secretaria Nacional de Saneamento Básico do Ministério das Cidades, no Brasil os resíduos possuem diversas categorias de disposição final como aterro sanitário, industrial e de resíduos de construção civil.

Sobre as formas de tratamento, tem-se: combustão em forno, tratamento por micro-ondas ou autoclave, incineração, triagem de resíduos recicláveis e para os resíduos orgânicos, há o tratamento biológico, como a compostagem.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo apresentar, avaliar e analisar as alternativas para o tratamento da parcela orgânica dos resíduos gerados pelo município de São José dos Campos, pois a fração da matéria orgânica presente nos Resíduos Sólidos Urbanos não passa por processo de reaproveitamento, sendo encaminhada diretamente para a disposição final no aterro sanitário operado pela URBAM. É importante ressaltar que a Política Nacional dos Resíduos Sólidos estabelece como disposição ambientalmente adequada em aterros sanitários aquela que garanta anteriormente a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos.

2.1 Justificativa

A empresa estimou que, dada à dinâmica de crescimento populacional, a produção de resíduos e a área disponível, o aterro possuía em julho de 2011 apenas 12 anos e 1 mês de vida útil. Se a operação do aterro permanecer a mesma nos próximos anos haverá a necessidade de se construir outro porém não existem mais áreas disponíveis no município que respeitem os critérios da legislação vigente. Aumentar a vida útil do aterro sanitário significa reduzir seu passivo ambiental e para

que isso ocorra é imprescindível fortalecer a coleta seletiva realizada por cooperativa e por coleta informal, incentivar a logística reversa, reavaliar a legislação municipal vigente que traz barreiras à implantação de tratamentos térmicos de resíduos e estimular a educação e a consciência ambiental da população.

Considerando que o município possui uma coleta seletiva que traz resultados significativos de reaproveitamento, a quantidade de resíduos aterrados possui maior porcentagem de matéria orgânica em relação a outros locais nos quais a coleta seletiva não é tão eficiente. Isto foi confirmado por uma análise gravimétrica realizada pela URBAM, que será mostrada adiante.

Assim, concluiu-se que tratar os resíduos biodegradáveis seria uma maneira de diminuir o volume a ser disposto, tendo como consequência a economia de espaço e aumento da vida útil do aterro.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA OBJETO DE ESTUDO

3.1 A cidade de São José dos Campos

3.1.1 Localização

O município de São José dos Campos se localiza no leste do Estado de São Paulo, a 97 km de São Paulo. É o principal município da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e o mais importante polo aeronáutico e aeroespacial da América Latina, localizada estrategicamente entre São Paulo e Rio de Janeiro.

Figura 1 – Município de São José dos Campos e o entorno



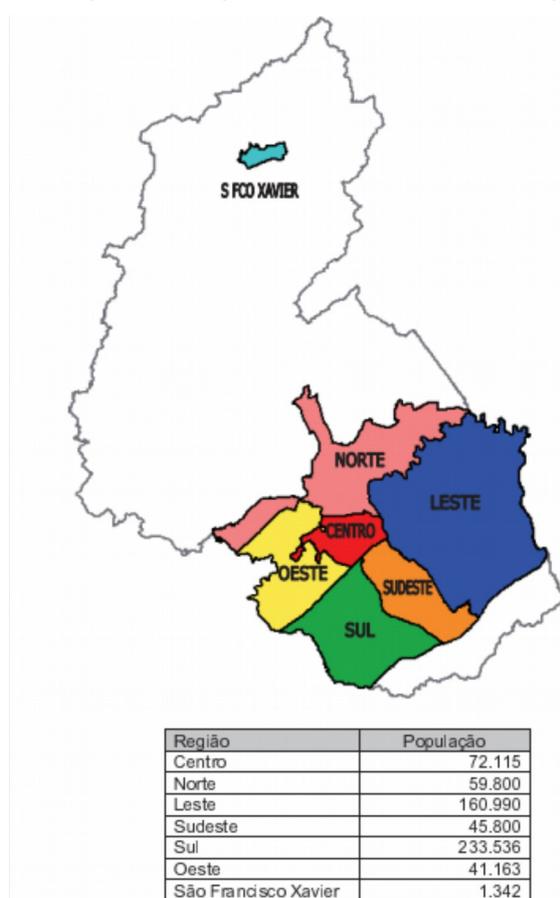
Fonte: Wikipédia (2014).

3.1.2 Dinâmica demográfica e aspectos socioeconômicos

A população do município, em 2013, era de 654.827 habitantes, segundo o cálculo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Nos últimos 10 anos, o crescimento populacional ocorreu com uma taxa aproximada de 1,5% ao ano.

O Municipal (IDH-M) de São José dos Campos é considerado elevado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Seu valor é de 0,807, sendo o 12º maior de todo o Estado de São Paulo; o 24º de toda Região Sudeste do Brasil (em 1666) e o 32º de todo Brasil, segundo o *Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013 baseado em dados do Censo de 2010*. A cidade possui a maioria dos indicadores socioeconômicos elevados ou acima da média nacional segundo o PNUD.

Figura 2 –Regiões de São José dos Campos.



Fonte: IBGE (2010).

3.1.3 Saneamento básico

Segundo o *website* da Prefeitura Municipal de São José dos Campos, baseada em dados do Censo 2010, 97 % do Município de São José dos Campos é coberta com redes de abastecimento de água, atendendo 91,2 % da população. Já na área regular urbanizada, a cobertura da rede de abastecimento de água é de 99,6 % atendendo 94% da população da zona urbana.

As redes coletoras de esgoto atingem 86% da população do município e 88,8% da população que vive na zona urbana. No período de 1995 a 2007, o percentual de esgoto tratado do município passou de 10% para 46%, em relação à área atendida por rede coletora de esgoto. Em 2011, 88% do esgoto coletado passava por tratamento.

São José dos Campos caminha para a universalização dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, visto que o Plano Municipal de

Saneamento Básico trouxe bons resultados nos últimos anos com o Programa de melhorias voltado para o tema.

3.1.4 Setores econômicos principais

A indústria, atualmente, é o setor mais relevante para a economia do município. A cidade possui grande participação no comércio exterior, sendo o segundo município que mais exporta produtos industrializados do Brasil, atrás apenas da capital paulista e à frente de São Bernardo do Campo, de acordo com dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

As principais exportadoras da cidade são: Embraer, General Motors e Ericsson. Dentre os produtos exportados incluem-se aviões, veículos automotivos, aparelhos de telefonia celular, peças de aviões, helicópteros, autopeças e produtos médicos, principalmente para a Argentina, Estados Unidos, China, e Alemanha.

O setor terciário atualmente é a segunda maior fonte geradora do PIB joseense, destacando-se principalmente na área do comércio.

3.1.5 Geração de resíduos

Dados de geração de resíduos sólidos em São José dos Campos

Os dados da quantidade de resíduos recebidos anualmente no aterro foram fornecidos pela URBAM, bem como de recicláveis e a porcentagem de reaproveitamento dos mesmos. Considerou-se então que, por receber apenas coletas da cidade, a quantidade recebida era igual à gerada. Além disso, complementaram-se os dados fornecidos pela empresa através de pesquisas nos Diagnósticos de Manejo de Resíduos Sólidos, disponível no Sistema Nacional de Informações de Saneamento. Com isso, obteve-se um panorama do volume de resíduos coletados entre o ano de 2006 e o ano de 2013.

3.2 Contexto legal

As principais normas que regulamentam as atividades de gestão e tratamento de resíduos sólidos no município são:

- Lei Orgânica Municipal de 05 de abril de 1990.

- Resolução CONAMA nº. 275, de 25 de abril de 2001.
Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva.

- Lei Estadual 12.300 de 16 de março de 2006 (Política Estadual de Resíduos Sólidos)
Regulamentada pelo Decreto Estadual nº. 54.645 de 05 de Agosto de 2009.

- Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999 (Política Nacional de Educação Ambiental)
Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências.

- Lei Municipal nº 7.815 de 19 de março de 2009
Estabelece normas específicas referentes aos serviços municipais de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos, nos termos das diretrizes fixadas pela Lei Complementar nº 357, de 1º de abril de 2008.

- Lei nº. 12.305, de 02 de agosto de 2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos).
Dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

- Lei Municipal Nº 8.390, DE 24/05/2011
Institui o Programa de Educação e Gestão Ambiental e dá outras providências.

- Lei Complementar Nº 456, DE 16/12/2011

Institui o cadastro de grandes geradores de resíduos sólidos no Município, e dá outras providências.

3.3 Urbanizadora Municipal – URBAM

3.3.1 História de atuação

A Urbanizadora Municipal - URBAM é uma sociedade de economia mista fundada em 10 de outubro de 1973 que tem a Prefeitura de São José dos Campos como sua acionista majoritária. Com o objetivo de gerenciar e executar uma variada gama de serviços de infraestrutura essenciais para a comunidade joseense, a URBAM tem se desenvolvido e se adaptado às transformações das áreas urbanas nas últimas décadas e hoje conta com mais de 3000 funcionários.

3.3.2 Serviços prestados

A URBAM oferece diferentes tipos de serviços para o município de São José dos Campos, a saber: operação da Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos, execução da Gestão da Limpeza Pública, obras de infraestrutura viária e edificações, como pavimentação, galerias de águas pluviais, construções de escolas, creches, UBS e outros projetos, e ainda oferece soluções em informática, prestando suporte à Prefeitura na informatização de suas áreas administrativas para melhor atender a população joseense.

3.4 Aterro Sanitário

O aterramento de resíduos é uma das técnicas de disposição mais antigas utilizadas pelo homem. A evolução do conhecimento ao longo da história transformou esse hábito antigo em uma obra de engenharia que tem como objetivo acomodar no solo resíduo no menor espaço prático possível, causando o menor dano possível ao meio ambiente e à saúde pública. Basicamente, é feita a compactação dos resíduos no solo, na forma de camadas que são periodicamente

cobertas com solo ou outro material inerte, conforme a NBR 8419/1992 da ABNT, que apresenta as normas técnicas para projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

Apesar de ser um método simples de disposição final de resíduos sólidos urbanos, o aterro sanitário exige cuidados especiais e técnicas específicas a serem seguidas, desde a seleção e preparo da área até sua operação e monitoramento.

De acordo com a NBR 13896/1997 da ABNT, recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos. O seu monitoramento deve prolongar-se, no mínimo, por mais 10 anos após o seu encerramento.

A crítica mais recorrente aos aterros sanitários aponta o fato de não incluírem o tratamento ou a reciclagem dos materiais presentes no resíduo sólido urbano. A solução para isto está na transformação dos processos produtivos e dos hábitos de consumo de hoje. O famoso lema “Reduza, Reuse e Recicle” é um dos principais caminhos para a transformação da geração de resíduos sólidos urbanos e, conseqüentemente, redução da quantidade de rejeito que chega ao aterro. Já existem os aterros sustentáveis, concebidos para o tratamento aeróbio dos resíduos aterrados, através da introdução de ar e umidade de forma controlada, com o objetivo de se acelerar a degradação dos resíduos, promovendo sua estabilização. Posteriormente, ocorre a mineração do aterro e extração de material reciclável, permitindo reutilização posterior da área para instalação de um novo aterro sustentável. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico são fundamentais para ocorrerem melhorias nesta área.

Outro aspecto desta problemática está nos métodos de acondicionamento e coleta adotados pela maioria das cidades, que resultam na mistura de materiais que dificilmente são separados pelos processos de triagem atualmente utilizados. Teoricamente, a maioria dos rejeitos aterrados também poderia ser reciclada.

O aterro sanitário é uma forma adequada de disposição no solo dos rejeitos de sistemas de tratamento de resíduos sólidos. Entretanto, verifica-se comumente que também são aterrados resíduos sólidos que poderiam ter sido reaproveitados ou tratados. O mau uso desta técnica dificulta seu desempenho ambiental e econômico.

Os aterros sanitários se apresentam em duas configurações:

Aterro convencional: formação de camadas de resíduos compactados, que são sobrepostas acima do nível original do terreno resultando em configurações típicas de “escada” ou de “trancos de pirâmide”;

Aterro em valas: o uso de trincheiras ou valas para acomodação dos resíduos formando células e camadas; o preenchimento total da trincheira deve devolver ao terreno a sua topografia inicial.

Figura 3 - Esquema da evolução da construção de um aterro em uma depressão.



Fonte: autossustentável.com (2014).

O aterro sanitário deve operar de modo a fornecer proteção ao meio ambiente, evitando a contaminação das águas subterrâneas pelo lixiviado (líquido de elevado potencial poluidor, de cor escura e de odor desagradável, resultado da decomposição da matéria orgânica), evitando o acúmulo do biogás resultante da decomposição anaeróbia do lixo no interior do aterro. O biogás pode sair do interior do aterro de forma descontrolada ou infiltrar pelo solo e atingir redes de esgotos, fossas e poços rasos podendo causar explosões.

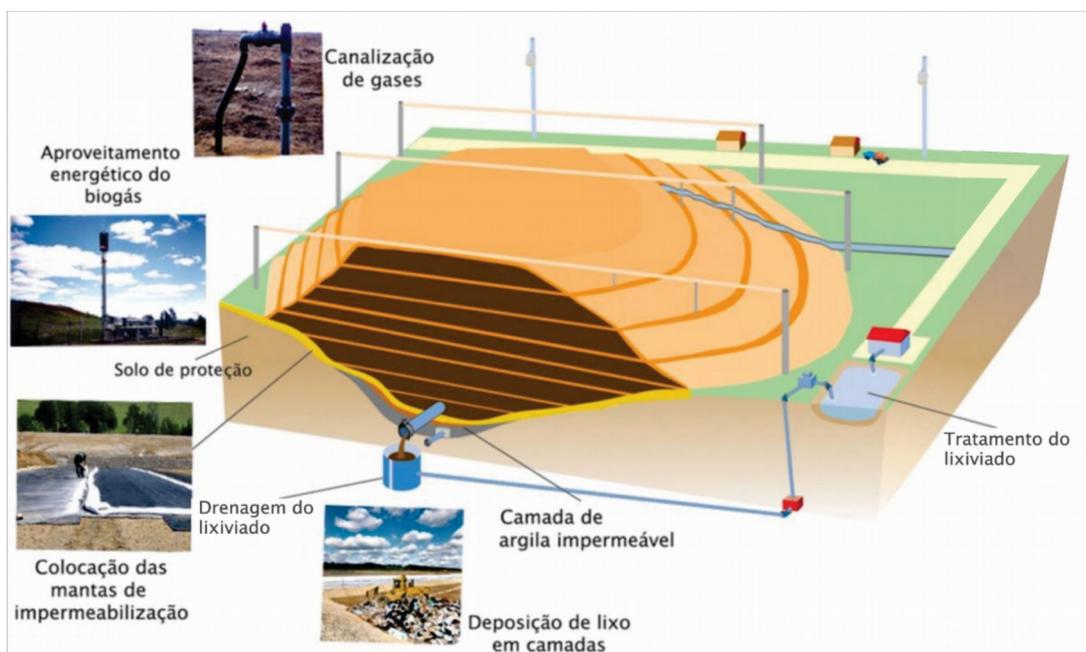
Em um aterro sanitário, estão presentes os seguintes sistemas:

- Impermeabilização da base do aterro: evita o contato do lixiviado com as águas subterrâneas. A impermeabilização pode ser feita com argila ou geomembranas sintéticas;
- Instalação de drenos de gás: canal de saída do gás do interior do aterro. Os drenos podem ser construídos de concreto ou de PEAD, podendo receber uma conexão final de aço inox quando a célula for fechada. O

biogás pode ser recolhido para o aproveitamento energético através da ligação de todos os drenos verticais com um ramal central;

- Sistema de coleta de lixiviado: a coleta deve ser feita pela base do aterro. O lixiviado coletado é enviado a lagoas previamente preparadas com impermeabilização do seu contorno ou enviados para tanques de armazenamento fechados;
- Sistema de tratamento de lixiviado: após coletado, este deve ser tratado antes de ser descartado no curso de um rio ou em uma lagoa. O tratamento pode ser feito no próprio local ou o ser transportado para um local apropriado (geralmente uma Estação de Tratamento de Esgotos).
- Sistema de drenagem de águas pluviais: o sistema de captação e drenagem de águas de chuva visa guiar a água por locais apropriados para evitar a infiltração que gera o lixiviado.

Figura 4 - Aterro sanitário convencional com alguns dos seus principais sistemas.



Fonte: <http://infotec-ius.blogspot.com.br/2012/10/novo-aterro-sanitario-para-teofilo.html> (2014).

Além da operação, o aterro deve contar com unidades de apoio, como acessos internos que permitam a interligação entre os diversos pontos do aterro, portaria para controlar a entrada e saída de pessoas e caminhões de lixo e isolamento da área para manutenção da ordem e do bom andamento das obras.

3.5 São José dos Campos e a URBAM

São José dos Campos localiza-se no interior do estado do Estado de São Paulo – região sudeste do Brasil - a noventa e sete quilômetros da capital São Paulo. No núcleo urbano estão localizados institutos federais de pesquisa científica, empresas de tecnologia de ponta, universidades e centros de formação de mão de obra qualificada. Por outro lado, a zona rural concentra quase 70% do território do município, boa parte em áreas de proteção ambiental.

Figura 5 – Localização do Município de São José dos Campos.



Fonte: Instituto Cartográfico e Geográfico – IGC (2007).

A URBAM é uma autarquia da Prefeitura Municipal, responsável pela Gestão Integrada da Limpeza Urbana, que envolve a varrição de vias públicas, o sistema de coleta de resíduos e todo o processo de tratamento e disposição final destes resíduos na ETRS - Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos, que compreende o Centro de Triagem de recicláveis da coleta regular, o Aterro Sanitário e a Estação de Tratamento de Biogás. Sua atuação abrange ainda todo o Serviço Funerário da cida-

de, Administração dos Cemitérios, Terminais Rodoviários, Estádio Martins Pereira, Desenvolvimento de Informática e execução de Obras em geral.

Figura 6 – Vista aérea da Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos – ETRS da URBAM.



Fonte: Google Earth (2011)

3.5.1 Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos – ETRS

A ETRS possui uma área física de 481.246 m², sendo que 91,6% dessa área é o aterro sanitário e 8,4% correspondem às demais instalações.

3.5.1.1 Estrutura física do Aterro Sanitário

Há quatro centrais de armazenamento de lixiviados, que são diariamente transportado e tratado na ETE Lavapés - SABESP – SJC.

Há uma central de Biogás, cujo gás metano drenado do aterro é queimado para evitar a emissão dos gases considerados de efeito estufa e por isso é considerado ecologicamente correto, gerando até Créditos de Carbonos ou Receitas

Certificadas de Emissões, uma vez que esta central é monitorada e certificada de acordo com as normas específicas e a legislação vigente.

3.5.1.2 Demais instalações

- Central de triagem;
- Central de queima do Biogás;
- Transbordo de resíduos especiais, como lâmpadas fluorescentes, pilhas, baterias, amianto, pneus inservíveis, resíduos eletrônicos, latas de tintas e solventes sem base d'água;
- Transbordo de Resíduos de Serviços de Saúde (RSS);
- Instalações de Apoio, como central de pesagens, área administrativa, ambulatório, refeitório, etc.;
- Outras instalações: área de manutenção, oficina mecânica e posto de combustíveis;
- Sala Ambiental: auditório e museu do lixo;

3.5.1.3 Aterro Sanitário

Conforme a ABNT NBR 8419, o aterro sanitário consiste, basicamente, no confinamento dos RSU no solo, redução dos resíduos num pequeno volume e por fim na cobertura com uma camada de solo na conclusão de cada jornada de trabalho ou em intervalos menores. Há cinco células, sendo que as células 1, 2 e 3 correspondem a áreas já encerradas - área de 279.435 m² - e as células 4 e 5 correspondem a uma área de 138.441 m² e são aquelas onde estão sendo feitas a operação e a expansão.

O aterro operado pela URBAM está de acordo com as exigências legais dos órgãos ambientais e por isso o confinamento pode ser considerado seguro e que garante o controle da poluição ambiental e proteção à saúde pública. Nele, é possível identificar divisão em células, compactação de resíduos, cobertura, sistema de impermeabilização, sistemas de drenagem e tratamento dos líquidos e gases, além do monitoramento geotécnico, entre outros.

O fluxograma do aterro este apresentado da Figura 7.

Figura 7 – Fluxograma do Aterro Sanitário.



Fonte: Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de São José dos Campos (2012), contratada pela URBAM.

No anexo A, encontra-se o fluxograma de toda a estrutura do Sistema de Gestão dos Resíduos Sólidos e também quem são os Grupos, Serviços e Responsáveis por cada etapa da origem e do destino.

Os dados quantitativos estão listados a seguir:

- **Aterro Sanitário:**

Atualmente, recebe uma média de 703,91 toneladas por dia (dados do 1º trimestre de 2014).

Em 2013:

- Total: 223.420,38 toneladas no ano
- 18.618,37 toneladas por mês (média)
- 713,80 toneladas por dia (média)

- **Composição gravimétrica estimada:**

Em 2014, planeja-se dar início a caracterização dos resíduos. Neste trabalho utilizou-se os dados obtidos no Estudo de Caracterização Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos, realizado em junho 2010.

Este estudo utilizou as recomendações técnicas descritas no Capítulo II (Origem e Composição do Lixo) do livro "Lixo municipal" (2000 - CEMPRE), que utiliza a metodologia da CETESB (1990 - Resíduos Sólidos Urbanos e Limpeza Pública).

Para que a amostragem fosse representativa, foram selecionados 25 setores distintos:

- Coleta Domiciliar: 19 setores;
- Coleta SSM: 4 setores
- Coleta de Varrição: 2 setores

Estes são os três maiores geradores de resíduos sólidos urbanos, provenientes de todas as regiões de SJ. Estes geradores representavam 93,91% resíduos dispostos no aterro sanitário. Todas as periodicidades e turnos das coletas fizeram parte da amostragem.

Tabela 1 – Composição gravimétrica do aterrado

Material	Porcentagem em massa (%)
Alumínio	0,21
Borracha	0,2
Diversos	1,94
Embalagem Longa Vida	0,61
Embalagem PET	1,14
Espuma	0
Isopor	0,31
Madeira	1,67
Matéria Orgânica	58,16
Metais Ferrosos	0,75
Papel, Papelão e Jornal	9,18
Pilhas e Baterias	0
Plástico Duro	2,36
Plástico Mole	6,11

Material	Porcentagem em massa (%)
Terra e Pedra	12,61
Trapos e Panos	3,34
Vidros	1,41

Fonte: Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de São José dos Campos de 2012, contratada pela URBAM

- **Coleta Seletiva:**

Em 2013, foram recebidas 15.135 toneladas, sendo uma média de 1261 t/mês e 48,36 t/dia. De todo o material que passa pela Central de Triagem, 65% é aproveitado e o restante é encaminhado para o aterro.

4. ANÁLISE DOS DADOS

4.1 Projeção populacional

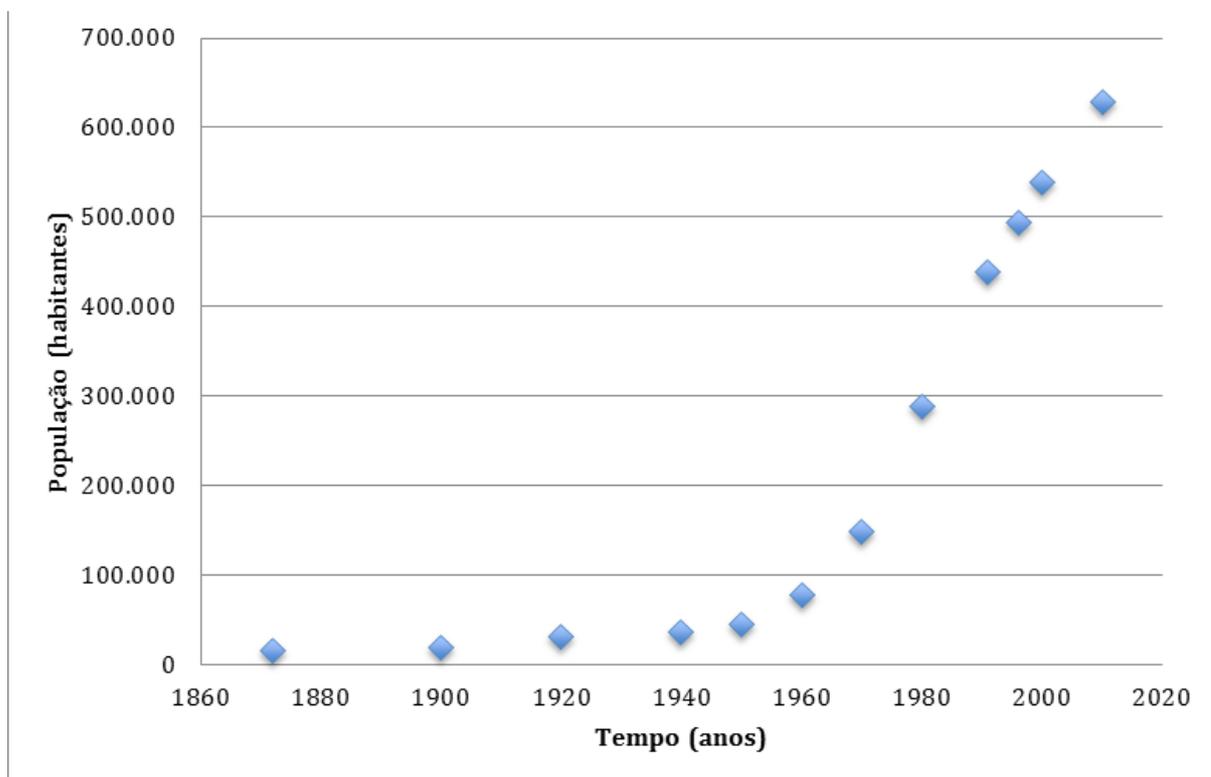
Os dados do crescimento populacional do município de São José dos Campos foram disponibilizados em forma de tabela pelo IBGE, conforme ilustrado na Tabela 2. Nota-se que o IBGE tem dados censitários desde o ano de 1872. Ao colocar esses dados em um gráfico de dispersão, Figura 8, pode-se ter uma perspectiva do comportamento de crescimento da população.

Tabela 2 – Dados populacionais de São José dos Campos

Ano	População
1872	15.154
1900	18.122
1920	30.681
1940	36.279
1950	44.804
1960	77.533
1970	148.332
1980	287.513
1991	439.231
1996	493.394
2000	538.298
2010	629.106

Fonte: IBGE

Figura 8 - Gráfico da Dispersão dos pontos da população estatística para o município de São José dos Campos – SP.



O comportamento de crescimento da população é importante para se aplicar a um modelo matemático e prever populações futuras a partir de um critério fundamentado. A observação dos pontos estatísticos revela uma tendência de estagnação futura da população em torno de uma população de saturação. Desse modo, para a projeção de população foi considerada um modelo matemático da curva logística, que leva os mesmos preceitos de estagnação, e com isso nos dará projeções da população futura com a devida segurança para o projeto em questão.

A formulação matemática da curva logística é representada na Equação 1.

$$P = \frac{k}{1 + e^{a - b \cdot (t - t_0)}} \quad (\text{Equação 1})$$

P é a população, t é o tempo em anos e k, a e b são os parâmetros.

Aplicando-se o modelo matemático da curva logística, os parâmetros da equação da curva foram ajustados através de métodos numéricos e assim foi

possível calcular a população para o período a ser estudado, que será até o ano de 2040.

Os parâmetros encontrados estão na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros da Curva Logística.

Parâmetros	
k	725093,9622
b	0,077810531
a	8,871235889

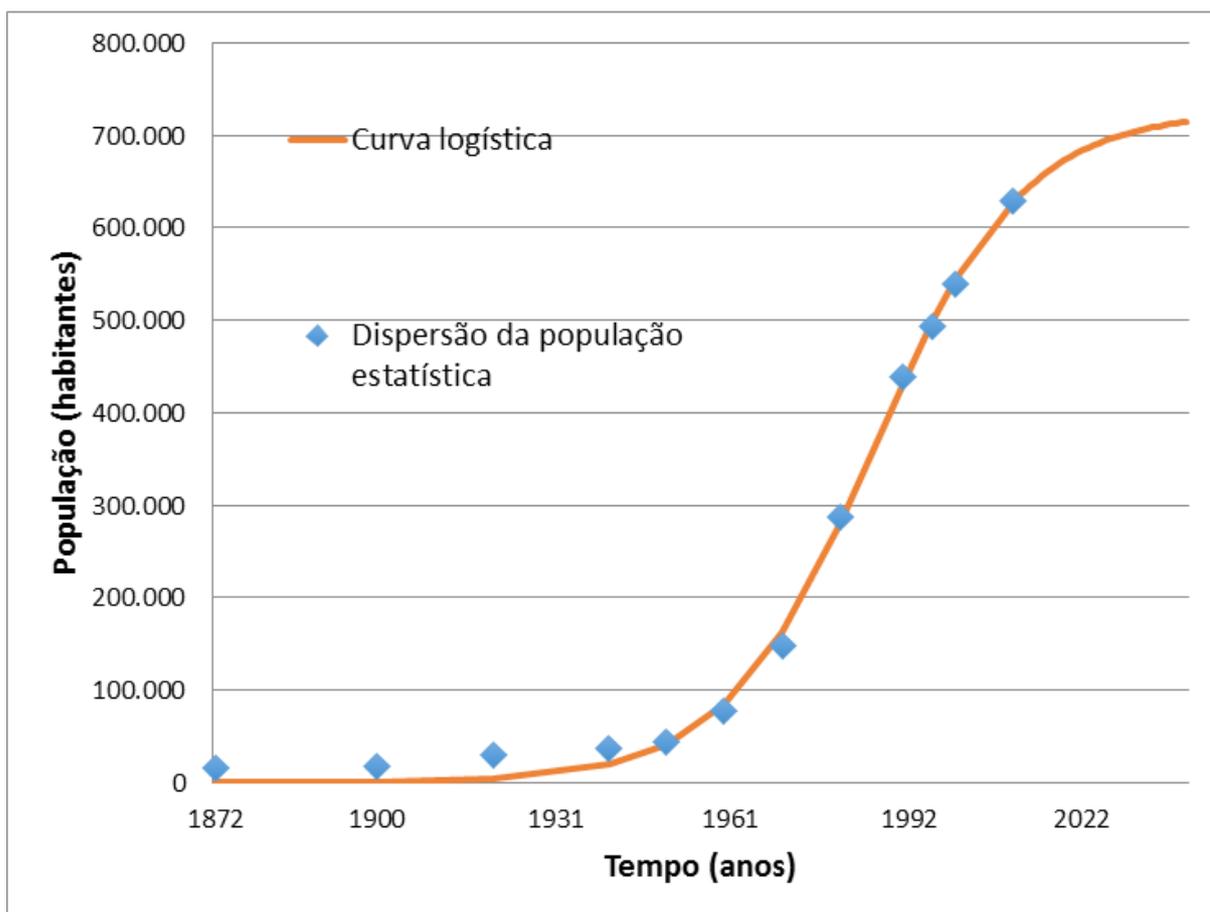
A Tabelas 4 e a Figura 9 mostram a evolução anual da população do município até 2040. Estes valores foram considerados neste projeto nas etapas posteriores de dimensionamentos do sistema de tratamento de resíduos orgânicos.

Tabela 4 - Cálculo da população através da projeção

Ano	População calculada - Método da Curva Logística
2014	651.311
2015	656.310
2016	661.004
2017	665.407
2018	669.533
2019	673.396
2020	677.009
2021	680.387
2022	683.542
2023	686.487
2024	689.234
2025	691.795
2026	694.182
2027	696.404
2028	698.473
2029	700.398
2030	702.189
2031	703.853
2032	705.400
2033	706.837
2034	708.172
2035	709.411

2036	710.562
2037	711.629
2038	712.620
2039	713.539
2040	714.391

Figura 9 – Estimativa do crescimento populacional do município de São José dos Campos – SP.



4.2 Projeção de geração de resíduos sólidos

A projeção da quantidade de resíduos aterrados foi feita com base nos dados enviado pelo próprio engenheiro da URBAM e também obtido através do Relatório de Movimentação de Resíduos, URBAM/2010, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5 - Histórico da quantidade de resíduos aterrados

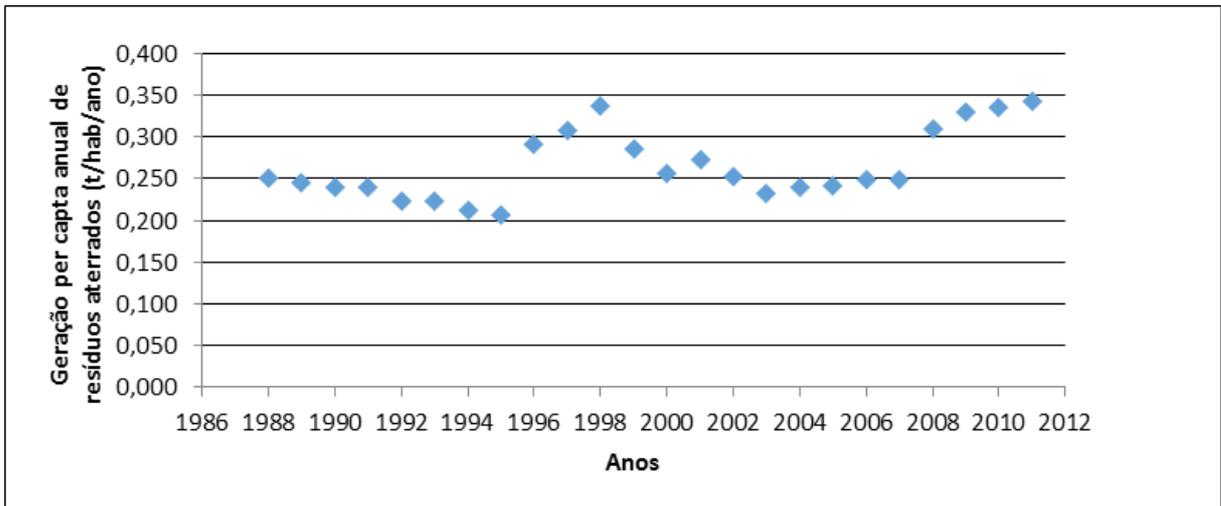
Ano	População Considerada	Geração anual dos resíduos aterrados (t/ano)	Geração per capita a anual de dos resíduos aterrados (t/hab/ano)
1988	390.550	98.352	0,25
1989	404.521	99.366	0,25
1990	418.368	100.380	0,24
1991	432.050	103.422	0,24
1992	445.529	99.366	0,22
1993	458.770	102.408	0,22
1994	471.741	100.380	0,21
1995	484.412	100.000	0,21
1996	496.756	144.414	0,29
1997	508.749	157.160	0,31
1998	520.372	175.548	0,34
1999	531.608	152.377	0,29
2000	542.444	139.390	0,26
2001	552.869	150.909	0,27
2002	562.878	142.144	0,25
2003	572.465	132.778	0,23
2004	581.630	139.736	0,24
2005	590.375	142.832	0,24
2006	598.702	148.990	0,25
2007	606.618	151.610	0,25
2008	614.130	190.268	0,31
2009	621.247	204.734	0,33
2010	627.980	210.296	0,33
2011	634.340	217.397	0,34

Fonte: Relatório de Movimentação de Resíduos, URBAM/2010

Os dados foram analisados através da quantidade de resíduos gerados por cada habitante da cidade. Isso foi feito dividindo-se a quantidade total de resíduos gerados por ano pelo número de habitantes.

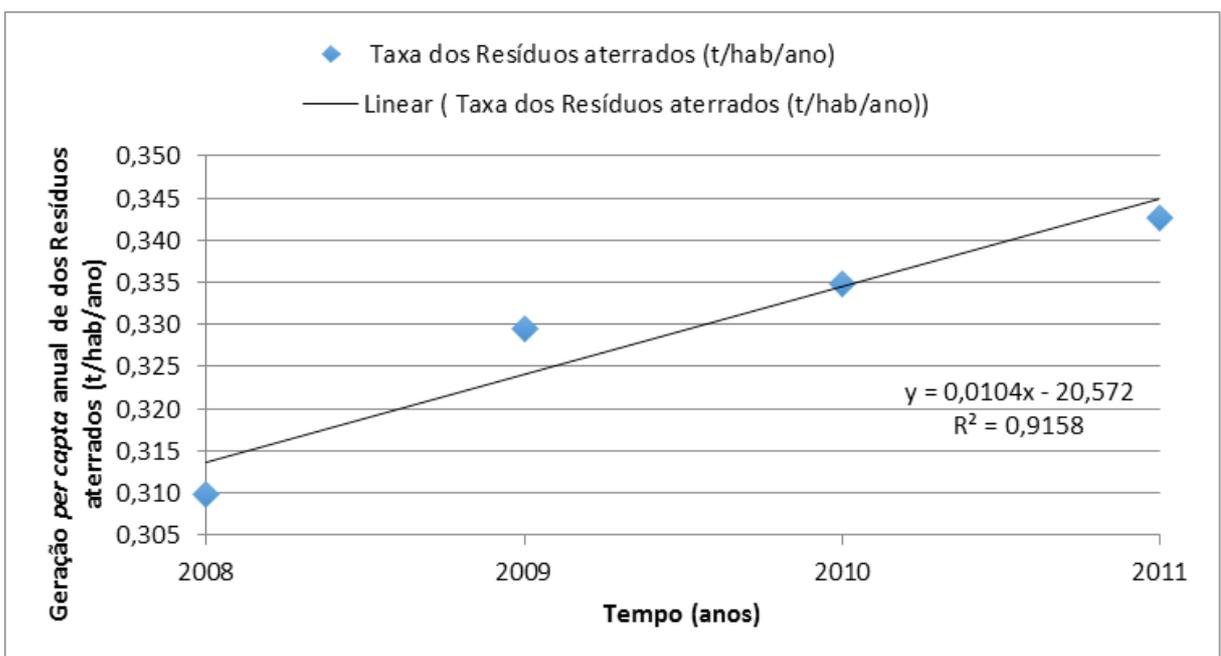
A fim de se conhecer a distribuição dos pontos, confeccionou-se um gráfico, Figura 10, na esperança de se encontrar uma tendência para a geração *per capita* anual dos resíduos aterrados.

Figura 10 – Dispersão das taxas dos resíduos aterrados.



Analisando a Figura 10, nota-se que não existe uma tendência de crescimento, talvez porque o histórico analisado reflete períodos de consolidação das políticas públicas relativas aos resíduos sólidos. Somente no início do século XXI houve uma melhoria expressiva no gerenciamento dos resíduos no país e também no município em questão. Sendo assim, apenas os dados a partir de 2008 foram considerados para estimar uma tendência. A Figura 11 apresenta as distribuições dos pontos a partir de 2008 e a sua tendência linear.

Figura 11 – Estimativa da taxa dos resíduos aterrados.



É difícil estimar a possível geração *per capita* anual dos resíduos aterrados que será produzido por habitante, para um longo período. Isso, pois, as variáveis são diversas, incluindo fatores sociais, econômicos, de campanhas de educação ambiental, entre outros. Desse modo, visualizando os pontos, foi considerado uma projeção aritmética. Mesmo não satisfazendo a verdadeira realidade, pode-se ter um bom fator de segurança a favor do projeto. Pelo método aritmético, os valores projetados até 2040 foram os seguintes:

Tabela 6 - Estimativas das quantidades de resíduos aterrados

Ano	População Considerada	Tendência da geração per capita anual de resíduos aterrados (t/hab/ano)	Quantidade de dias no ano	Resíduos aterrados (t/dia)	Resíduos aterrados (kg/hab/ano)
2015	656.310	0,38	365	690	1,05
2016	661.004	0,39	366	712	1,08
2017	665.407	0,40	365	738	1,11
2018	669.533	0,42	365	762	1,14
2019	673.396	0,43	365	785	1,17
2020	677.009	0,44	366	806	1,19
2021	680.387	0,45	365	832	1,22
2022	683.542	0,46	365	855	1,25
2023	686.487	0,47	365	879	1,28
2024	689.234	0,48	366	899	1,30
2025	691.795	0,49	365	925	1,34
2026	694.182	0,50	365	948	1,37
2027	696.404	0,51	365	971	1,39
2028	698.473	0,52	366	991	1,42
2029	700.398	0,53	365	1.016	1,45
2030	702.189	0,54	365	1.039	1,48
2031	703.853	0,55	365	1.061	1,51
2032	705.400	0,56	366	1.081	1,53
2033	706.837	0,57	365	1.106	1,56
2034	708.172	0,58	365	1.128	1,59
2035	709.411	0,59	365	1.151	1,62
2036	710.562	0,60	366	1.170	1,65
2037	711.629	0,61	365	1.195	1,68
2038	712.620	0,62	365	1.217	1,71
2039	713.539	0,63	365	1.239	1,74
2040	714.391	0,64	366	1.257	1,76

De acordo com a caracterização dos resíduos realizada em Junho de 2010, 58,16% da massa do resíduo aterrado é composto por matéria orgânica. A Tabela 7 mostra a tendência da quantidade de resíduo orgânico que seria aterrado no período

considerado, considerando a porcentagem de material orgânico da caracterização de Junho de 2010.

Tabela 7 - Quantidade de material orgânico aterrado.

Ano	Resíduos aterrados (t/dia)	Estimativa da quantidade de resíduos orgânicos aterrados (t/dia)
2015	690	402
2016	712	414
2017	738	429
2018	762	443
2019	785	457
2020	806	469
2021	832	484
2022	855	498
2023	879	511
2024	899	523
2025	925	538
2026	948	551
2027	971	565
2028	991	576
2029	1.016	591
2030	1.039	604
2031	1.061	617
2032	1.081	629
2033	1.106	643
2034	1.128	656
2035	1.151	669
2036	1.170	680
2037	1.195	695
2038	1.217	708
2039	1.239	720
2040	1.257	731

4.3 Cálculo da vida útil do aterro sanitário

O cálculo da vida útil do aterro sanitário $-VU(anos)-$ da URBAM é feito calculando a massa correspondente ao volume total disponível, considerando uma massa específica média para os resíduos a serem aterrados, e a dividindo pela quantidade anual projetada média – para até 2030 – dos resíduos a serem

aterros. Esse cálculo foi efetuado da mesma maneira que o executado pela Fral Consultoria LTDA., contratada pela URBAM.

Sendo $Vat(m^3)$ o volume disponível para o aterramento, $\rho(t/m^3)$ a massa específica média dos resíduos aterrado, $T(t/ano)$ a média anual para todo o período a ser analisado e VU o vida útil, obtém-se a seguinte expressão:

$$VU = \frac{Vat \times \rho}{T} \quad \text{(Equação 02)}$$

De acordo com a URBAM, o volume total do aterro ainda disponível é de $2.444.705,2(m^3)$. Esse volume corresponde ao volume disponível na célula quatro ($527.656,3 m^3$), célula cinco ($1.362.683,4 m^3$) e volume do alteamento cota $663 m$ ($554.365 m^3$). Pelos cálculos da vida útil do aterro efetuado pela URBAM, foi considerado uma densidade de $0,9(t/m^3)$, que também será aplicada no cálculo seguinte. O valor de T calculado, como uma média da quantidade de resíduos sólidos que será recebido pelo aterro, foi de $311.865 t/ano$. No cálculo da vida útil foi considerado um recalque de 30% e por isso o VU foi multiplicado por um fator de 1,3.

$$VU = \frac{2.444.705,2 \times 0,9}{311.865} \times 1,3$$

Para uma melhor visualização de como a $VU(anos)$ vai diminuindo ao longo do tempo, a Equação 02 é aplicada pra todos os anos, conforme descrito na Tabela 8.

Tabela 8 – Decaimento da vida útil do aterro sanitário.

Ano	$T(t/ano)$	$VU(anos)$	$Vat(m^3)$
Volume inicial:			2444705,2
2015	252.023	11	2.164.679
2016	260.700	10	1.875.013
2017	269.357	8	1.575.727
2018	277.990	7	1.266.849
2019	286.597	5	948.408

Ano	$T(t/ano)$	$VU(anos)$	$Vat(m^3)$
2020	295.176	4	620.434
2021	303.725	2	282.962
2022	312.242	1	-63.973

Em 2011, a empresa contratada pela URBAM estimou uma vida útil de 12 anos e 1 mês para o aterro sanitário. O valor encontrado pelo processo de cálculo, considerando a média anual para todo o período, é equivalente ao da Fral. No entanto, quando se faz o balanço ano a ano, nota-se que o aterro tem vida útil de aproximadamente 8 anos, se continuar nesse mesmo ritmo de recepção.

Nos processos de cálculos da Fral, a quantidade de resíduos aterrado foi subestimada. Por exemplo, só no primeiro trimestre de 2014 foi aterrado 703,91 t/dia, conforme informado pelo próprio Engenheiro da URBAM, apesar do estudo contratado pela URBAM estimar para 2014 a quantidade de 639 t/dia.

5. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Após a análise dos aspectos do atual gerenciamento de resíduos sólidos urbanos de São José dos Campos que ocorre na ETRS da URBAM, confirma-se que o foco do estudo deve ser a parcela orgânica, que chega ao aterro pela coleta regular. Essa conclusão se sustenta primeiramente na própria descrição qualitativa do resíduo feita pelo estudo gravimétrico que afirma que aproximadamente 60% de todo o resíduo que chega à ETRS é matéria orgânica. Acredita-se que é possível obter melhores resultados se o sistema de tratamento proposto atingir a maior parte possível do resíduo. Outro argumento está no fato de que atualmente existem técnicas consagradas no mercado para o tratamento desse tipo de material e todas elas se enquadram não só nas legislações que regulamentam a atividade mas também nas diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Portanto, quanto menor for a fração orgânica aterrada maior será o ganho para a vida útil do aterro.

6. ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO

As alternativas propostas de tratamento da matéria orgânica são: 1) compostagem e 2) digestão anaeróbia, os quais alguns tipos de cada são descritos nos itens seguintes. Porém, será apresentado um processo térmico como alternativa de tratamento dos rejeitos existentes da triagem de reciclagem e também do pré-tratamento da digestão anaeróbia, por exemplo.

6.1 Compostagem de resíduos sólidos orgânicos

6.1.1 Vantagens

- Transforma resíduos orgânicos em resíduos estabilizados, com características físicas e químicas diferentes do material que deu sua origem, produzindo um composto condicionante de solos com 40 a 70% de matéria orgânica;
- A localização da usina de compostagem promove a redução dos custos com o transporte de resíduos sólidos, bem como o do composto final gerado;
- O volume de rejeitos a ser disposto em aterro diminui, também podendo ser incinerados com reaproveitamento energético;
- Não polui a atmosfera ou as águas, se for bem operado;
- Não há exigência de mão-de-obra especializada;
- Os custos de implementação e da operação são viáveis;

6.1.2 Desvantagens

- A usina de compostagem deve ser bem operada, pois assim evita problemas no processo de compostagem, cujas consequências são mal odores, atração e proliferação de insetos;
- Pode ocorrer desvalorização nas áreas vizinhas, porém se o pátio de compostagem for consolidado na própria área da Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos da URBAM, não haveria problemas e não seria considerado um aspecto negativo;
- O tratamento considerado não trata o resíduo como um todo, somente a matéria orgânica e por isso gera rejeitos que podem ser dispostos no incinerador ou no próprio aterro sanitário;

- É difícil encontrar um mercado para o composto, principalmente em uma área industrializada como o município de São José dos Campos;
- Apesar do composto gerado ser um condicionante de solos, é importante ressaltar que possui baixos teores de N, P e K e por isso não pode ser considerado como um fertilizante;
- O manejo dos líquidos deve ser realizado de forma adequada para não haver contaminação das águas superficiais e subterrâneas com o material da compostagem, que são ricos em nutrientes e matéria orgânica;
- A operação adequada faz com que a compostagem não se torne um passivo ambiental e não gere custos em ocasião de fim das atividades, ao contrário do aterro sanitário que no final de sua vida útil gera despesas com monitoramento, cuidados e investigações, por exemplo.

6.1.3 Fases da compostagem

A compostagem pode ser dividida em quatro etapas. A primeira delas é a elevação da temperatura até o limite ótimo da compostagem, que depende das condições ambientais locais, podendo demorar de horas a dias. A temperatura ótima está na faixa dos 55 a 60 °C, sendo um fator importante para a bioestabilização do processo. Para regulá-la nessa faixa, pode-se introduzir fatores externos tais quais: revolvimento com ou sem umidificação ou aeração mecânica intermitente.

A segunda etapa consiste na degradação do material orgânico, levando de 60 a 90 dias pelo método convencional ou em torno de 30 dias considerando leiras estáticas e aeradas. A fase três é o resfriamento do material formado, que dura em torno de 5 dias e a última etapa, a quarta, é a fase de cura ou maturação do material compostado, formando ácidos húmicos, processo de 30 a 60 dias.

6.1.4 Parâmetros do processo

A compostagem é um processo biológico e por isso os parâmetros para o seu funcionamento são os mesmos que afetam a atividade dos microrganismos. Os parâmetros são físicos - umidade, temperatura, tamanho das partículas e dimensão

e formato das leiras –, biológicos – bactérias, fungos e actinomicetos – e químicos – oxigenação, pH e relação carbono/nitrogênio.

Independentemente do processo de compostagem utilizado: convencional por revolvimento, leiras estáticas com aeração forçada ou com múltiplas câmaras, os parâmetros a ser analisados e controlados serão os mesmos. A Tabela 9 traz um resumo dos parâmetros normalmente encontrados em processos de compostagem

Tabela 9 – Parâmetros comumente utilizados em processos de compostagem.

Parâmetro	Temperatura (°C)	pH	Tamanho das partículas (cm)	Umidade %	Oxigenação (m ³ de ar/kg de SV/dia)	Relação C/N
Faixa de variação	55	Entre 7 e 8 para composto estabilizado.	1 a 5	Em torno de 55%	0,3	25:1 a 35:1

Fonte: Bidone (1999)

6.1.5 Usina de compostagem

Para o dimensionamento do pátio de compostagem e dos equipamentos utilizados, são necessários primeiramente a massa de resíduos que será recebida. Para o caso da URBAM, levando em conta o fluxograma do aterro sanitário, os resíduos potencialmente a ser recebidos são:

- Parcela orgânica da coleta regular dos resíduos domiciliares, cuja qualidade pode ser potencializada realizando-se uma coleta seletiva específica, ou seja, coleta domiciliar dos resíduos orgânicos domiciliares;
- Coleta de feiras livres;
- Coleta da fração orgânica de resíduos comerciais, de refeitórios industriais, e instituições, de acordo com a legislação de coleta desses resíduos;
- Resíduos de jardinagem, poda, capina e varrição de área verde;
- Lodo da ETE SABESP SJC;
- Palha, casca e serragem e resíduos de madeira;

Além dos aspectos mencionados, são necessários determinar o tempo de compostagem, a redução da massa e do volume do resíduo durante o processamento e também os parâmetros da estocagem do composto produzido.

6.1.6 Legislação e licenciamento ambiental

Esse tipo de estabelecimento deve ser licenciado pela CETESB, conforme orientações de seu domínio *web*. Além disso, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei no 12.305, de 2010 regulamentada pelo Decreto 7.404 de 2010, juntamente com a Políticas Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) Lei Estadual no 12.300, de 2006, regulamentada pelo Decreto 54.645 de 2009, legisla sobre esse tipo de empreendimento.

Além disso, é muito importante ressaltar que o PNRS admite que essa forma de tratamento tem prioridade em relação à disposição em aterro sanitário, independente dos custos envolvidos.

6.2 Digestão anaeróbia

6.2.1 Vantagens

- Redução do volume a ser disposto em aterro sanitário.
- Redução na emissão de metano na atmosfera, considerando sua utilização ou em último caso a queima.
- Dispensa a necessidade de fornecimento de oxigênio.
- Agregação de valor aos resíduos, dada a possibilidade de venda de energia e do composto biofertilizante.

6.2.2 Desvantagens

- No caso de não ser bem operada, há formação de gás sulfídrico, que possui odor desagradável.
- Imprecisão na quantidade de biogás produzida dependendo do tipo de resíduo.
- Custo de manutenção devido à escolha do material utilizado, pois há a formação de gases corrosivos.
- Partida do processo demorada.

6.2.3 Fases da Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é descrita como uma série de processos envolvendo microrganismos que degradam a matéria orgânica biodegradável na ausência de oxigênio. O resultado global da digestão é a conversão quase completa da matéria orgânica biodegradável em metano, dióxido de carbono, ácido sulfídrico, amônia e biomassa.

No processo de digestão anaeróbia, diferentes tipos de microrganismos degradam a matéria orgânica sucessivamente em etapas e reações paralelas. O processo de degradação de polímeros orgânicos complexos é normalmente dividido em quatro etapas inter-relacionadas: hidrólise, fermentação ou acidogênese, acetogênese e metanogênese.

6.2.3.1 Hidrólise

Na primeira etapa, os polímeros orgânicos complexos como polissacarídeos, proteínas e lipídios são hidrolisados por enzimas extra celulares a produtos solúveis. O tamanho desses produtos solúveis deve ser pequeno o suficiente para permitir o transporte através da membrana das células das bactérias. Esse é o processo mais lento e que consome mais energia, e normalmente é considerado como limitante global para completar a digestão anaeróbia de polímeros complexos.

6.2.3.2 Fermentação (acidogênese)

O monômero produzidos no processo de hidrólise são então degradados por uma grande diversidade de bactérias anaeróbias e anaeróbias facultativas através de uma variedade de vias fermentativas. A degradação desses compostos resulta na produção de dióxido de carbono, gás hidrogênio, álcoois, ácidos orgânicos, alguns compostos nitrogenados e alguns compostos orgânicos sulfatados. O mais importante dos ácidos orgânicos é o acetato, uma vez que pode ser diretamente usado como substrato por bactérias metanogênicas.

6.2.3.3 Acetogênese

O acetato pode ser produzido não só a partir da fermentação de compostos orgânicos solúveis mas também através da acetogênese. Nessa etapa ácidos graxos voláteis de baixo peso molecular são convertidos em acetato, gás hidrogênio e dióxido de carbono por bactérias acetogênicas. Esse processo de conversão só pode ser favorecido termodinamicamente se a pressão parcial de hidrogênio é mantida baixa. Assim, é necessária a remoção eficiente da produção de gás hidrogênio.

6.2.3.4 Metanogênese

Nessa etapa o metano é produzido por bactérias chamadas formadoras de metano, também conhecidas por metanogênicas, por duas vias: ou por clivagem das moléculas de ácido acético gerando dióxido de carbono e metano, ou por redução do dióxido de carbono com hidrogênio. A produção de metano por redução de dióxido de carbono é mais alta mas a concentração de hidrogênio limitada nos digestores acarreta numa produção primária de metano através da reação do acetato.

6.2.4 Parâmetros do processo de digestão anaeróbia

Os principais parâmetros físicos e químicos intervenientes no processo são: temperatura, pH, tamanho das partículas, umidades, substâncias inibidoras e relação C/N. A Tabela 10 mostra um resumo dos parâmetros comumente encontrados em processos de digestão anaeróbia.

Tabela 10 – Parâmetros normalmente utilizados em processos de digestão anaeróbia.

Parâmetro	Temperatura (°C)	pH	Tamanho das partículas (mm)	Umidade %	Substâncias inibidoras	Relação C/N
Faixa de variação	Mesófilas – 35 a 40	6,8 a 7,4	Em torno de 2	Úmido – Menor que 15% de teor de sólidos totais	Amônia, sulfeto, íons metálicos, metais pesados em excesso, entre outras.	20 a 30
	Termófilas – 55			Seco – Entre 20% e 40% de teor de sólidos totais		

Fonte: Nayono (2009)

6.2.5 Digestor anaeróbio

O digestor é composto basicamente por um reator que é um tanque no qual se reúnem substratos, microrganismos e condições físicas citadas anteriormente para que ocorra o processo de digestão. Além disso, deve-se ter em mente que haverá produção de biogás, tendo que prever espaço para acumulação deste sem danificar a sua estrutura.

Ao projetar o reator deve-se considerar e monitorar alguns parâmetros de operação para controlar o grau de eficiência do processo. São eles:

6.2.5.1 Composição do resíduo

Os resíduos tratados pela digestão anaeróbia podem compreender uma fração biodegradável, um combustível e outra fração inerte. A fração biodegradável inclui restos de cozinha, resíduos de comida, grama e podas de árvores. A fração combustível inclui matéria orgânica lignocelulósica de degradação lenta contida na madeira mais grossa, papel e papelão. Finalmente, a fração inerte é composta por pedras, vidro, areia, metal, os quais podem ser removidos e reaproveitados em coleta seletiva (Chynoweth e Pullammanappallil, 2000; RISE, 1998).

6.2.5.2 Tempo de detenção

Muitos sistemas anaeróbios são projetados para reter os resíduos por um número fixo de dias, o qual é chamado de tempo de detenção (TD). Ele é matematicamente representado como o volume do tanque dividido pela vazão diária ($TD = V/Q$). Esse tempo é importante pois estabelece a quantidade de tempo disponível para o crescimento bacteriano e subsequente a conversão da matéria orgânica em gás (Chynoweth e Pullammanappallil, 2000; RISE, 1998).

6.2.5.3 Tempo de detenção de sólidos

O tempo de retenção de sólidos (TDS) é um parâmetro importante porque controla a conversão de sólidos em gás. Ele é importante também para a manutenção da estabilidade no digestor. Embora muitas vezes calculado de forma inadequada, ele é a quantidade de sólidos mantida no digestor dividida pela quantidade de resíduos sólidos a cada dia (Chynoweth e Pullammanappallil, 2000; RISE, 1998).

6.2.5.4 Carga orgânica

A carga orgânica (CO) determina a taxa de matéria biodegradável que se pode colocar no reator, por unidade de volume e num determinado período de tempo. A CO deve ser controlada tendo em conta o conhecimento dos limites do reator e aquilo para que ele foi dimensionado, pois um aumento repentino origina uma produção de ácidos orgânicos voláteis mais rápida do que a velocidade com que as bactérias metanogênicas os podem consumir, provocando a sua acumulação, com a consequente acidificação do reator e o desequilíbrio do processo (Chynoweth e Pullammanappallil, 2000; RISE, 1998).

6.2.6 Sistema de digestão anaeróbia

Existem vários tipos de digestores e diferentes maneiras de classifica-los. Podem ser pelo modo de alimentação (contínuo: único estágio ou estágios múltiplos, e batelada) e umidade (digestão seca ou úmida). Além disso, com esses tipos básicos, os reatores anaeróbios podem ser agrupados de acordo com a temperatura do processo de digestão (mesofílico ou termofílico) e a forma do reator (vertical ou horizontal).

O processo de digestão anaeróbia seca ou úmida tem essa denominação dependendo da concentração total de sólidos na alimentação de substrato. A digestão é definida como processo úmido se a concentração de sólidos totais no substrato é menor que 15% e como processo seco se a concentração está entre 20 e 40%.

Normalmente são usados dois modos de alimentação na digestão anaeróbia de resíduos sólidos: o sistema em batelada e o sistema contínuo. No primeiro, o

digestor é preenchido com matéria orgânica fresca, com ou sem adição de inóculos e selado durante o tempo de detenção, depois ele é aberto e o efluente é removido. No segundo, a matéria orgânica fresca é continuamente colocada no digestor e uma igual quantidade de matéria digerida é removida.

6.2.7 Processos usados comercialmente

Alguns processos patenteados têm tido grande sucesso no desempenho em escala real. Nos itens 6.2.7.1 a 6.2.7.8 são apresentados alguns deles.

6.2.7.1 BIOCEL®

O sistema é baseado na digestão anaeróbia seca em batelada. A concentração de sólidos totais dos resíduos sólidos orgânicos é mantida entre 30 e 40% de matéria seca. O processo acontece em vários digestores retangulares de concreto em temperatura mesofílica. O chão do digestor é perfurado e equipado com uma câmara abaixo para coleta de chorume. Antes da alimentação, o substrato do bio-resíduo fresco e o inóculo (matéria orgânica digerida previamente) são misturados e então carregados no digestor por pás. Depois do carregamento, o digestor é fechado com ar comprimido. Para controlar a emissão de odores, o sistema é alocado num prédio fechado com pressão negativa. O tempo de detenção nesse processo é geralmente da ordem de 15 a 21 dias (Adaptado de Khanal, 2008).

6.2.7.2 DRANCO®

O nome vem da abreviação da sigla em inglês que quer dizer “compostagem anaeróbia seca”. O processo usa um sistema de único estágio que é seguido por uma curta fase de maturação aeróbia. Embora seja principalmente operado sob a temperatura termofílica (entre 50 e 55°C), a operação na faixa mesofílica (35-40°C) também pode ser aplicada para resíduos específicos. O DRANCO é tipicamente vertical com reator ‘plug-flow’, alimentado do topo e o lodo digerido é removida do fundo ao mesmo tempo. Geralmente uma parte do lodo digerido é usada como inóculo e misturada com seis a oito partes de substrato fresco. Uma pequena

quantidade de vapor é introduzida na mistura para manter a temperatura. A mistura pré-aquecida é então bombeada para o topo de alimentação para os tubos de alimentação. O resto do lodo digerido é desaguado e os resíduos sólidos do processo são então estabilizados e desinfetados aerobiamente por um período de aproximadamente duas semanas. O tempo de detenção típico é de 15 a 30 dias e a faixa de produção de biogás está entre 100 e 200 m³/t de resíduos alimentadas (Adaptado de Khanal, 2008).

6.2.7.3 **Valorga®**

O sistema é um processo de digestão anaeróbia seca de único estágio que usa um reator cilíndrico vertical que pode ser operado tanto em temperatura mesofílica quanto em temperatura termofílica. O substrato é alimentado através de uma porta colocada de um lado da parede divisória e o digerido é retirado através de outra do outro lado. A mistura vertical é feita internamente por recirculação de biogás a alta pressão injetado a cada 15 minutos. O pré-tratamento inclui separação para obtenção de partículas menores que 80 mm e ajuste de concentração de sólidos na faixa de 25 a 32% através de mistura com água. O tempo de detenção é normalmente entre 18 e 25 dias à temperatura mesofílica com uma produção de biogás de 80 a 160m³/t de substrato (Adaptado de Khanal, 2008).

6.2.7.4 **KOMPOGAS®**

É um sistema de com processo de digestão anaeróbia seco, no qual o processo de fermentação acontece num reator horizontal de fluxo em pistão que opera na faixa de temperatura termofílica (tipicamente 55 - 60°C). O reator é equipado com impulsores que agem rodando devagar e intermitentemente para garantir a mistura e ajudar a re-suspensão do material mais pesado. O pré-tratamento consiste na remoção de impurezas, diminuição do tamanho das partículas do substrato e diluição com água para que a concentração de sólidos fique entre 23 e 28%. O tempo de detenção costuma ser de 15 a 20 dias e geração de biogás por volta de 820m³/t de sólidos voláteis (Adaptado de Khanal, 2008).

6.2.7.5 **Waasa®**

É um processo úmido, de único estágio de digestão anaeróbia e pode operar tanto em temperatura mesofílica quanto termofílica. É completamente misturado e mantido num reator vertical que é subdividido internamente para criar uma câmara de pré-digestão, onde a possibilidade de um curto circuito pode ser impedida. O pré-tratamento é relativamente complexo pois inclui uma classificação e lavagem mecânicas prévias, antes da alimentação. A lavagem é utilizada também para reduzir a concentração de sólidos totais no substrato para que se chega na faixa entre 10 a 15%. O lodo é misturado com uma pequena quantidade de inóculo, pré-aquecido por injeção de vapor e bombeado para a pré-câmara que é operada em fluxo contínuo, com tempos de detenção de uma a dois dias, antes da digestão no reator principal. Se operado em processo termofílico requer um tempo de detenção de 10 dias e se operado no mesofílico o tempo é de 20 dias. A produção de biogás relatada está dentro da faixa de 100-150 m³/t de substrato, com 20 a 30% de consumo de gás internamente para o pré-aquecimento (Adaptado de Khanal, 2008).

6.2.7.6 **BTA®**

Consiste em duas etapas principais – o pré-tratamento hidromecânico e a digestão anaeróbia. No pré-tratamento, os sólidos são diluídos com água circulante para obter no máximo 10% em concentração. Além disso, sistemas de grades e ancinhos são usados para remoção de material de diferentes granulometrias e densidades que eventualmente prejudicam a digestão da matéria orgânica. Apesar de ser normalmente usados em sistemas de único estágio, o BTA também pode oferecer vários estágios, dependendo do tamanho da planta. A temperatura é mantida na faixa do mesofílico por volta de 35°C e o reator é considerado de mistura completa, sendo esta feita por injeção de biogás. Dependendo da composição do resíduo, a faixa de rendimento fica entre 89 e 120 m³/t de bio-resíduo (Adaptado de Khanal, 2008).

6.2.7.7 **Schwarting-Uhde®**

Adota um processo de digestão anaeróbia úmida de dois estágios, que possui uma performance em série de dois reatores verticais de fluxo em pistão. O primeiro é operado na temperatura mesofílica para hidrólise e acidificação, enquanto o segundo é operado na temperatura termofílica para a metanogênese. Os resíduos biológicos são picados para que se reduzam o tamanho das partículas e a concentração de sólidos para aproximadamente 12%. O lodo é pré-aquecido na temperatura pretendida por trocadores de calor e então é bombeado através de uma série de pratos perfurados dentro do reator, que é empregado para garantir a uniformidade do movimento ascendente e para manter as condições de fluxo de pistão. O tempo de detenção em ambos reatores é aproximadamente de 5 a 6 dias, fazendo uma detenção global de 10 a 12 dias (Adaptado de Khanal, 2008).

6.2.7.8 **Linde-BRV®**

Pode ser considerado um sistema de digestão anaeróbia seco de dois estágios. Depois do pré-tratamento para reduzir o tamanho das partículas e remover as impurezas, a concentração de sólidos no substrato a ser alimentado é ajustada para 34%. O lodo é pré-digerido em uma etapa anterior, na qual a matéria orgânica é parcialmente hidrolisada. Depois de dois dias de detenção, o lodo pré-digerido é bombeado num digestor retangular de concreto em fluxo de pistão na horizontal. A mistura é realizada por vários agitadores de pás transversais. O processo é comumente mantido na temperatura termofílica, apesar de modificações para a mesofílica serem possíveis também. O tempo de detenção é por volta de 21 a 25 dias, quando operado no termofílico (Adaptado de Khanal, 2008).

6.3 **Incineração**

A incineração é uma das formas mais utilizadas no tratamento de resíduos sólidos urbanos no mundo (Willians, 2005). Como um incinerador moderno é um sistema de combustão aliado a um sofisticado sistema de limpeza de suas emissões gasosas, que produz energia e reduz o resíduo a um inerte minimamente poluidor,

viabilizando ainda mais o processo, ela é considerada como uma alternativa plausível para a redução do volume a ser aterrado.

6.3.1 Vantagens

Há muitas vantagens e desvantagens no processo de incineração. Das vantagens, podemos citar as seguintes:

- O incinerador pode ser construído próximo ao gerador de resíduo, devido a suas pequenas dimensões quando comparadas a outros tipos de tratamento. Assim, evita-se que o resíduo seja transportado por longas distâncias, visto que está cada vez mais restritas áreas para serem consolidados sistemas de tratamento de resíduo.
- O resíduo é reduzido a uma cinza biologicamente estérea. Para resíduo sólido urbano, a cinza corresponde a 10% do volume e a 33% da massa do resíduo antes de ser oxidado.
- Ao contrário dos aterros sanitários, a incineração não produz metano, um gás contribuinte para o efeito estufa no planeta.
- A incineração dos resíduos podem ser fonte de energia para produzir vapor e assim gerar energia elétrica ou ser usados em processos térmicos industriais, evitando o uso de combustíveis primários que estão cada vez mais caros e escassos.
- As cinzas geradas podem ser utilizadas como agregados secundários na construção civil, além de muitos outros usos que ainda estão sendo pesquisados.
- É uma ótima opção para tratar possíveis resíduos perigosos presentes nos resíduos sólido urbano, como os inflamáveis, voláteis, tóxicos e infeccioso.

6.3.2 Desvantagens

No entanto, há também desvantagens na incineração dos resíduos:

- O custo de investimento inicial geralmente é alto e o *pay-back* não é rápido.
- Tem pouca flexibilidade na escolha da disposição final das cinzas uma vez feito o projeto do incinerador. Devido ao seu alto custo, é importante já haver contratos de longo períodos para a disposição final.

- O incinerador é projetado com base em certos valores caloríficos do resíduo. Assim, remover certos materiais pode alterar os valores caloríficos e trazer prejuízos no rendimento do incinerador.
- Mesmo as emissões de gases dos incineradores estando de acordo com a legislação vigente, ainda há uma preocupação pública de que essa forma de tratamento traga prejuízos para a saúde

6.3.3 Legislação

De acordo com a lei orgânica do município de São José dos Campos, é proibido o uso de máquinas térmicas geradoras de energia elétrica, a não ser que “Os equipamentos ou conjunto de equipamentos geradores de energia elétrica, que isolada ou conjuntamente produzam até 10 MW de potência, destinados para consumo próprio e desde que movidos a gás natural, poderão ser licenciados e instalados no Município, atendidas as normas federais e estaduais, inclusive as resoluções das agências reguladoras pertinentes.”

Além disso, por essa lei municipal, entende-se que uma usina termelétrica é “o estabelecimento industrial e comercial de grande porte destinado à produção de energia elétrica, por processo térmico, para posterior comercialização, utilizando a rede pública de energia elétrica, para sua distribuição.”

A quantidade de resíduos a ser incinerados superaria a exigência máxima exigida e além disso só seria viável esse tipo de solução se a energia elétrica produzida fosse utilizada na rede pública, suprindo as necessidades energéticas do município, considerado um grande polo industrial.

Em Julho de 2012 foi elaborado pela Empresa Fral Consultoria Ltda. a Minuta do Plano Municipal de Gestão de Resíduos Sólidos de São José dos Campos, através do contrato URBAM número 048/12. Nesse trabalho, foi proposto o uso de um incinerador para o tratamento dos rejeitos dos recicláveis, conjuntamente com um digestor anaeróbio para tratar o lixo orgânico. Ambas tecnologias contariam com um reaproveitamento energético, produzindo eletricidade para ser distribuída na rede pública. No entanto, ele não foi homologado e o plano de gestão não orienta o município.

O Plano Municipal de Gestão Integrada de resíduos Sólidos começou a ser feito em Setembro de 2013 através de um Plano de Trabalho. Existe um cronograma a ser seguido e é previsto que ele seja homologado em Dezembro de 2014. Nesse plano, há esforços para que sejam cumpridas as premissas da Política Nacional de Resíduos Sólidos, que visa estimular a reciclagem, a produção e o consumo consciente, a promoção social dos catadores.

O plano apontará caminhos para estimular a produção e o consumo consciente, a reciclagem, as soluções para os resíduos da construção civil, a promoção social dos catadores, os mecanismos de logística reversa e as melhores práticas para tratamentos de resíduos.

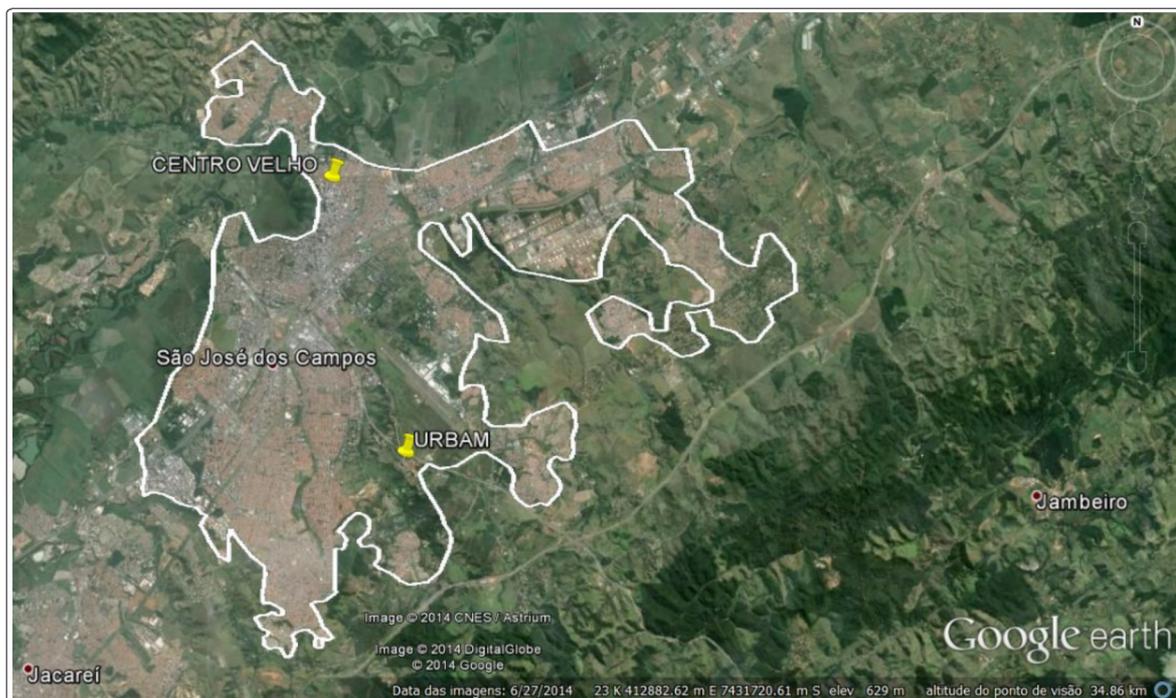
7. ESTUDOS DAS ÁREAS

Será abordada a implantação dos sistemas de tratamento no topo de células encerradas do aterro sanitário da URBAM e também em novas áreas disponíveis no município ou entorno.

7.1 Áreas no topo do aterro sanitário da URBAM

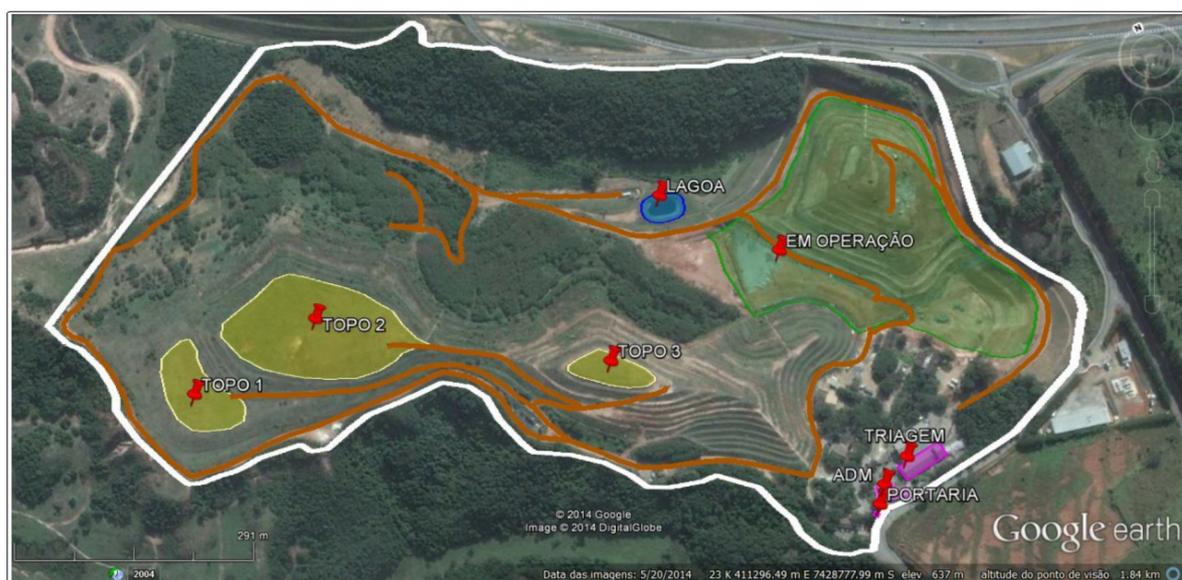
Atualmente, há três células encerradas no aterro sanitário que poderiam alocar o sistema de tratamento de matéria orgânica proposto neste estudo. Com o auxílio de uma planta detalhada da área da ETRS feita no programa AutoCAD®, que se encontra no levantamento cadastral original do Anexo C, foi possível avaliar onde a implantação do sistema seria mais viável tecnicamente e economicamente. Nas imagens de satélite apresentadas na Figura 12 e Figura 13 é possível visualizar as áreas de interesse.

Figura 12 – Localização da URBAM dentro dos limites do município.



Fonte: Adaptado do Google Earth, (2014).

Figura 13 – Área da URBAM.



Fonte: Adaptado do Google Earth, (2014).

Para a implantação de qualquer sistema de tratamento de resíduos, é preciso nivelar o terreno escolhido. Caso for considerada o uso do topo do aterro para esta implantação, é imprescindível que antes do terraplenagem seja feito um estudo de

estabilidade do aterro de forma a assegurar que o fator de segurança seja igual ou maior que 1,5, valor típico adotado para aterros sanitários definidos com base na NBR-11682 – Estabilidade de Encostas (ABNT, 2009), para nível alto de segurança contra danos materiais e ambientais e nível médio de segurança contra perda de vidas humanas. Este estudo de estabilidade poderá ser feito com base nos dados que este trabalho irá apresentar de massa adicional colocada no topo do aterro considerando a movimentação de tratores que farão a operação do sistema.

Devido a necessidade de terraplenagem, a inclinação e a quantidade de drenos de gás foram determinantes para se concluir que apenas o topo 2 era viável para utilização. Essas características podem ser verificadas no Anexo C, no levantamento cadastral original.

7.1.1 Cálculo para estimar o volume de movimentação de solo e custos com a terraplenagem no Topo 2

7.1.1.1 Volumes

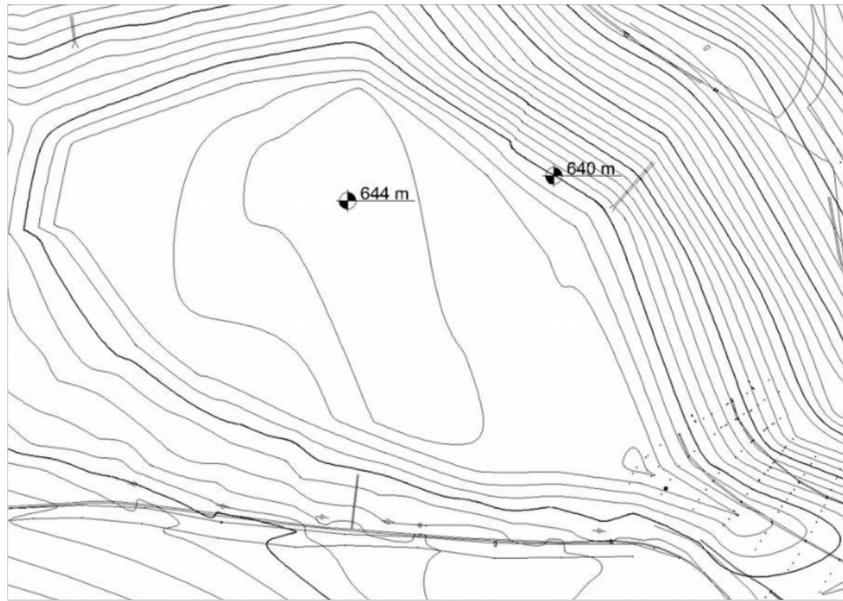
Para o cálculo dos volumes utilizou-se o recurso de criação de sólido, a partir de curvas, do programa AutoCAD®, e assim foi possível analisar os volumes envolvidos no terraplenagem do topo encerrado, indicado nesse trabalho como Topo 2, onde é previsto a criação do pátio de compostagem.

7.1.1.2 Superfície existente no Topo 2

Segundo as curvas presentes no levantamento topográfico cedido pela URBAM, o volume compreendido entre as curvas 640 m e 644 m apresenta volume de 87.749 m³.

A Figura 15 mostra a superfície topográfica existente com o auxílio do software AutoCAD®.

Figura 14 – Superfície topográfica existente no Topo 2.



7.1.1.3 Nova superfície no Topo 2

Considerando um retaludamento que criará um declive de 1 m na vertical para 2,5 m na horizontal (1:2,5), obteve-se um talude de 4 m de altura e 10 m de extensão horizontal entre as cotas 640 m e 644 m. Tal sólido apresenta o volume de 115.602 m³ e a nova área possui 25.112 m² de extensão.

Figura 15 – Nova superfície topográfica no Topo 2.



7.1.1.4 Resultado

Subtraindo-se os volumes é possível obter uma estimativa das grandezas envolvidas na obra.

Analisando, também, o novo perfil do terreno, mostrado na Figura 17 é possível perceber que a configuração proposta considerou uma obra de terra onde haverá, somente, aterramento, sem necessidade de escavação e dessa forma o volume resultante mostra a quantidade de material que deverá ser depositada no local. A Linha vermelha representa o perfil novo e as linhas brancas o perfil existente.

Figura 16 – Perfil da nova superfície topográfica no Topo 2.



Fonte: Imagens do software AutoCAD®

Na Figura 18, obtida pela ampliação da Figura 17 é possível perceber com mais facilidade as diferenças entre os perfis:

Figura 17 – Perfil aproximado da nova superfície topográfica no Topo 2.



Fonte: Imagens do software AutoCAD®

Assim, o volume depositado será de:

$$V_{\text{aterro}} = 115.602 - 87.749 =$$

7.1.1.5 Custo

A Vale Terra, empresa do setor de terraplenagem e obras de terra do Município de São José dos Campos, forneceu um orçamento para a obra com base no preço por volume de solo trabalhado, ou seja, R\$ 12,00 por m³ de solo utilizado nesse projeto de alteamento. O solo será trazido de outro local pela empresa. Como serão necessários aproximadamente 28 mil m³ de solo, o custo desta obra será em torno de R\$ 336 mil.

7.2 Novas áreas no município ou entorno

Como definido na Resolução CONAMA Nº 237, serviços de tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos estão sujeitos a licenciamento ambiental. Por ser uma atividade potencialmente causadora de impacto ambiental, a licença ambiental depende da apresentação de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA).

A seguir são citados os critérios definidos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (1997) -, para a escolha de áreas onde serão implantadas novas unidades receptoras de resíduos.

- Topografia: preferencialmente as áreas selecionadas devem apresentar inclinação máxima em torno de 10%.

- Dimensões: a vida útil que se pretende dar às áreas define as dimensões. Como base de cálculo, deve-se reservar aproximadamente 1,0 metro quadrado de terreno por tonelada de resíduos a ser aterrada.

- Solo: não deve apresentar grande quantidade de pedras, plantas e rochas aflorantes, deve ser o mais impermeável e homogêneo possível e ter composição predominantemente argilosa.

- Proteção contra enchentes: as áreas não devem estar sujeitas a inundações, nem a flutuações excessivas do lençol freático, como as várzeas de rios, pântanos e mangues.

- Distâncias de corpos de água: qualquer corpo de água deve estar distante, no mínimo, 200 metros da instalação. Além disso, legislações específicas em vigência para áreas especiais também devem ser respeitadas.

- Profundidade do lençol freático: o lençol freático deve estar situado o mais distante possível da superfície do aterro. Para solos argilosos recomenda-se a distância de 3,0 metros e, para solos arenosos, distâncias superiores a 3,0 metros. A avaliação final deve ser feita por técnicos especializados.

- Distância de residências: deve-se considerar que obstáculos naturais como elevações do terreno e matas, podem atenuar as interferências negativas dos aterros, assim como os ventos podem arrastar odores, poeira e insetos indesejáveis. Entretanto, recomenda-se uma distância mínima de 500 metros de residências isoladas e de 2000 metros de áreas urbanizadas.

- Direção dos ventos predominantes: deve-se atentar ao fato de que os ventos não devem transportar poeira ou maus odores para núcleos habitacionais ou quaisquer instalações onde possam ser indesejáveis.

- Localização: além de todas as regras anteriormente descritas, para a implantação de um aterro sanitário deve-se observar também:

- as legislações de uso do solo e de proteção dos recursos naturais;
- a menor distância viável entre os centros geradores de resíduos.

Quanto às alternativas locacionais, é necessário ainda tornar a decisão compatível com os planos e programas governamentais nas esferas municipal, estadual e federal, bem como projetos públicos e privados propostos e em implantação na área de influência do empreendimento, em atendimento ao artigo 5º da Resolução CONAMA 01/86.

O Plano Básico de Gerenciamento do Risco Aviário - PBGRA, elaborado pelo Ministério da Defesa em 2011, estabelece a Área de Gerenciamento do Risco Aviário - AGRA para aeródromos. A AGRA corresponde a uma área circular com centro no ponto médio da pista do aeródromo e raio de 20 km. Possui um setor interno, também chamado de núcleo, com raio de 9 km, e um setor externo, compreendido entre o núcleo e o seu limite. O objetivo é que a AGRA proteja, contra a existência de focos de atração de aves, a parcela do espaço aéreo utilizada pelas aeronaves para efetuar a decolagem, a subida inicial, a aproximação final e o pouso.

De acordo com o PBGRA, não é recomendada a implantação ou funcionamento de atividades com potencial de atração de aves, como aterros sanitários e culturas agrícolas, no setor interno da AGRA (núcleo, raio de 9 km) de aeródromos públicos brasileiros. Para empreendimentos localizados entre o setor interno da AGRA e o limite da mesma (entre o raio 9 km e o de 20 km), deve o

responsável pelo mesmo se comprometer, formalmente, a empregar técnicas mitigadoras e de exclusão de aves, de forma que o empreendimento não se configure em um foco de atração.

Foge ao objetivo deste estudo, apresentar uma análise de alternativas locacionais com a profundidade que o licenciamento ambiental exige. Mas acredita-se que é importante ilustrar ao menos quais seriam, a princípio, as áreas no município de São José dos Campos e no seu entorno que poderiam abrigar no futuro uma instalação da estação de tratamento de resíduos sólidos urbanos.

Foram identificadas duas áreas que atendem as exigências de zoneamento urbano e distância ao aeroporto da cidade.

A primeira pertence à Zona de Urbanização 6 (ZUC6) possui 160.000 m^2 e está a uma distância aproximada de 11,8 km do aeroporto. Segundo a imobiliária Mundial Imóveis de São José dos Campos, esta área está avaliada em R\$ 8.800.000,00 (oito milhões e oitocentos mil reais), sendo comercializado por R\$ 55,00 (cinquenta e cinco reais) o metro quadrado. Possui fácil acesso pois está próxima ao cruzamento da Rodovia Governador Carvalho Pinto com a Estrada Nelson Tavares da Silva, como mostra a Figura 19.

Figura 18 – Localização da área de 160 mil m^2 que poderia abrigar uma nova ETRS.



A segunda área identificada, mostrada na Figura 20, possui 260.000 m^2 e está localizada em parte em uma Zona de Uso Predominantemente Industrial (ZUPI) e a outra em uma ZI. Está próxima à Rodovia Presidente Dutra, a uma distância aproximada de 11,4 km do aeroporto. A mesma imobiliária informou que esta área foi avaliada em R\$ 33.800.000,00 (trinta e três milhões e oitocentos mil reais), sendo o metro quadrado vendido a R\$ 130,00 (cento e trinta reais).

Figura 19 – Localização da área de 260 mil m^2 que poderia abrigar uma nova ETRS.



O Anexo D contém o mapa de zoneamento do Município, onde é possível observar com clareza cada uma das zonas citadas. O mapa de macrozoneamento do Município, apresentado no Anexo E, evidencia as Áreas de Preservação Ambiental (APA) presentes em São José dos Campos, que limitam o quadro de possibilidades.

8. CONCEPÇÃO DAS ALTERNATIVAS

8.1 Plano de coleta seletiva de resíduos orgânicos

Um dos parâmetros que pode assegurar a eficiência de um sistema de tratamento da matéria orgânica é sua qualidade, que pode ser avaliada a partir de sua pureza. Como foi apresentado na Tabela 7, sabe-se que o município de São José dos Campos gera aproximadamente 405,43 toneladas de matéria orgânica por dia. Essa massa chega a ETRS pela coleta comum, ou seja, a matéria orgânica está

misturada como todos os outros tipos de materiais que não são recicláveis. É fundamental planejar como a matéria orgânica gerada no município será obtida separadamente dos outros resíduos domiciliares para alimentar o sistema de tratamento.

Uma possibilidade seria fazer uma triagem do volume recolhido pela coleta comum a fim de se obter a matéria orgânica com maior pureza. Porém, essa opção deve ser preterida visto que o custo com investimentos em recursos humanos e em recursos para atenuar a insalubridade do trabalho seria demasiadamente alto. É possível também que a triagem não alcance a mesma eficiência que a coleta seletiva pode apresentar. Com isso, recomenda-se implantar um plano de coleta seletiva para que a matéria orgânica chegue a ETRS já separada.

Sabe-se que a maior parte da matéria orgânica gerada no município provem dos domicílios que são pequenos geradores. Existem, no entanto, pontos de maior geração, se comparados aos domicílios, fáceis de identificar. Alguns deles são: feiras livres, CEASA, shoppings centers, restaurantes e cozinhas industriais. Aconselha-se então começar a coleta seletiva de matéria orgânica por esses geradores menos numerosos.

Foi feita uma tentativa junto à Prefeitura Municipal de São José dos Campos, no setor de Cadastro Imobiliário, de se obter a quantidade de restaurantes e cozinhas industriais em atividade na cidade. Contudo, não se obteve sucesso.

O Sindicato dos Empregados nas Empresas de Refeições Coletivas de São José dos Campos – SEERC – afirmou que possui 67 empresas de refeições coletivas, em outras palavras, cozinhas industriais cadastradas.

Foi possível ter acesso aos dados da quantidade gerada por uma empresa de refeições coletivas chamada Ideal Refeições que está em atividade há mais 23 anos no município. Foram medidas as quantidades de matéria orgânica geradas por dia advindas do processamento, da preparação e da sobra de alimentos para a produção de 1710 refeições. Isto foi feito durante 4 dias no mês de setembro como parte da preparação para implantar um plano de gestão de resíduos sólidos. A Ideal Refeições produz refeições em 3 indústrias e/ou fábricas e transporta refeições produzidas em sua sede para outras 15 empresas. Na sede da empresa também funciona um restaurante self-service aberto ao público em geral.

Os dados de geração de matéria orgânica estão expostos na Tabela 11.

Tabela 11 – Geração de matéria orgânica Ideal Refeições.

Geração de matéria orgânica em quilogramas				
Local	Data			
	16/09/14	17/09/14	18/09/14	19/09/14
SEDE	145,5	162,8	137,3	120,5
UNIDADE 1	8,5	9,0	10,2	4,3
UNIDADE 2	25,3	26,5	32,1	36,7
UNIDADE 3	21,0	30,1	42,2	27,8
TOTAL GERADO (kg/dia)	200,3	228,4	221,8	189,3

Fonte: Ideal Refeições, 2014.

Todos os dias em que foram feitas as medições, a empresa produziu por volta de 1710 refeições. Em média, foram gerados 209,9 kg de matéria orgânica por dia. Com base nesses dados, será adotado neste estudo que para produzir uma refeição são gerados 0,123 quilogramas ou 123 gramas de resíduos sólidos composto unicamente por matéria orgânica. Não foi possível obter dados de geração de matéria orgânica com nenhuma outra empresa do setor

Segundo o Programa de Disseminação das Estatísticas do Trabalho (PDET), do Ministério do Trabalho e Emprego, em 2013 havia 46.617 empregos formais no setor industrial do município. Empresas de construção civil, escolas e hospitais na região do Vale do Paraíba consomem 28 mil refeições por dia, segundo a Federação Nacional das Empresas de Refeições Coletivas. Foi considerado que metade deste número corresponda à São José dos Campos.

Portanto, no total são aproximadamente 60 mil refeições produzidas por restaurantes e cozinhas industriais todos os dias. Assim, se cada refeição gera 123 gramas de resíduo sólido composto de matéria orgânica, por dia são geradas 9,1 toneladas de matéria orgânica nos restaurantes e cozinhas industriais. Apesar de pequena diante de mais de 400 toneladas diárias estimadas de geração total, esta quantidade será coletada em um número restrito de geradores e também é suficiente para dar início à operação de um sistema de compostagem.

A Tabela 12 apresenta a proposta de expansão do plano de coleta. Este estudo recomenda que o plano de coleta seletiva deverá começar pela Central Estadual de

Abastecimento - CEASA do município, porque gera majoritariamente resíduos sólidos de origem vegetal, juntamente com as cozinhas industriais, pois estas são geradoras pontuais de quantidade significativa de matéria orgânica e julga-se que devido à organização inerente ao processo produtivo de refeições, este setor apresenta maior capacidade de responder rapidamente à nova política de descartar a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos – FORSU separadamente dos demais.

Tabela 12 – Etapas do plano de coleta de matéria orgânica.

Etapas	Pontos de coleta	Número de pontos
1	Cozinhas industriais	67
	CEASA	1
2	Supermercados e Hipermercados	62
	Feiras livres semanais	40
	Shopping Centers	5
	Mercado Municipal	1
3	Comércio e Residências	Zona Leste
4		Zona Sudeste
5		Zona Sul
		Zona Oeste
		Zona Norte
		Zona Central

Na segunda etapa do plano, deverá se estender a coleta para os shopping centers da cidade dada a existência das praças de alimentação, que concentram número significativo de refeições; para as feiras livres, os supermercados e hipermercados e para o Mercado Municipal.

Concluída esta etapa, a coleta irá se expandir para o comércio e para as residências, avançando sobre a cidade por zonas, de modo a abranger toda a geração domiciliar de resíduo sólido de matéria orgânica.

Tabela 13 – Distribuição da população de São José dos Campos pelas zonas do município

População por região						TOTAL
Sul	Leste	Centro	Norte	Sudeste	Oeste	
233536	160990	72115	59800	45800	41163	613404
38%	26%	12%	10%	8%	7%	100%

Fonte: IBGE- Censo 2010 - Secretaria de Planejamento Urbano - PMSJC

Esse avanço foi definido segundo a melhor distribuição do crescimento da expansão do plano de forma a obter uma curva de inclinação mais suave, conforme apresentado na Figura 21.

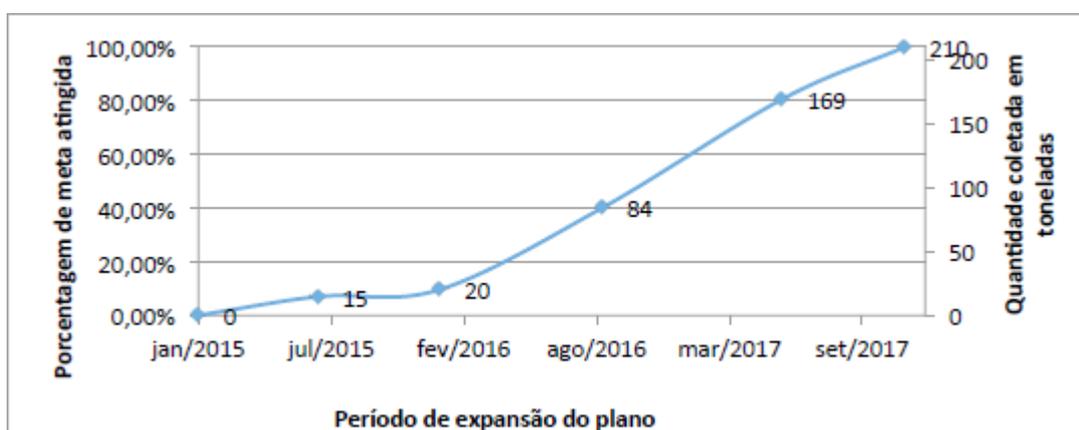
A terceira etapa se realizará nas zonas Oeste e Sudeste do município. Na etapa seguinte, a coleta seletiva seguirá para as zonas Sul e Leste. A etapa final do plano chegará finalmente as zonas Central e Norte.

Tabela 14 - Expansão do plano de coleta.

Etapas	Data proposta para a conclusão de cada etapa	Quantidade de FORSM coletada (em t/dia)	Quantidade de FORSM coletada (em porcentagem)
1	jun/15	15	7%
2	dez/15	20	10%
3	set/16	84	40%
4	mai/17	169	81%
5	dez/17	210	100%

O objetivo da coleta seletiva de matéria orgânica é atingir em três anos, a partir de janeiro de 2015, 50% de todo resíduo sólido de matéria orgânica gerado em São José dos Campos. Essa porcentagem foi adotada, pois se deseja coletar uma matéria orgânica mais pura – deve haver esforços para tal, uma vez que não se observa uma cultura de separação de orgânicos consolidada – para produzir um composto orgânico de qualidade. Além disso, 50% é uma meta otimista para a área reduzida que existe para o tratamento da matéria orgânica. As premissas adotadas para o desenvolvimento do plano de coleta estão disponíveis a seguir, assim como a evolução de sua expansão.

Figura 20 – Expansão da coleta seletiva de matéria orgânica.



Os cálculos e premissas adotadas para a formulação do plano de coleta estão apresentadas a seguir. A Tabela 15 mostra quais estabelecimentos serão alvo de cada etapa do plano de coleta proposto.

Tabela 15 – Estimativa da geração de resíduos sólidos orgânicos

Etapa	Pontos de coleta	Parâmetro para estimativa	Valor adotado para parâmetro	Geração diária de FORSM estimada em toneladas/dia
1	Cozinhas industriais	Número de refeições produzidas	60000	9,1
	CEASA	Quantidade comercializada por mês em toneladas (2% desta quantidade representa o resíduo sólido gerado)	8560	5,7
2	Supermercados e Hipermercados	Geração média por estabelecimento em quilogramas por dia	50	3,1
	Feiras livres semanais	Geração por ponto de feira em quilogramas por semana	200	1,1
	Shopping Centers	Número de refeições produzidas por shopping centers	1500	0,9
	Mercado Municipal	Geração média por loja em quilogramas por dia	5	0,4
3	Comércio e Residências	Porcentagem da população residente em cada região. Como as etapas 1 e 2 reúnem 20 toneladas, a geração do comércio e das residências deve valer $(210 - 20) = 190$ toneladas. Considera-se que a distribuição desta quantidade nas diferentes zonas do município segue a porcentagem de distribuição da população)	26%	49,8
4			8%	
5			38%	
			7%	
			10%	
			12%	

Para o cálculo da estimativa, foi considerado que aproximadamente 2% da quantidade de mercadoria comercializada no CEASA torna-se FORSM, segundo dados analisados do CEAGESP da cidade de São Paulo.

8.2 Estimativa da quantidade da matéria orgânica coletada e do resíduo de conservação de áreas verdes.

O plano de coleta delimitou a quantidade de resíduo orgânico que será coletado por dia para cada ano, iniciando com coleta específica em locais de geração pontual e depois se estendendo para toda a população. Para o estudo dessa alternativa, a perspectiva é coletar pelo menos 50% da matéria orgânica gerada em até 3 anos.

A partir da massa do resíduo $M(t/dia)$ e a sua densidade $\delta(t/m^3)$, pode-se calcular o volume $V_{mo}(m^3/dia)$ de matéria orgânica que será coletado diariamente (Equação 04).

$$V_{mo} = \frac{M}{\delta} (m^3/dia) \quad \text{(Equação 04)}$$

A Tabela 16 demonstra os resultados encontrados ao aplicar o plano de coleta de matéria orgânica e ao calcular seu volume $V_{mo}(m^3/dia)$ correspondente.

Tabela 16 – Estimativa da quantidade da matéria orgânica(50%) que será coletada e seu respectivo volume $V_{mo}(m^3/dia)$.

Ano	Resíduos gerados (t/dia)	Estimativa da quantidade de resíduos orgânico gerados (t/dia)	Matéria orgânica a ser coletada através do plano de coleta (t/dia)	$V_{mo}(m^3/dia)$
2015	690	401	14	16
2016	712	414	21	23
2017	738	429	86	95
2018	762	443	179	199
2019	785	456	228	253
2020	806	469	235	261
2021	832	484	242	269

Ano	Resíduos gerados (t/dia)	Estimativa da quantidade de resíduos orgânicos gerados (t/dia)	Matéria orgânica a ser coletada através do plano de coleta (t/dia)	V_{mo} (m ³ /dia)
2022	855	497	249	276
2023	879	511	256	284
2024	899	523	262	291
2025	925	537	269	298
2026	948	551	276	306
2027	971	564	282	313
2028	991	576	288	320
2029	1016	591	296	328
2030	1039	604	302	336

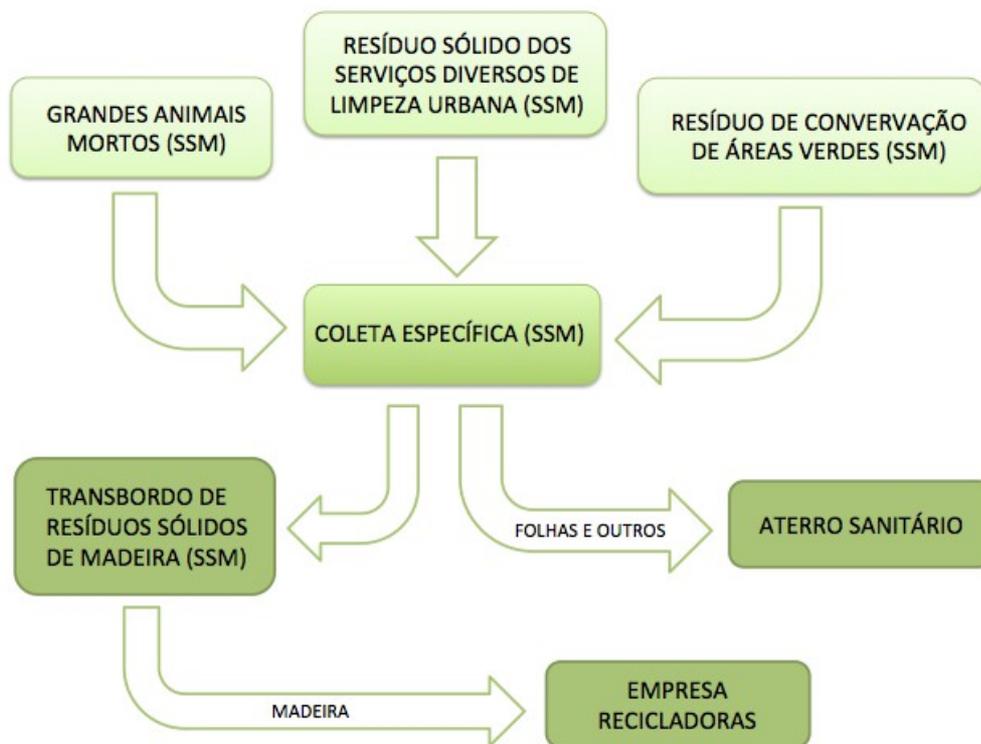
A densidade δ (t/m³) considerada foi de 0,9 t/m³; o da caracterização dos resíduos sólidos realizada pela URBAM 2011.

Nota-se que para o início de plano, estimou-se que será coletado 14 t/dia de matéria orgânica e, para final de plano, 302 t/dia.

De acordo com o PMGIRS (Julho/2012), “a Prefeitura Municipal, através da Secretaria de Serviços Municipais - SSM mantém equipes de manutenção de áreas verdes em todas as regiões do município e distritos, constituídas por 4 funcionários cada, totalizando 32 operadores, que trabalham com apoio de 11 micro tratores e 2 tratores agrícolas”.

Ainda segundo o PMGIRS (Julho/2012), o resíduo de conservação de áreas verdes engloba o resíduo de capina e roçada de áreas verdes públicas e o resíduo de poda, corte de raízes e supressão de árvores de vias ou áreas públicas. Esse resíduo tem destinos distintos, conforme mostra o fluxograma dos resíduos de São José dos Campos na Figura 22.

Figura 21 – Fluxograma de conservação de área verde sob responsabilidade da Secretaria de Serviço Municipal.



Fonte: PMGIRS (2012).

Como se nota, apenas as “folhas e outros” se destinam ao aterro sanitário operado pela URBAN. O documento evidenciou que a URBAN somente tem quantificado a quantidade total de resíduos que recebe sob responsabilidade da SSM, não sabendo a fração de sua composição que chega ao aterro sanitário. Desse modo, para a realização do PMGIRS, foi quantificado os resíduos provenientes de conservação de áreas verdes, conforme descrito na Tabela 16. De acordo com o PMGIRS, a quantificação da capina e roçada foi feita levando em conta o número de áreas verdes no município e que no ano são feitas de 5 a 7 cortes em toda área verde do município. Já a quantificação da poda, corte de raízes e supressão de árvores de vias ou áreas públicas foi feita pela estimativa das quantidades de árvores distribuídas em cada região da cidade e do número de atendimentos para realização do serviço pela SSM. Existe uma infraestrutura técnica para os serviços relativos à vegetação arbórea no município, uma vez que há uma legislação aplicável – Lei nº 5097 de 12 de setembro de 1997.

Não há informação quanto a data de medição. Tal quantificação é dado como constante no PMGIRS, uma vez que a quantidade de áreas verdes e número de vegetação arbórea dentro do perímetro urbano pouco variam.

Tabela 17 – Quantidade de resíduos provenientes da conservação de áreas verdes.

Capina e Roçada de áreas verdes Públicas (t/ano)	Poda, corte de raízes e supressão de arvores de vias ou áreas públicas (t/ano)
47774	12694

Fonte: PMGIRS (2012)

A madeira é reciclada e por esse motivo não será computada para a compostagem. No entanto, as “folhas”, que corresponde a fração de capina e roçada, serão de interesse para a compostagem.

Para os valores para a densidade do resíduo de capina e roçada de áreas verdes públicas, será adotado um valor médio da densidade de folhas e resíduos de jardinagem do banco de dados do órgão de proteção ambiental de Victoria, na Austrália, *Environment Protection Agency – EPA* na sigla em inglês. Seus valores estão na Tabela 18.

Tabela 18 – Estimativa da densidade do resíduo de capinada e roçada.

Densidade Poda e Capina de áreas verdes Públicas	
Resíduo de jardim (t/m ³)	0,227
Folhas (t/m ³)	0,450
Média (t/m ³)	0,339

Fonte: Banco de dados do EPA Victoria, Austrália (2014)

Para calcular o volume do resíduo de capina e roçada $V_{cr}(m^3/dia)$, será usado a densidade média no valor de $\delta = 0,339 t/m^3$. O cálculo do volume (Equação 04) está na Tabela 19.

Tabela 19 – Volume correspondente ao resíduo de capina e roçada.

Capina e Roçada de áreas verdes Públicas (t/ano)	Volume correspondente (m^3/ano)	V_{cr} (m^3/dia)
47774	141134	392

Esse resíduo já vem separado na fonte, uma vez que não há mistura, e por esse motivo, a quantidade estabelecida na Tabela 18 pode ser computada para o dimensionamento da compostagem. Neste trabalho, será estabelecido que todo o volume de resíduos da capina e roçada de áreas verdes será usado no processo de compostagem.

8.3 Processo de compostagem por revolvimento de leiras

O dimensionamento deste cenário será baseado nas seguintes restrições:

A solução técnica para o tratamento da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos – RSU contará com uma nova área, sem as restrições imposta pela atual infraestrutura disponível da URBAM. Desse modo, em vistas de otimizar o projeto, será considerado um novo alcance de projeto, que será até o ano de 2040. O início de plano ainda continua a ser no ano de 2015.

8.3.1 Equipamentos necessários

Os catálogos com os parâmetros dos equipamentos selecionados para a compostagem por revolvimento de leira estão no Anexo B.

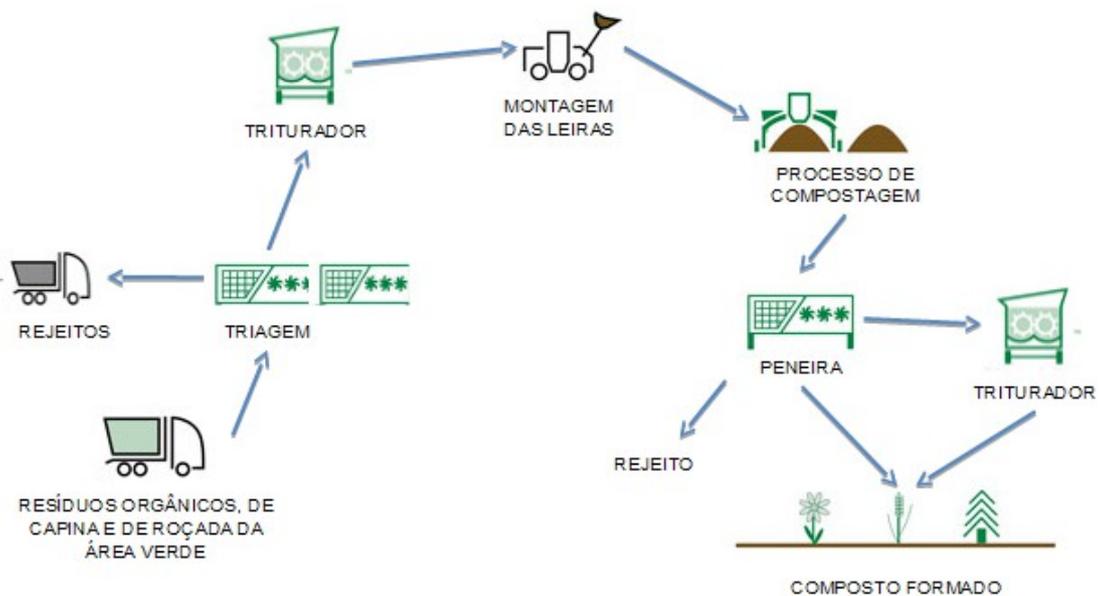
Os equipamentos necessários para o projeto são:

- Triturador: sua função será reduzir os resíduos sólidos orgânicos a dimensões satisfatórias. BIDONE e POVINELLI (1999) recomenda um tamanho de partículas entre 1 cm e 5 cm.
- Trator com pá carregadeira: O trator será responsável por coletar o resíduo triturado e montar as leiras.
- Revolvedor de leiras: O revolvedor de leira terá o papel de misturar oxigênio dentro da leira e misturar os materiais sem provocar compactação no material.

- Peneira: tem a finalidade de promover o peneiramento do material, separando possíveis materiais não orgânicos e os de maiores granulometrias, formando um composto mais puro e homogêneo.

Fluxograma do processo está apresentado na Figura 23.

Figura 22 – Fluxograma do processo de compostagem por revolvedor de leiras.

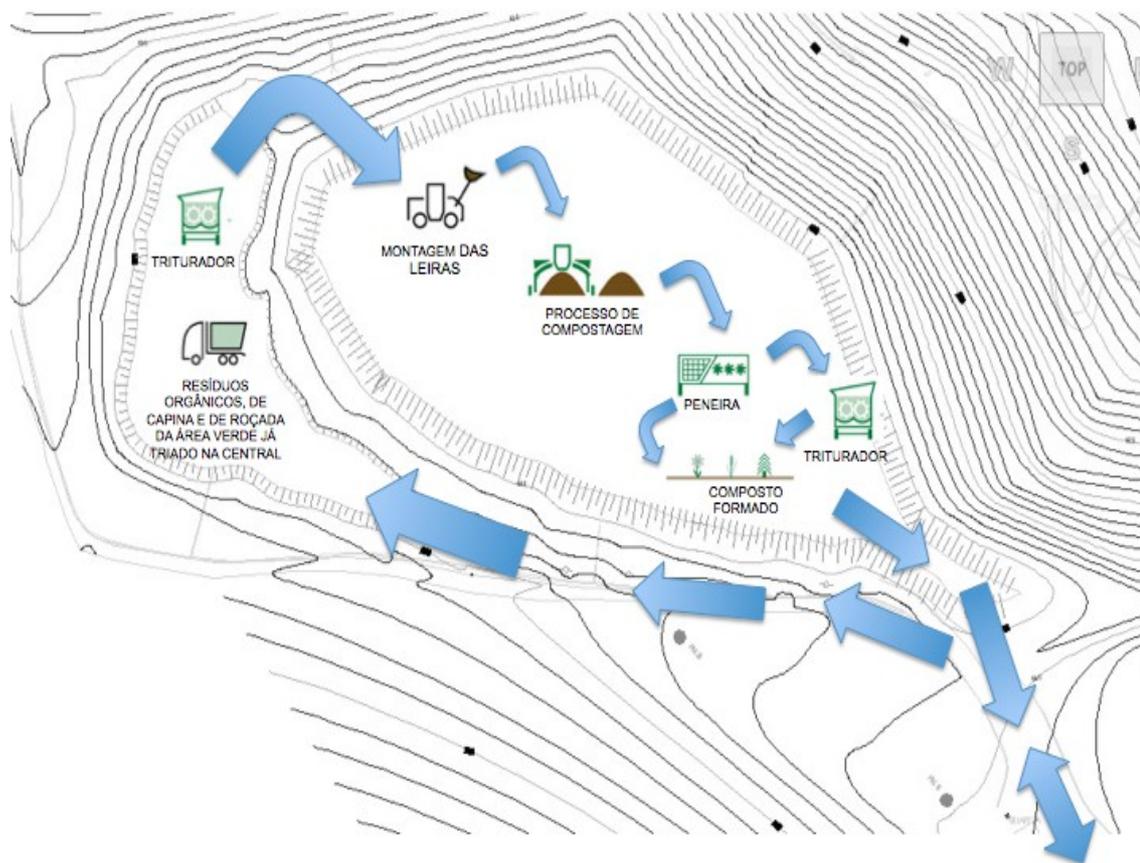


Fonte: Catálogo Komptech® (2014).

8.3.2 Layout

A Figura 24 apresenta um possível *layout* para a compostagem da matéria orgânica no próprio aterro sanitário, aproveitando um de seus patamares acabados e a central de triagem já instalada, que seria adaptada para triar os resíduos orgânicos.

Figura 23 – Possível arranjo físico do sistema de compostagem por revolvimento de leiras.



8.3.3 Área requerida

BIDONE e POVINELLI (1999) aborda em seu trabalho um processo de cálculo para determinar a área requerida que foi aplicado neste trabalho. Os cálculos são divididos nas etapas (a) Cálculo das dimensões das leiras de compostagem e (b) Cálculo das dimensões do pátio de compostagem e estão descritos a seguir:

a. Cálculo das dimensões das leiras de compostagem:

Para o dimensionamento, foi escolhido os parâmetros dos revolvedores de leira da Menart® (Tabela 20), cujo representante no Brasil é a Máquina Solo Máquinas e Equipamentos LTDA.

Tabela 20 – Parâmetros dos revolvedores de leira da Menart®.

Máquina Solo – Revolvedores de leiras - SPM						
Dados técnicos dos modelos	3617 APM	4719 SPM	5822 SPM SPMC	6324 SPM SPMC	7328 SPMC	10330 SPMC
Seção máxima $S_{ST} (m^2)$	3,2	5,4	7,9	9,4	12,6	23,4
Largura máxima $W (m)$	3,6	4,7	5,8	6,3	7,3	11,0
Altura $H_{máx} (m)$	1,7	1,9	2,2	2,4	2,8	3,0
Altura máxima (m)	2,1	2,4	2,7	2,9	3,3	3,5
Capacidade (m^3/h)	1100	2500	3500	5000	7000	10000
Potência do motor (HP)	100	228	350	350	630	1125

Fonte: Catálogo Máquinas Solo (2014)

O volumes $V_L (m^3/dia)$ considerado para ser disposto em forma de leiras é a soma do volume de resíduos da capina e roçada de áreas verdes $V_{cr} (m^3/dia)$ e o da matéria orgânica da coleta seletiva $V_{mo} (m^3/dia)$, conforme descrito na Equação 05.

Para encontrar o comprimento de leira $L (m/dia)$ que será formado diariamente, divide-se o volume $V_L (m^3/dia)$ pela seção transversal máxima $S_{ST} (m^2)$ que cada leira pode ter de acordo com as restrições dos equipamentos do fornecedor. O catálogo do fornecedor está na Tabela 20 e descreve o $S_{ST} (m^2)$ para cada equipamento.

$$V_L = V_{cr} + V_{mo} \quad (\text{Equação 05})$$

$$L = \frac{V_L}{S_{ST}} \quad (\text{Equação 06})$$

Os resultados encontrados para cada equipamento foram estão descritos na Tabela 21 para todos os anos do período considerado.

Da sua análise, pode-se concluir, por exemplo, que para o ano de 2030, usando o equipamento 4719 SPM da Menart®, diariamente será disposto 135 metros de leira na geometria definida pelos parâmetros do equipamento.

Tabela 21 – Cálculo das dimensões diárias das leiras de compostagem para cada equipamento

Ano	Volume V_L (m^3/dia)	Comprimento total por dia $L(m/dia)$					
		3617 APM	4719 SPM	5822 SPM SPMC	6324 SPM SPMC	7328 SPMC	10330 SPMC
2015	408	127	75	52	43	32	17
2016	415	130	77	53	44	33	18
2017	487	152	90	62	52	39	21
2018	591	185	110	75	63	47	25
2019	645	202	120	82	69	51	28
2020	653	204	121	83	69	52	28
2021	661	207	122	84	70	52	28
2022	668	209	124	85	71	53	29
2023	676	211	125	86	72	54	29
2024	683	213	126	86	73	54	29
2025	690	216	128	87	73	55	30
2026	698	218	129	88	74	55	30
2027	705	220	131	89	75	56	30
2028	712	223	132	90	76	57	30
2029	720	225	133	91	77	57	31
2030	728	227	135	92	77	58	31

b. Cálculo das dimensões do pátio de compostagem:

Com a largura máxima definida pelo equipamento $W(m)$, conforme Tabela 20 e com o comprimento da leira $L(m)$, encontra-se a área da base da leira $S_{BA}(m^2/dia)$, conforme descrito na Equação 07.

$$S_{BA} = L \times W \quad (\text{Equação 07})$$

BIDONE e POVINELLI (1999) admitem que o período de compostagem é de 120 dias (fase ativa e fase de maturação), e que a leira é montada diariamente. Assim, tem-se para a área útil do pátio de compostagem $S_{UP}(m^2)$ a Equação 08.

$$S_{UP} = 120 \times S_{BA} \quad (\text{Equação 08})$$

Excluindo a fase de cura ou maturação, fase onde se forma ácidos húmicos e a há eliminação de patógenos, importante quando o composto é utilizado como condicionador de solo, BIDONE e POVINELLI (1999) orienta que o tempo de compostagem é da ordem de 60 a 90 dias. Se não houver mercado para o composto, não é necessário a fase de cura e o material pode ser utilizado no próprio aterro sanitário ao substituir o solo de cobertura das camadas de lixo quando se finaliza as frentes de trabalho.

A área útil S_{UP} do pátio de compostagem é apenas a área usada pelas leiras. A essa área, deve ser acrescida uma área extra para o reviramento e circulação de pessoas e equipamentos.

Os resultados para a área da base da leira $S_{BA}(m^2/dia)$ para cada equipamento e para todo o período está na Tabela 22. Nessa área, não está computada a folga necessária entre as leiras e para as demais instalações necessárias.

Tabela 22 – Resultados da área da base da leira necessária para cada equipamento selecionado.

Ano	Área da base da leira $S_{BA}(m^2)$					
	3617 APM	4719 SPM	5822 SPM SPMC	6324 SPM SPMC	7328 SPMC	10330 SPMC
2015	459	355	299	273	236	192
2016	467	361	305	278	240	195
2017	548	424	358	327	282	229
2018	665	515	434	396	343	278
2019	726	562	474	433	374	303
2020	734	568	479	437	378	307
2021	744	575	485	443	383	311
2022	752	582	491	448	387	314
2023	760	588	496	453	392	318
2024	768	594	501	457	395	321
2025	777	601	507	463	400	325
2026	785	608	513	468	404	328
2027	794	614	518	473	409	332

Ano	Área da base da leira $S_{BA} (m^2)$					
2028	801	620	523	477	413	335
2029	810	627	529	483	417	339
2030	819	633	534	488	422	342

Os resultados da área útil do pátio de compostagem $S_{UP} (m^2/dia)$ do projeto em questão considerando o tempo de 120 dias de compostagem, para cada equipamento e para todo o período está na Tabela 23.

Tabela 23 – Área útil $S_{UP} (m^2)$ do pátio de compostagem para 120 dias.

Ano	$S_{UP} (m^2)$ - 120 dias de compostagem					
	3617 APM	4719 SPM	5822 SPM SPMC	6324 SPM SPMC	7328 SPMC	10330 SPMC
2015	55.025	42.571	35.910	32.781	28.338	22.993
2016	56.025	43.344	36.562	33.377	28.852	23.410
2017	65.790	50.899	42.935	39.194	33.881	27.491
2018	79.832	61.763	52.099	47.560	41.113	33.358
2019	87.120	67.401	56.855	51.901	44.866	36.403
2020	88.095	68.156	57.491	52.482	45.368	36.811
2021	89.220	69.026	58.225	53.152	45.948	37.281
2022	90.195	69.780	58.861	53.733	46.450	37.688
2023	91.245	70.593	59.547	54.359	46.990	38.127
2024	92.145	71.289	60.134	54.895	47.454	38.503
2025	93.195	72.101	60.819	55.520	47.995	38.942
2026	94.245	72.914	61.504	56.146	48.535	39.381
2027	95.220	73.668	62.141	56.727	49.037	39.788
2028	96.120	74.364	62.728	57.263	49.501	40.164
2029	97.245	75.235	63.462	57.933	50.080	40.634
2030	98.220	75.989	64.099	58.514	50.582	41.042

A Tabela 24 mostra os resultados do mesmo cálculo, mas para 90 dias de compostagem.

Tabela 24 – Área útil S_{UP} (m^2) do pátio de compostagem para 90 dias.

Ano	S_{UP} (m^2) - 90 dias de compostagem					
	3617 APM	4719 SPM	5822 SPM SPMC	6324 SPM SPMC	7328 SPMC	10330 SPMC
2015	41.269	31.928	26.932	24.586	21.253	17.244
2016	42.019	32.508	27.422	25.032	21.639	17.558
2017	49.343	38.174	32.201	29.396	25.411	20.618
2018	59.874	46.322	39.074	35.670	30.835	25.019
2019	65.340	50.551	42.641	38.926	33.650	27.303
2020	66.071	51.117	43.118	39.362	34.026	27.608
2021	66.915	51.770	43.669	39.864	34.461	27.961
2022	67.646	52.335	44.146	40.300	34.837	28.266
2023	68.434	52.945	44.660	40.769	35.243	28.595
2024	69.109	53.467	45.101	41.171	35.590	28.877
2025	69.896	54.076	45.614	41.640	35.996	29.206
2026	70.684	54.685	46.128	42.109	36.402	29.535
2027	71.415	55.251	46.606	42.545	36.778	29.841
2028	72.090	55.773	47.046	42.947	37.126	30.123
2029	72.934	56.426	47.597	43.450	37.560	30.476
2030	73.665	56.992	48.074	43.886	37.937	30.781

Se a alternativa de compostagem for considerada, é importante ressaltar que os equipamentos que permitem maiores seção transversal máxima das leiras S_{ST} (m^2) são equipamentos muito grandes e pesados e tem de ser considerados nos critérios de decisão.

8.3.4 Segurança

PICHTEL (2014) afirma que se o material secar muito durante o processo de compostagem e ficar muito quente, combustão espontânea pode ocorrer nas leiras. O material orgânico pode sofrer ignição espontaneamente se a umidade estiver entre 25 e 45% e com temperaturas superiores a 93°C.

Desse modo, é de extrema importância que na área seja previsto um sistema contra incêndio, inclusive espaço entre as leiras para o seu acesso. Além disso, é importante prever um reservatório de água adequado.

8.3.5 Análise financeira

Os custos do maquinário envolvido nessa alternativa estão descritos na Tabela 25. Os valores foram estimados pelos Engenheiros responsáveis pela venda dos equipamentos selecionados.

Tabela 25 – Custo médio dos equipamentos.

Equipamentos	Estimativas dos valores
Triturador Terminator(2x)	R\$735.000,00
Trator pá carregadeira Changlin 937H	R\$200.000,00
Revolvedor de leira 6524 SPM SPMC	R\$525.000,00
Peneira tipo estrela XXL	R\$875.000,00
TOTAL	R\$2.335.000,00

Fonte: Feira RWM Brasil, São Paulo (2014)

8.4 Processo de compostagem por leiras estáticas aeradas

Nas leiras estáticas aeradas, a compostagem é realizada com o insuflamento de ar forçado na massa em degradação. Com isso, tornam-se necessários equipamentos de controle, bem como dispositivos adequados à perfeita difusão de ar na leira (BIDONE, 1999).

8.4.1 Equipamentos necessários

Os equipamentos necessários para o projeto são:

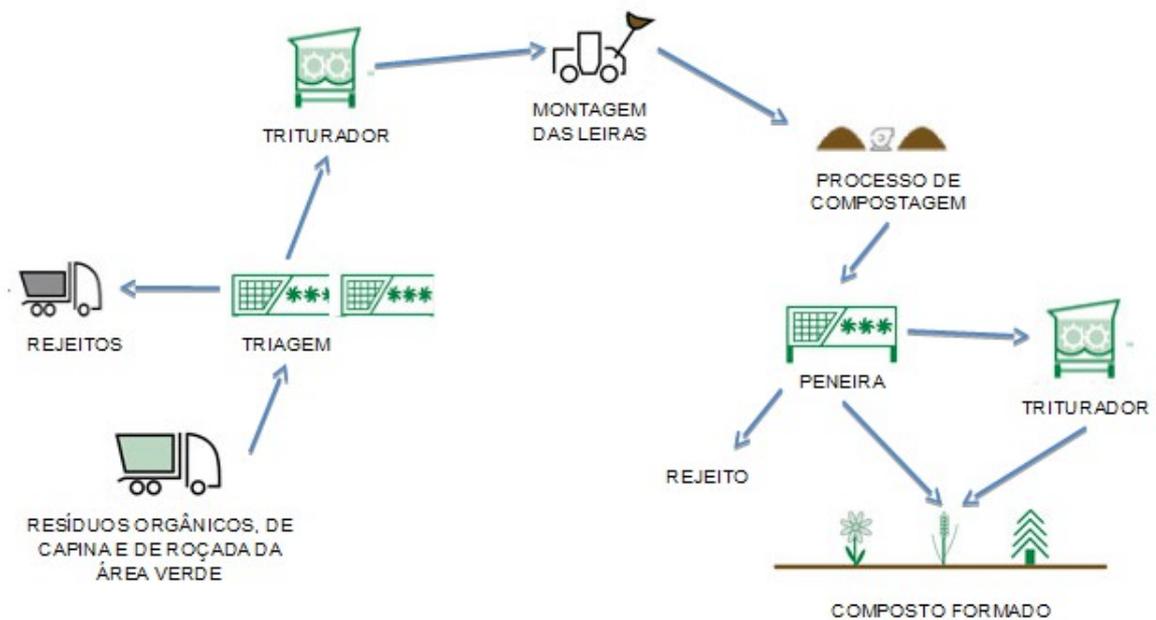
- Triturador: sua função será reduzir os resíduos sólidos a dimensões satisfatórias.
- Trator com pá carregadeira: o trator será responsável por coletar o resíduo triturado e montar as leiras.
- Tubulação para irrigação: ela será usada para levar o ar que garantirá a oxigenação ao longo das leiras. Suas especificações devem ser: PVC azul,

150 mm de diâmetro, PN40 e deverá ter furos de 2,2 mm a cada 30 cm ao longo da tubulação.

- Ventilador centrífugo: será através dele que o ar oxigenado será insuflado nas leiras estáticas. Suas especificações devem garantir uma vazão de 15 m³/s e um motor de 1,5CV.
- Peneiras: tem a finalidade de promover o peneiramento do material, separando possíveis materiais não orgânicos e os de maiores granulometrias.

A Figura 25 mostra o fluxograma do processo.

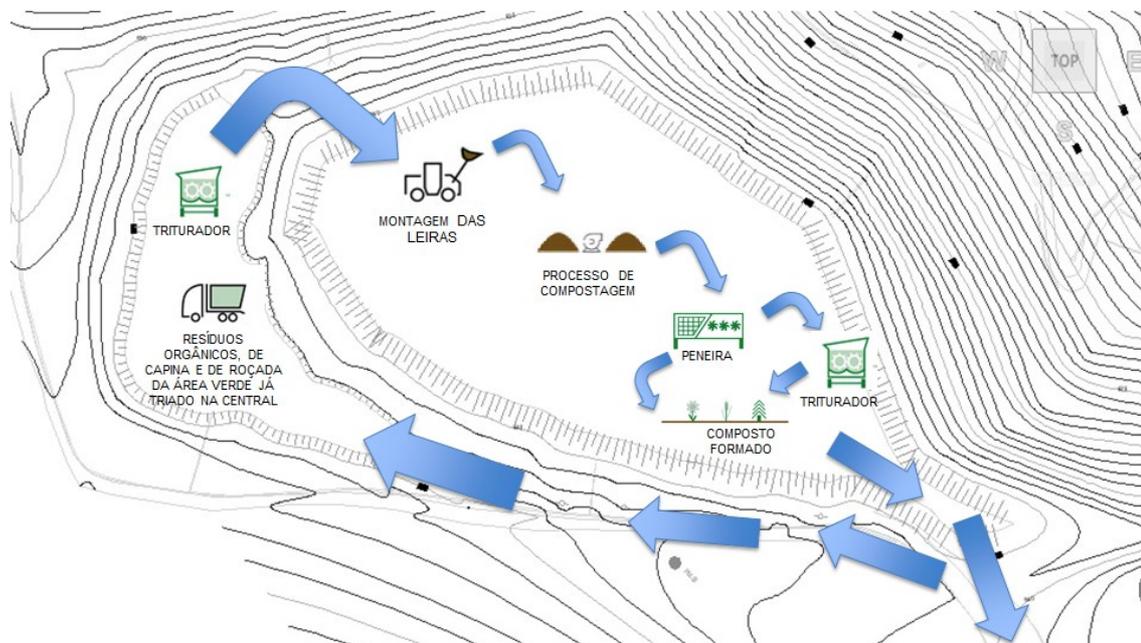
Figura 24 Fluxograma do processo de compostagem por leiras estáticas aeradas



8.4.2 Layout

A Figura 26 mostra um possível layout do funcionamento do processo.

Figura 25 – Layout do sistema de compostagem por revolvedor de leiras.



8.4.3 Área requerida

a. Cálculo das dimensões das leiras de compostagem

Diversos trabalhos procuraram descrever a experiência da compostagem como métodos de tratamento de resíduos sólidos orgânicos, os quais indicam modelos de conformação e dimensões das leiras. Segundo Peixe (2014), em sua experiência no município de Florianópolis utilizando o método desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina indica seção transversal triangular com 2,5 m de base e 2 m de altura. Avaliando o processo de compostagem utilizando podas verdes e resíduos de saneamento, (Andreoli et al, 2002) utilizou leiras com seção triangular de base 2 m e altura 1,5 m. Ao estudar um sistema operacional para manutenção do teor de água em leira de compostagem por aeração forçada de cama de frango (Conceição et al, 2014) propuseram 2 m de base e 1 m de altura para seção transversal triangular. O plano de gerenciamento de resíduos compostáveis para a morada da Universidade de Campinas (Dutra, Teixeira, 2010) formaram leiras de

seção trapezoidal com base de 1,4 m e altura 1,7 m. A apostila para gestão municipal de resíduos sólidos, feita pelo Ministério Público do Paraná recomenda leiras de seção triangular de base 1 m e altura 1,6 m (Figueira Junior, 2012) em seu projeto industrial para aeração automática de leiras, utilizou seção triangular com base 4,5 m e altura 1,8 m. A Tabela 26 mostra uma síntese desses parâmetros e uma atribuição de cenários referentes.

Tabela 26 - Síntese dos parâmetros

Cenário	Fonte	Base W (m)	Altura (m)	Seção
1	Peixe, 2014	2,5	2	Triangular
2	Anderoli et al, 2002	2	1,5	Triangular
3	Figueira Junior, 2012	4,5	1,8	Triangular
4	Conceição et al, 2014	2	1	Triangular
5	Dutra, Teixeira, 2010	1,4	1,7	Trapezoidal
6	MP Paraná	1	1,6	Triangular

Quanto ao comprimento longitudinal da leira, procurou-se uma medida a qual não prejudicasse a eficiência da aeração ao longo da tubulação. Em seu projeto industrial para aeração automática de leiras de compostagem orgânica Figueira Junior (2012) concluiu que, para uma leira de seção triangular com 4,5 m de base, 1,8 m de altura e 30 m de comprimento longitudinal, um soprador de 1,5 CV e que fornecesse 15 m³/s, insuflaria ar que proporcionaria oxigênio suficiente para manutenção do processo do compostagem de duas leiras com aquelas dimensões.

Com base nesses trabalhos, foi admitido que seriam projetadas leiras de seção triangular ou quadrada com comprimento longitudinal de 30 metros.

Utilizou-se a Equação 05 para calcular o volume das leiras $V_L(m^3/dia)$ e a partir dele, aplicando a Equação 06 para as diferentes $S_t(m^2)$, pôde-se obter os comprimentos totais de leira acumulados por dia $L(m/dia)$. A Tabela 27 mostra, ano a ano, o total de comprimento de leiras acumulado por dia para cada cenário.

Tabela 27 - L (m/dia) comprimento total das leiras por dia.

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
2015	82	136	50	204	171	255
2016	83	138	51	208	174	259
2017	97	162	60	244	205	304
2018	118	197	73	296	248	369
2019	129	215	80	323	271	403
2020	131	218	81	327	274	408
2021	132	220	82	331	278	413
2022	134	223	82	334	281	418
2023	135	225	83	338	284	423
2024	137	228	84	342	287	427
2025	138	230	85	345	290	431
2026	140	233	86	349	293	436
2027	141	235	87	353	296	441
2028	142	237	88	356	299	445
2029	144	240	89	360	303	450
2030	146	243	90	364	306	455

b. Cálculo das dimensões do pátio de compostagem:

Multiplicando esse comprimento $L(m)$ pela base da seção transversal $W(m)$ na equação 07, obteve-se a área da base $S_{BA}(m^2/dia)$ ocupada pelas leiras. A Tabela 28 mostra, ano a ano, as áreas das bases das leiras considerando cada cenário.

Tabela 28 - S_{BA} (m^2/dia) áreas das bases das leiras.

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
2015	163	204	227	408	291	255
2016	166	208	231	415	296	259
2017	195	244	271	487	348	304
2018	236	296	328	591	422	369
2019	258	323	358	645	461	403
2020	261	327	363	653	466	408
2021	264	331	367	661	472	413
2022	267	334	371	668	477	418
2023	270	338	376	676	483	423
2024	273	342	379	683	488	427
2025	276	345	383	690	493	431
2026	279	349	388	698	499	436
2027	282	353	392	705	504	441
2028	285	356	396	712	509	445
2029	288	360	400	720	514	450
2030	291	364	404	728	520	455

Assim, a área ocupada no pátio de compostagem $S_{UP}(m^2)$ pode ser calculada a partir da multiplicação da área da base das leiras por 90, que é o número de dias necessários para a conclusão do processo de compostagem por leiras estáticas (Bidone, 1999), explicitado na equação 09.

$$S_{UP} = 90 \times S_{BA} \quad (\text{Equação 09})$$

A Tabela 29 mostra as áreas ocupadas pelas leiras por 90 dias, ano a ano, obtidas para cada cenário. Não é considerado uma área de folga nessa alternativa.

Tabela 29 - S_{UP} (m^2) áreas ocupadas considerando um período de 90 dias.

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
2015	14688	18360	20400	36720	26229	22950
2016	14940	18675	20750	37350	26679	23344
2017	17532	21915	24350	43830	31307	27394
2018	21276	26595	29550	53190	37993	33244
2019	23220	29025	32250	58050	41464	36281
2020	23508	29385	32650	58770	41979	36731
2021	23796	29745	33050	59490	42493	37181
2022	24048	30060	33400	60120	42943	37575
2023	24336	30420	33800	60840	43457	38025
2024	24588	30735	34150	61470	43907	38419
2025	24840	31050	34500	62100	44357	38813
2026	25128	31410	34900	62820	44871	39263
2027	25380	31725	35250	63450	45321	39656
2028	25632	32040	35600	64080	45771	40050
2029	25920	32400	36000	64800	46286	40500
2030	26208	32760	36400	65520	46800	40950

8.4.4 Aeradores e tubulação requerida

Adotando o comprimento total de leiras $L(m/dia)$, 90 dias como tempo de residência necessário para a conclusão do processo (Bidone, 1999) e o comprimento longitudinal das leiras estabelecido de 30 metros, a equação 10 foi capaz de fornecer o número de leiras N .

$$N = \frac{L \times 90}{30} \quad (\text{Equação 10})$$

Considerando que cada leira deve ser aerada a cada 30 minutos durante 2 minutos (Bidone, 1999), pode-se estabelecer que cada aerador oxigene um grupo de 3 pares de leiras, permanecendo 10 minutos em cada uma para que haja tempo de troca entre elas. Portanto, cada aerador poderá oxigenar 6 leiras. Assim, a equação 11 determina a quantidade de aeradores necessária N_{AE} .

$$N_{AE} = \frac{N}{6} \quad (\text{Equação 11})$$

A Tabela 30 mostra, ano a ano, a quantidade de aeradores necessários ao processo em cada cenário.

Tabela 30 - N_{AE} número de aeradores necessários para cada cenário.

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
2015	41	68	25	2040	86	128
2016	42	69	26	2075	87	130
2017	49	81	30	2435	102	152
2018	59	99	36	2955	124	185
2019	65	108	40	3225	136	202
2020	65	109	40	3265	137	204
2021	66	110	41	3305	139	207
2022	67	111	41	3340	140	209
2023	68	113	42	3380	142	211
2024	68	114	42	3415	143	213
2025	69	115	43	3450	145	216
2026	70	116	43	3490	147	218
2027	71	118	44	3525	148	220
2028	71	119	44	3560	150	223
2029	72	120	44	3600	151	225
2030	73	121	45	3640	153	228

O comprimento de tubulação necessário $T(m)$ está descrito na Equação 12. É considerado 30 metros o comprimento de cada leira e 5 metros o comprimento da tubulação que liga o insuflador a cada conjunto de duas leiras.

$$T = N \times 30 + \left(\frac{N}{2}\right) \times 5 \quad (\text{Equação 12})$$

Os resultados da Equação 12 aplicados a cada cenário estão apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - $T(m)$ tubulação requerida em metros para cada cenário.

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
2015	7956	13260	4911	116280	16714	24863
2016	8093	13488	4995	118275	17001	25289
2017	9497	15828	5862	138795	19951	29677
2018	11525	19208	7114	168435	24211	36014
2019	12578	20963	7764	183825	26423	39305
2020	12734	21223	7860	186105	26751	39792
2021	12890	21483	7956	188385	27079	40280
2022	13026	21710	8041	190380	27366	40706
2023	13182	21970	8137	192660	27693	41194
2024	13319	22198	8221	194655	27980	41620
2025	13455	22425	8306	196650	28267	42047
2026	13611	22685	8402	198930	28595	42534
2027	13748	22913	8486	200925	28881	42961
2028	13884	23140	8570	202920	29168	43388
2029	14040	23400	8667	205200	29496	43875
2030	14196	23660	8763	207480	29824	44363

8.4.5 Custos de instalação

Uma estimativa de custos de instalação foi feita levando em consideração a aquisição de ventiladores centrífugos e tubulação suficiente para aerar as leiras. Em contato com diversos fornecedores de ventiladores centrífugos foi orçado um valor médio de R\$ 3000 por unidade. A Tabela 32 mostra a estimativa de custo, ano a ano, para cada cenário para aquisição de aeradores.

Tabela 32 - Custos de aquisição dos aeradores em reais (R\$).

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
2015	122400	204000	75556	6120000	257143	382500
2016	124500	207500	76852	6225000	261555	389063
2017	146100	243500	90185	7305000	306933	456563
2018	177300	295500	109444	8865000	372479	554063
2019	193500	322500	119444	9675000	406513	604688
2020	195900	326500	120926	9795000	411555	612188
2021	198300	330500	122407	9915000	416597	619688
2022	200400	334000	123704	10020000	421008	626250
2023	202800	338000	125185	10140000	426050	633750
2024	204900	341500	126481	10245000	430462	640313
2025	207000	345000	127778	10350000	434874	646875
2026	209400	349000	129259	10470000	439916	654375

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
2027	211500	352500	130556	10575000	444328	660938
2028	213600	356000	131852	10680000	448739	667500
2029	216000	360000	133333	10800000	453782	675000
2030	218400	364000	134815	10920000	458824	682500

Ao contatar empresas distribuidoras ou fabricantes de tubulação PVC, a cotação média foi de R\$16 por metro de tubulação PVC azul PN40 para irrigação. A Tabela 33 mostra, ano a ano, o custo de aquisição de tubulação por cenário.

Tabela 33 - Custos de aquisição das tubulações em reais (R\$).

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
2015	127296	212160	78578	1860480	267429	397800
2016	129480	215800	79926	1892400	272017	404625
2017	151944	253240	93793	2220720	319210	474825
2018	184392	307320	113822	2694960	387378	576225
2019	201240	335400	124222	2941200	422773	628875
2020	203736	339560	125763	2977680	428017	636675
2021	206232	343720	127304	3014160	433261	644475
2022	208416	347360	128652	3046080	437849	651300
2023	210912	351520	130193	3082560	443092	659100
2024	213096	355160	131541	3114480	447681	665925
2025	215280	358800	132889	3146400	452269	672750
2026	217776	362960	134430	3182880	457513	680550
2027	219960	366600	135778	3214800	462101	687375
2028	222144	370240	137126	3246720	466689	694200
2029	224640	374400	138667	3283200	471933	702000
2030	227136	378560	140207	3319680	477176	709800

O fluxograma da Figura 26, mostrou a necessidade de equipamentos auxiliares como: triturador, trator pá carregadeira e peneira. A Tabela 34 mostra uma estimativa de custo de aquisição desses equipamentos.

Tabela 34 - Custos de aquisição de equipamentos auxiliares em reais (R\$).

Equipamentos	Estimativas dos valores (R\$)
Triturador (2x)	735.000,00
Trator pá carregadeira Changlin 937H	200.000,00
Peneira tipo estrela XXL	875.000,00

Fonte: Feira RWM Brasil, São Paulo (2014)

8.4.6 Avaliação dos cenários de compostagem por leira estática aerada

A partir dos dados de área total ocupada no pátio e de custo de aquisição dos equipamentos, foi feita uma matriz de decisão para avaliar qual cenário se mostra mais vantajoso para a compostagem em leira estática aerada. A Tabela 35 mostra a normalização dos valores de fim de plano para área e custo $C(R\$)$ contabilizando aquisição de aeradores e tubulação.

Tabela 35 – Normalização dos valores de áreas S_{UP} (m^2) e custos C ($R\$$).

Cenário	1	2	3	4	5	6	Soma
Área Requerida (m^2)	26208	32760	36400	65520	46800	40950	248638
Normalização da área	0,105	0,132	0,146	0,264	0,188	0,165	1
Custo ($R\$$)	2055536	2352560	1885022,222	15849680	2546000	3002300	27691098,22
Normalização do custo	0,074	0,085	0,068	0,572	0,092	0,108	1

O método adotado para avaliação da matriz é a atribuição de pesos, no qual se atribuem pesos aos valores normalizados. Os pesos escolhidos foram: 3 para a área que representa a maior restrição e 2 para o custo que representa grande importância na escolha da solução. A Tabela 36 traz os pesos atribuídos aos valores normalizados.

Tabela 36 – Pesos atribuídos aos valores.

Pesos	
Área Requerida (m^2)	3
Custo ($R\$$)	2

Definidos os pesos, a Equação 13 mostra a combinação linear para a totalização T_{to} .

$$T_{to} = 3 \times S_{UP} + 2 \times C \quad (\text{Equação 13})$$

A seguir escolhe-se a totalização T_{to} que possui o menor valor, pois ela indica que seu cenário tem a menor combinação referente à área e custo de instalação. A Tabela 37 mostra essas totalizações.

Tabela 37 – Totalizações T_{to} da matriz de decisão.

Cenário	1	2	3	4	5	6
Valorização	0,465	0,565	0,575	1,935	0,749	0,711

Analisando os resultados, conclui-se que para a opção de compostagem com leiras estáticas aeradas o cenário que traz mais vantagens em termos de área e custos de instalação é o 1, o qual possui seção transversal triangular com base 2,5 metros e altura 2 metros.

8.5 Processo de digestão anaeróbia: biometanização da fração orgânica

8.5.1 Alcance do projeto

A solução técnica para o tratamento da fração orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos – RSU contará com uma nova área, sem as restrições imposta pela atual infraestrutura disponível da URBAM. Desse modo, em vistas de otimizar o projeto, será considerado um alcance de projeto, que será até o ano de 2040, e um plano de coleta que visará coletar até 90% da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos – FORSU.

8.5.2 Plano de coleta seletiva municipal para o novo alcance do projeto

O novo plano de coleta seletiva municipal neste projeto será mais agressivo, objetivando a coleta de pelo menos 90% da FORSM.

A implementação de políticas públicas municipais e educação ambiental, por exemplo, funcionam como meios de obter esses valores. Além disso, o novo horizonte do plano e a experiência da população com a coleta seletiva atual (que não contempla a segregação da FORSM) facilitará o alcance dessa meta.

8.5.3 Linha de pré-tratamento

Apesar da coleta ser seletiva orgânica, ainda há contaminantes e grosseiros, como sacolas plásticas, inertes, entre outros no junto com a FORSM, que podem corresponder a um valor de 2% do material coletado, conforme FLOR (2006). Esse material deve ser evitado, pois pode atrapalhar a operação do biodigestor, como a diminuição do volume útil do reator, obstruções, problemas de manutenção nas bombas e outros equipamentos, diminuindo assim o rendimento da operação. Desse modo, se faz necessário a linha de pré-tratamento, que segregará o resíduo proveniente da coleta seletiva orgânica em FORSM, recicláveis e rejeitos.

É importante salientar que o pré-tratamento é uma etapa decisiva para o sucesso do sistema de metanização e por isso deve ser muito bem operada.

8.5.4 Fases da linha

O início de plano considerará 25 t/dia de resíduos da coleta seletiva para alimentar o sistema de pré-tratamento. Para o fim de plano, é considerado 750 t/dia. Considerando uma jornada de trabalho de 16 horas diária (dois turnos de 8 horas), a capacidade máxima de alimentação da linha deverá comportar em torno de 50t/h.

A experiência em Madri, no Parque Tecnológico de Valdemingómez, segundo o projeto de Biometanização de Las Dehesas disponível no site da prefeitura, será referência para o projeto da linha de pré-tratamento.

Fases principais:

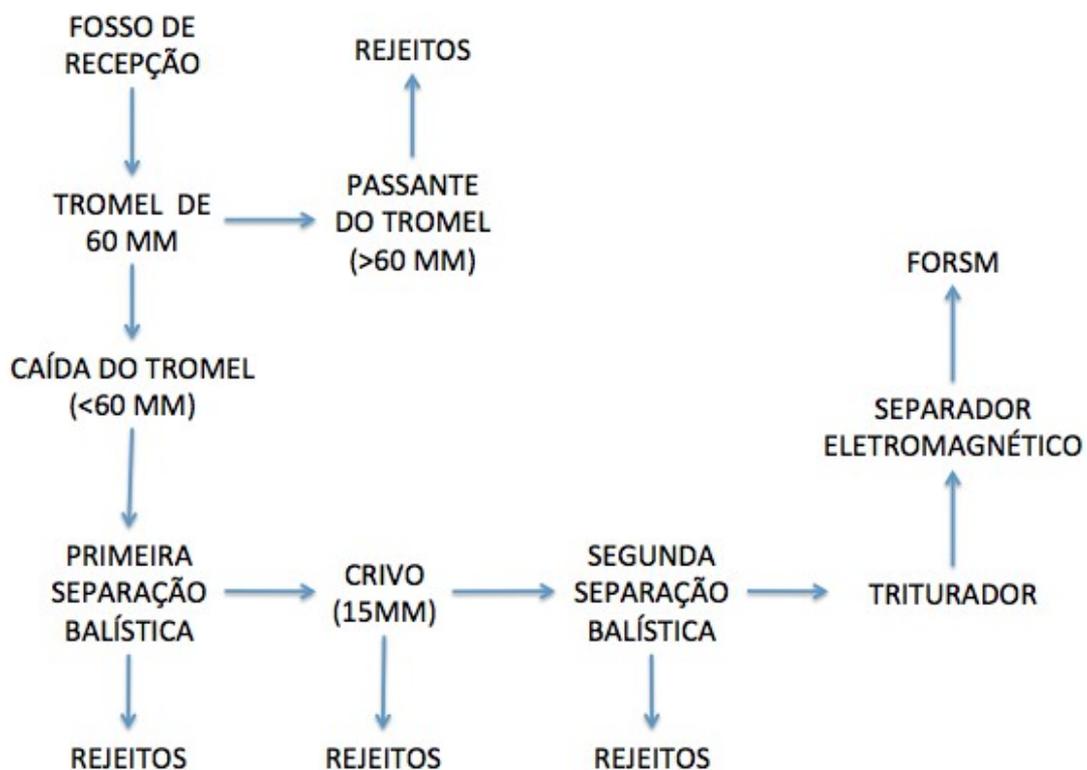
- Caminhão basculante armazenará o resíduo orgânico de coleta seletiva em um fosso de recepção. Esse fosso de recepção deve possuir solo impermeabilizado e uma inclinação mínima de 3% para coleta do lixiviados que será drenado.
- Guindaste tipo “Clamb shell” será responsável por retirar o resíduo do fosso para a correia primária de alimentação.
- Transporte dos resíduos será feita por esteiras rolantes com motores elétricos.
- Da correia primária, o resíduo irá para o tromel de 60 mm, separando o resí-

duo em passante do tromel (>60 mm, geralmente composto por plásticos, papêes e papeis) e caída o tromel (<60 mm). É previsto estruturas em chapa de ferro pontiagudas a ser instalado ao longo do tromel. O material passante do tromel será considerado rejeito.

- Primeira separação balística, retirando fração de material inorgânico impróprio para a biometalização. Essa fração será considerada rejeito.
- Crivos vibratórios de 15 mm: frações menores que 15 mm serão consideradas rejeitos. Geralmente são constituídas de areia, vidro moídos e cerâmicos.
- O material maior que 15 mm passará por uma segunda separação balística.
- O material então será triturado e será destinado a um fosso, sendo então denominado de FORSM. Durante esse trajeto, está previsto na correia um separador eletromagnético tipo *overband*, para extração e recuperação de materiais ferrosos da linha de pré-tratamento.
- Correias transportarão os rejeitos até caçambas para posterior descarte.

A Figura 27 demonstra a linha de pré-tratamento.

Figura 26 - Resumo do sistema de pré-tratamento



8.5.5 Parâmetros do Processo

Os parâmetros de processo foram baseados nos parâmetros selecionados pela Deflor Bioengenharia – defesa florestal LTDA. em seu projeto “Projeto Conceitual de um Modelo de Reator Anaeróbio para a Biometanização da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos e de Resíduos Industriais no Estado de Minas Gerais”. Além desse projeto, os parâmetros importantes também têm como respaldo o trabalho de VERMA (2002).

8.5.5.1 Resíduo de entrada

- Teor de Sólidos Totais – ST, de Sólidos Voláteis – SV e vazão: importante para determinar e avaliar parâmetros como a carga orgânica aplicada, taxa de degradação da matéria orgânica, rendimento da produção de biogás.
- Composição gravimétrica; avaliar a eficiência do sistema de pré-tratamento e também quantificar a quantidades de materiais impróprios entram no sistema de digestão.
- Temperatura: controle da faixa de operação mesofílica ou termofílica.

8.5.5.2 Lodo em digestão

- pH, capacidade tampão do meio, Concentração de Ácidos Graxos Voláteis – AGV: avalia a estabilidade do processo biológico
- Teor de SV; permite determinar o rendimento do reator (Kg de SV/m³ dige- tor.d), taxa de degradação da matéria orgânica (%SV eliminados), rendimento da produção de biogás (Nm³ biogás / kg de SV degradado).
- Teor de ST: permite definir o tempo de residência de acordo com o estipulado no projeto.
- Percentual de inertes: representa a taxa de inertes acumulado no reator.
- Temperatura: controle da faixa de operação mesofílica ou termofílica.

8.5.5.3 Biogás

- Teor de CH₄ e sua vazão: avalia a estabilidade do processo biológico e a concentração de CO₂ no biogás.
- Teor de H₂S; monitoramento do processo de sulfuração.
- Vazão.
- Pressão: continua monitoramento ajusta aos valores de trabalho requeridos no sistema de aproveitamento do biogás.

8.5.5.4 Sólidos do Processo de Desidratação

- Teor de SV: determina o processo de pós-tratamento (compostagem ou secagem).
- Teor de ST: avalia a eficiência do processo de desidratação.

8.5.5.5 Líquidos do Processo de Desidratação

- Teor de ST, de SV e DQO: determina e avalia os principais parâmetros de operação do digestor secundário, como por exemplo: carga orgânica aplicada (kg de SV / m³ reator.d), rendimento do reator (m³ biogás / kg de SV degradado), taxa de degradação da matéria orgânica (ST, SV) e rendimento da produção de biogás (Nm³ biogás / kg de SV introduzido).
- Teor de Sólidos Fixos – SF: determina a quantidade de impróprios sedimentáveis no material de alimentação do reator.
- Amônia e vazão: define a quantidade de entrada do líquido no digestor.

8.5.6 Unidade de Metanização

A biometanização proposta será através de um processo de tratamento anaeróbio de matéria orgânica baseado na tecnologia via seca VALORGA.

A fermentação anaeróbia acontecerá em regime mesófilo (37- 40 °C).

O composto formado será usado para um tratamento final de compostagem aeróbia. Além disso, haverá a produção de um gás rico em metano com poder calorífico suficiente para ser valorizado energeticamente.

A proposta em questão tem como fundamentos os parâmetros da planta de biometalização, que utiliza a tecnologia VALORGA em seu processo, de Las Dehesas e La Paloma, do Parque Tecnológico de Valdemingómez, em Madri, Espanha.

8.5.7 Metanização – VALORGA

8.5.7.1 Cálculo do número de digestores

O projeto da Deflor Bioengenharia LTDA. considera que a planta de pré-tratamento aproveitará 80% em volume do resíduo da coleta seletiva. Desse modo, calculou-se o volume de FORSM que alimentará o sistema. Definindo um tempo de detenção hidráulica de 21 dias e volume útil do digestor de 3.000 m³, pode-se calcular o número de digestores necessários para todo o alcance do projeto. Para cada ano, foi adicionado um digestor que servirá de reserva, satisfazendo o plano de manutenção. Também considerou-se um fator de segurança no valor de 1,15. A Tabela 38 mostra os resultados.

Tabela 38 - Cálculo do número de biodigestores ao longo do período.

Ano	Matéria orgânica a ser coletada através do plano de coleta (t/dia)	Volume correspondente (m ³ /dia)	Volume necessário para 21 dias de detenção hidráulica (m ³)	Número de biodigestores (Cada biodigestor de 3.000 m ³)
2015	25	28	543	2
2016	37	41	800	2
2017	155	172	3.317	2
2018	323	359	6.932	3
2019	411	457	8.823	4
2020	422	469	9.062	4
2021	436	484	9.350	4
2022	448	498	9.612	4
2023	460	511	9.874	4
2024	471	523	10.106	4
2025	484	538	10.393	4
2026	496	551	10.651	5
2027	508	565	10.908	5
2028	519	576	11.134	5
2029	532	591	11.419	5
2030	544	604	11.673	5

Ano	Matéria orgânica a ser coletada através do plano de coleta (t/dia)	Volume correspondente (m^3/dia)	Volume necessário para 21 dias de detenção hidráulica (m^3)	Número de biodigestores (Cada biodigestor de $3.000 m^3$)
2031	556	617	11.926	5
2032	566	629	12.145	5
2033	579	643	12.429	5
2034	591	656	12.679	5
2035	602	669	12.929	5
2036	612	680	13.141	5
2037	625	695	13.425	5
2038	637	708	13.672	6
2039	648	720	13.918	6
2040	658	731	14.124	6

Desse modo, verifica-se que no início de plano, deverá haver dois digestores e no final de plano esse número sobe para seis.

8.5.7.2 Características do biometanizador

O digestor terá as seguintes características:

- Processo será em uma única etapa sem fermentação prévia e com alto teor de matéria seca, sendo essa quantidade definida de aproximadamente 30%.
- A introdução da mescla será feita por uma bomba de pistão horizontal.
- Sistema de agitação pneumática para a homogeneização com recirculação do biogás produzido.
- Dispositivo de segurança. A cobertura está equipada com duas estruturas em forma de T, de aço inoxidável, cada uma provida de dois discos de ruptura, um de alta pressão (120 *milibar*) e outro de vácuo (-40 *milibar*).

8.5.7.3 Linha de metanização

A linha de metanização, com tecnologia via seca, consta das seguintes etapas:

- Dispositivos de pesagem contínuo e automático integrado às correias de alimentação do sistema;
- Equipamento de mistura para diluir a matéria orgânica com a água do processo, homogeneizando a mescla e aquecendo-a até a temperatura do projeto. A

parte final do equipamento é constituída por um parafuso fixo que alimenta a bomba de impulsão da mescla ao biodigestor. A regularização da mescla se realiza a partir de uma tremonha com uma bomba volumétrica equipada com um variador de velocidade eletrônico. A diluição deverá ser de 30% de matéria seca. O aquecimento do material se realiza automaticamente mediante a injeção de vapor no misturador.

- Caldera alimentada pelo gás produzido no processo ou por gás propano procedente de um reservatório de 10.000 L quando há paradas ou partida do processo.
- Duas bombas de pistão para alimentar os digestores. As bombas de impulsão são como aquelas de bombeamento de concreto.
- Duas bombas de recirculação.
- Sete digestores cilíndricos verticais de concreto armado resistente a sulfatos conforme a norma NBR/ABNT 5737:1992, com diâmetro interno de 16,5 m , uma altura de 18,5 m e volume de 3.600 m³ de capacidade, sendo 3.000 m³ de volume útil aproximadamente.
- Sistema central de controle que regular os parâmetros de metanização e as condições de diluição, aquecimento e homogeneização da mescla, que alimenta os digestores, em função da temperatura e análise físico-químicas contínuas dos resíduos e efluentes.
- Condução do biogás até a planta de tratamento mediante tubos de 330mm de diâmetro externo e cabeamento para comunicação.
- Equipamento de desidratação do material digerido – prensa de parafuso.
- Equipamentos de clarificação dos efluentes extraídos da prensa previamente armazenados em tanques enterrados. Seu transporte se dará por bombas volumétricas que garante uma vazão regular. Uma parte desse líquido será recirculada no processo e o resto será enviado para o tratamento.
- O resultado da linha de desidratação é uma matéria seca de 47% no subproduto de aspecto sólido e um subproduto líquido com conteúdo de matéria seca ao redor dos 3%.
- Gasômetro: é responsável por acumular e regular a pressão do biogás para o envio à planta de tratamento. É composto por membranas e deverá ser em poliéster termo soldada, resistente a sulfatos, raios UV, ataque químico dos componentes do biogás e baixo grau de inflamabilidade, conforme recomendado pela Deflor Bioengenharia LTDA.
- Compressores de pistão horizontal para recirculação do biogás ao sistema de agitação dos digestores. Os compressores funcionarão de forma contínua e

por isso deve ser previsto um compressor reserva, além de um sistema de refrigeração.

- Sopradores que enviam o biogás para a planta de tratamento. Em caso de detecção de fuga do gás, a válvula de segurança é fechada.
- Misturador para mesclar o material digerido com material estruturante. Esse material resultante será enviado para a planta de compostagem. É importante haver um misturador reserva.
- O material estruturante pode ser proveniente do resíduo de áreas verdes.

8.5.7.4 Tratamento de odores

A planta de metanização é provida de uma instalação de desodorização que mantém uma pressão negativa nas naves de processos de pré-tratamento, metanização e fossos de acúmulo de resíduos. A finalidade é evitar emitir maus odores da planta para a região, pois assim a aceitação do projeto é maior.

Também haverá tomadas individuais de cada equipamento que produz odor na nave de metanização.

A rede de desodorização será composta por dutos de polipropileno, tomadas de ar, válvula de regulação da vazão e sistema de aspiração mediante ventilador centrífugo.

O funcionamento será o seguinte: o ventilador de aspiração impulsiona o ar extraído até os túneis de compostagem para servir como fonte de aporte de oxigênio. Posteriormente, haverá depuração e limpeza do ar por *scrubbers* e biofiltros.

Para as dimensões da planta, a ordem de depuração é de 50.000 m^3 .

8.5.7.5 Tratamento do Biogás

A planta do Parque Tecnológico de Valdemingómez tem capacidade máxima de 4.000 Nm^3/h para o tratamento de biogás procedente da planta de metanização de La Paloma e Las Dehesas, que juntamente tratam em média 300.000 toneladas de FORSM por ano.

Desse modo, como o final de plano para a planta de São José dos Campos prevê uma quantidade de uma ordem de 250.000 toneladas anuais, o método e o plano de tratamento será embasado na experiência da Espanha.

A tecnologia empregada se baseia em ciclos de pressão e temperatura que permitem depurar o biogás. O objetivo é maximizar a concentração de metano e eliminar os componentes não valorizadas e prejudiciais para ser usado como combustível.

O sistema é modular e cada módulo trata $2.000 \text{ Nm}^3/h$. Essa capacidade pode ser ampliada ao associar os módulos em paralelo de acordo com a necessidade.

As etapas do tratamento, equipamentos e instalações necessárias são:

- Antes de entrar nos processos de tratamento, o biogás passa por um separador de condensados e partículas que faz a primeira função de filtro. A pressão máxima de saída é de 0,25 bars. Logo após, o biogás é comprimido por um compressor em duas etapas: na primeira etapa a pressão se eleva e depois é esfriado. Assim, evita-se excessos de temperatura e aumenta a absorção do processo de lavagem que será executada posteriormente.
- O biogás comprimido é introduzido na parte inferior do lavador *scrubber* metálico, circulando contra a corrente de água. A água absorve a maior parte do gás sulfídrico e gás carbônico, saindo na parte inferior para os ciclos de recuperação.
- Na parte superior do *scrubber* sai o biogás depurado e saturado em humidade, sendo necessário passar por um sistema de secagem.
- O sistema de secagem consiste em um secador duplo da tecnologia *Pressure Swing Adsorption –PSA e Temperatura Swing Adsorption –TSA*.
- O gás lavado poderá ser comercializado, sendo introduzido na rede de distribuição ou envazado.

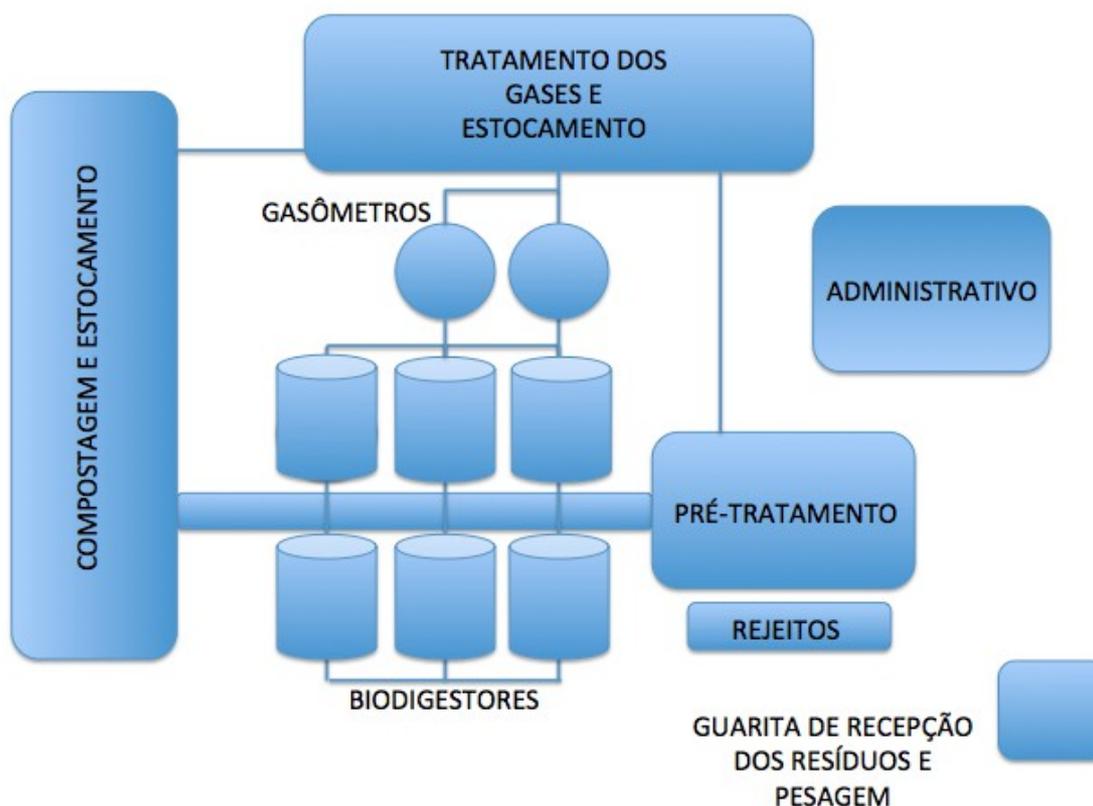
Em São José dos Campos e em sua região existem muitas indústrias e por isso a venda desse gás terá utilização. Como provém do processo de metanização, a região rumará para a sustentabilidade.

A operação no Parque Tecnológico de Veldemingómez garantiu uma geração de 127 Nm^3 de biogás para cada tonelada de resíduo que entra nos digestores, com um tempo de detenção de 21 dias.

8.5.8 Layout

A Figura 28 mostra um possível *layout* do sistema.

Figura 27 - Possível layout do sistema



8.5.9 Operação

Antes da operação, haverá a pré-operação da planta de biometalização que será dividida em duas fases:

- Fase A: Provas de operação da planta até estabilizar o funcionamento de todos os digestores e provas de rendimento através de diferentes condições de composição da FORSM, temperatura, número de dias de fermentação, provas de esvaziamento de um dos digestores, entre outros.
- Fase B: Estabelecimento e comprovação das condições ótimas para a exploração da planta.

A duração dessas etapas será de 3 anos. Nesse tempo, é possível implementar de maneira satisfatória a coleta seletiva, estabelecer os elementos operativos, especializar a mão-de-obra e operar um digestor em regime estacionário e um vazio, além de deixar totalmente operativa a planta de tratamento de biogás. É importante esse tempo para implementação da tecnologia e toda a rotina do sistema, bem como a recolha dos dados importantes para operar e estabilizar o processo. No Parque Tecnológico de Veldemingómez esse tempo foi necessário, mesmo em um país onde a tecnologia já está consolidada

Uma vez finalizado essas etapas de implementação, a operação se inicia de forma integral. É previsto que a planta de metanização funcionará durante três turnos de oito horas cada: manhã, tarde e noite, incluindo domingo e dias festivos. O total de horas anuais alcançará 8.760 *h/ano* .

A recepção de resíduos e pré-tratamento acontecerá de segunda a sábado, pela manhã e pela tarde.

A desidratação do digesto será de segunda a sábado nos turnos da manhã e da tarde.

O processo de metanização (digestão anaeróbia, armazenamento, envio e tratamento de gás) funcionará 365 dias por ano e por 24 horas por dia. Os digestores funcionarão minimamente os elementos de controle, injeção e recirculação nos turnos da noite e de domingo.

A condução de biogás entre as plantas de tratamento e o centro de recepção do gás depurado acontecerá 24 horas por dia durante 365 dias por ano.

O tratamento de odores funcionará 24 horas por dia durante 365 dias por ano.

A programação operativa deve ser ajustada de maneira que se trate a totalidade dos resíduos que entram na planta, mantendo sempre os minimamente armazenados resíduos sem tratamento.

8.5.10 Compostagem do digerido

A compostagem será em túneis de fermentação e maturação aeróbia. Após a desidratação do digesto, um composto de aspecto sólido com 47% de massa seca estará formado. Um triturador homogeneizador é previsto para mesclar o digesto

com o material estruturante. O material estruturante será o resíduo proveniente da poda e campina.

A compostagem será aerada pelo sistema de desodorização cujos ventiladores de aspiração impulsionará o ar extraído até os túneis de compostagem.

8.5.11 Análise financeira

A análise financeira exata só seria possível solicitando orçamento para a empresa que detém a tecnologia VALORGA, VALORGA INTERNATIONAL S.A.S.

No entanto, é possível verificar o valor de implantação de outras plantas existentes.

Foi feito um estudo de investimento de diversas plantas de biometanização que está resumida na Tabela 39.

Tabela 39 – Resumo das plantas de biometanização.

Características	Planta Tilburg - Holanda	Planta Hannover - Alemanha	Planta Eco-parc 2 - Espanha	Planta Las Dehesas - Espanha
Capacidade (t/ano)	52000	200000	240000	475000
Número de digestores	2	3	3	6
Capacidade dos digestores (m ³)	3300	4200	4500	3600
Produção de biogás (Nm ³ /t)	85	-	-	-
Produção de biogás (m ³ /t)	50	130	114	130
Quantidade de composto gerado (t/ano)	28000	-	-	-
Investimento da planta (€)	18000000	63000000	51000000	67500000

Fonte: EGF(2006) e Valorga (2010)

A Tabela 40 descreve o investimento pela capacidade de tratamento de resíduos da planta. Será usado o valor médio das três unidades para se estimar o valor da planta de biometanização para o município de São José dos Campos.

Tabela 40 – Estimativa da relação entre a média de investimento pela capacidade da planta

Características	Planta Tilburg - Holanda	Planta Hannover - Alemanha	Planta Eco-parc 2 - Espanha	Planta Las Dehesas - Espanha
Capacidade (t/ano)	52000	200000	240000	475000

Características	Planta Tilburg - Holanda	Planta Hannover - Alemanha	Planta Eco-parc 2 - Espanha	Planta Las Dehesas - Espanha
Investimento da planta (€)	18000000	63000000	51000000	67500000
Investimento por massa de resíduo (€/t/ano)	346	315	213	142
MÉDIA (€/t/ano)	254			

Para o final de plano, em 2040, foi projetado uma capacidade de aproximadamente 240 t/ano de tratamento de matéria orgânica para o município de São José dos campos. Assim o custo estimado para a planta de biometanização do município é de 254 (€/t/ano) x 240 (t/ano) = 61.000.000 € (61 milhões de euros).

8.6 PARA UTILIZAÇÃO DO GÁS METANO E COMPOSTO FINAL

O composto produzido a partir dos processos de compostagem gera um composto orgânico com características de condicionadores de solo. Desse modo, para encadear o composto num processo sustentável, é importante verificar sua utilização.

Em contato por e-mail com a Fibria Celulose, empresa que possui grande área de florestamento no Vale do Paraíba, o funcionário Danilo Vergilio informou que a empresa já tentou implantar o processo de compostagem, entretanto as maiores barreiras foram a dificuldade para aplicação do composto nas florestas devido às operações em campo serem em sua maioria mecanizadas e se localizarem em um relevo acidentado. Além disso, outro motivo apontado por ele foi o frete para outras regiões.

Ainda que São José dos Campos esteja em uma região que experimenta um crescimento na agricultura e esteja circundada de cidades que possam receber esse composto para utilização como condicionante de solo em áreas verdes de parques e arborização, não se pode garantir o interesse desses potenciais consumidores.

Além do composto produzido na compostagem, haverá a produção de gás metano proveniente do processo de biodigestão.

O campo industrial joseense possui várias indústrias de variados segmentos. Olhando para o Vale do Paraíba como um todo, é possível identificar ainda mais indústrias das quais se destacam as do setor siderúrgico e metalúrgico com empresas como a Gerdau, CSN e Petrobras. Essas empresas possuem altos fornos

que precisam de uma matriz energética para manter as atividades. Nesse caso o metano serve como combustível e pode entrar no processo.

Seguindo plantas europeias, as quais também geram esse gás, pode-se ter como alternativa a utilização do metano na rede de gás do município, gerando renda.

Cabe ressaltar que, devido a impossibilidade jurídica de geração de energia a partir de termelétrica no município de São José dos Campos, não há a possibilidade da venda de energia para o sistema de distribuição elétrico.

9. ESCOLHA DA SOLUÇÃO

Para avaliar as alternativas em relação a todos os critérios escolhidos, adotou-se o método da Matriz de Decisão, que consiste em apontar a alternativa que tem o melhor desempenho pela maior média ponderada obtida na avaliação de cada critério com seus respectivos pesos.

A Matriz de Decisão está na Tabela 41 e as respectivas justificativas na Tabela 42.

Tabela 41 - Matriz de Decisão para a escolha da melhor alternativa.

		Critérios de Análise						TOTAL
		Área necessária	Ganho na vida útil do aterro sanitário	Utilidade dos produtos gerados	Aceitação dos produtos gerados no mercado	Custo médio de aquisição dos sistemas	Horizonte do projeto	
Pesos		5	5	4	4	3	5	
Alternativas	Compostagem - revolvedor de leira	1	1	2	1	3	1	36
	Compostagem - leira estática aerada	2	1	2	1	3	1	41
	Digestão Anaeróbia	3	3	3	3	1	3	72

Tabela 42 - Justificativa para as notas atribuídas.

	Justificativas para as notas		
	Compostagem - revol-vedor de leira	Compostagem - leira estática aerada	Digestão Anaeróbia
Área necessária	Requer uma grande área, considerada a área da alternativa. Não é possível utilizar o topo do aterro nessa alternativa.	Requer uma grande área, considerada a área da alternativa. É possível utilizar o topo do aterro nessa alternativa só até 2018, incluindo as folgas.	No cenário considerado não há limitação de área para a quantidade de resíduo considerado. Não é possível utilizar o topo do aterro nessa alternativa.
Ganho na vida útil do aterro sanitário	O cenário considera o tratamento de 50% da FORSM e 100% dos resíduos de capina e roçada. A outra parte seria aterrada.	O cenário considera o tratamento de 50% da FORSM e 100% dos resíduos de capina e roçada. A outra parte seria aterrada.	O cenário considera o tratamento de 90% da FORSM e 100% dos resíduos de capina e roçada. Somente os rejeitos seriam aterrados.
Utilidade dos produtos gerados	Gera somente condicionante de solo que pode ser usado na agricultura ou manutenção de áreas verdes.	Gera somente condicionante de solo que pode ser usado na agricultura ou manutenção de áreas verdes.	Gera gás metano que pode ser utilizado nas indústrias da região ou para geração de energia elétrica. Gera também condicionante de solo em menor quantidade.
Aceitação dos produtos gerados no mercado	Não há oportunidade de demanda garantida do composto no mercado.	Não há oportunidade de demanda garantida do composto no mercado.	As indústrias tem grandes demandas energéticas a serem atendidas.
Custo médio de aquisição dos sistemas	A estimativa é da ordem de R\$ 2.335.000	A estimativa é da ordem de R\$ 2.055.536	A estimativa é da ordem de 61.000.000 €
Horizonte do projeto	O cenário utiliza 50% da FORSM e 100% dos resíduos de capina e roçada.	O cenário utiliza 50% da FORSM e 100% dos resíduos de capina e roçada.	O cenário utiliza 90% da FORSM e 100% dos resíduos de capina e roçada.

Após a análise dos cenários e em função dos modelos propostos verifica-se que não houve possibilidade do aproveitamento do terreno disponível na atual área da ETRS da URBAM. Quando possível, como no caso de compostagem por leira estática aerada, o dimensionamento do sistema se mostra suficiente por poucos anos, não satisfazendo um alcance satisfatório de projeto.

Desse modo, a melhor alternativa para se tratar a matéria orgânica é realizando a biodigestão da matéria orgânica através do processo de biometanização e a posterior compostagem do material resultante, considerado um horizonte de projeto para 2040 e o tratamento de 90% da FORSM e 100% dos resíduos de capina e roçada. O produto final será um gás rico em metano que será tratado e depois distribuído, além de um composto condicionador de solo em menor quantidade, conforme previsto no projeto do sistema. O gás rico em metano tem extrema importância energética e seria estratégico para o expressivo setor industrial da região.

A alternativa de compostagem só se tornaria viável se existisse mercado para o composto, que é produzido em grande quantidade e cujo sistema de tratamento exige uma área extensa. Além disso, a alternativa seria relevante se pudesse ser implantada na atual área da ETRS, o que não se mostrou possível.

A atual área da ETRS inviabilizou qualquer cenário estudado para o tratamento da FORSM em quantidade que traria um benefício para o ganho da vida útil do aterro sanitário. Como será concebida uma nova área, é importante considerar a alternativa que melhor seja absorvida na região. Desse modo, a digestão anaeróbia pelo processo de biometanização deve ser considerada, conforme verificada na Matriz de Decisão.

10. GANHOS PARA A VIDA ÚTIL DO ATERRO

O cálculo da nova vida útil será feito com base na alternativa escolhida.

A alternativa de biometanização foi projetada para que haja uma coleta seletiva com 90% de resíduos orgânicos e 100% de resíduos de poda e capina.

Uma vez quantificada a matéria orgânica que não será aterrada, foi possível calcular a nova quantidade de resíduo que será destinado ao aterro sanitário e assim calcular o novo valor de $T(t/ano)$. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 25.

Tabela 43 – Cálculo da nova quantidade de resíduo a ser aterrado e de $T(t/ano)$.

Ano	Matéria orgânica a ser coletada através do plano de coleta 90% (t/ano)	Capina e Roçada de áreas verdes públicas (t/ano)	Massa total que não irá para o aterro (t/ano)	Massa que seria aterrada (t/ano)	Massa que irá para o aterro $T(t/ano)$
2015	9.234	47.774	57.008	252.023	195.015
2016	13.646	47.774	61.420	260.700	199.280
2017	56.397	47.774	104.171	269.357	165.186
2018	117.864	47.774	165.638	277.990	112.352
2019	150.016	47.774	197.790	286.597	88.807
2020	154.507	47.774	202.281	295.176	92.895
2021	158.982	47.774	206.756	303.725	96.969
2022	163.440	47.774	211.214	312.242	101.028
2023	167.881	47.774	215.655	320.727	105.072
2024	172.305	47.774	220.079	329.178	109.099
2025	176.711	47.774	224.485	337.596	113.111
2026	181.100	47.774	228.874	345.980	117.106
2027	185.471	47.774	233.245	354.331	121.086
2028	189.824	47.774	237.598	362.647	125.049
2029	194.160	47.774	241.934	370.931	128.997
2030	198.479	47.774	246.253	379.182	132.929
2031	202.781	47.774	250.555	387.401	136.846
2032	207.067	47.774	254.841	395.588	140.747
2033	211.336	47.774	259.110	403.745	144.635
2034	215.591	47.774	263.365	411.873	148.508
2035	219.830	47.774	267.604	419.971	152.367
2036	224.055	47.774	271.829	428.043	156.214
2037	228.265	47.774	276.039	436.086	160.047
2038	232.462	47.774	280.236	444.105	163.869
2039	236.646	47.774	284.420	452.098	167.678
2040	240.818	47.774	288.592	460.068	171.476

Assim como feito anteriormente, fez-se o balanço verificando anualmente quanto de vida útil ainda restava para o aterro sanitário e quanto do seu volume ainda estaria disponível. A Tabela 26 descreve os resultados encontrados.

Tabela 26 – Decaimento da vida útil do aterro sanitário com a implementação da alternativa proposta.

Ano	VU (anos)	$V_{at} (m^3)$	% de volume disponível no aterro sanitário
	Volume inicial:	2.444.705	
2015	13	2.228.022	91%
2016	12	2.094.652	86%
2017	14	1.999.164	82%
2018	20	1.962.381	80%
2019	26	1.951.759	80%
2020	24	1.936.595	79%
2021	23	1.916.903	78%
2022	22	1.892.702	77%
2023	21	1.864.008	76%
2024	20	1.830.839	75%
2025	19	1.793.212	73%
2026	17	1.751.147	72%
2027	16	1.704.659	70%
2028	15	1.653.768	68%
2029	14	1.598.490	65%
2030	14	1.538.843	63%
2031	13	1.474.844	60%
2032	12	1.406.511	58%
2033	11	1.333.858	55%
2034	10	1.256.901	51%
2035	9	1.175.656	48%
2036	8	1.090.137	45%
2037	7	1.000.359	41%
2038	6	906.335	37%
2039	6	808.078	33%
2040	5	705.602	29%

É importante ressaltar que a VU (ano) é feita com base na quantidade de resíduos a ser enterrado naquele ano. Por exemplo, no ano de 2015 é esperado em torno de 195.000 toneladas de resíduos, que ocupar 9% do volume ainda disponível. Se manter constante esse valor, o aterro sanitário ainda terá uma vida útil de 13 anos a partir de 2016.

Até o ano de 2018 estará acontecendo a implementação do plano de coleta seletiva e por isso a VU tem um valor máximo e depois começa a decair, mostrando a consolidação das políticas de gestão dos resíduos no município.

Analisando a tabela, nota-se que para o final de plano, ainda restaria 29% do volume hoje disponível.

11. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o dimensionamento do tratamento da fração orgânica do resíduo sólido do município de São José dos Campos para dois cenários. O primeiro para a compostagem da matéria orgânica preferencialmente na área da ETRS da URBAM, com 50% de FORSM da coleta seletiva e 100% do resíduo de capina e roçada. O segundo cenário para biometanização, pela tecnologia Valorga, da matéria orgânica do RSU, sendo 90% de FORSM da coleta seletiva e 100% do resíduo de capina e roçada, para um alcance de projeto até 2040.

Com base nos resultados obtidos, foi feita uma matriz de decisão e o segundo cenário foi o melhor avaliado.

A compostagem necessitaria de grande quantidade de área e o topo do aterro não seria suficiente. Foi necessário analisar outras possibilidades de área dentro município de São José dos Campos para viabilizar essa alternativa. Além disso, o produto da compostagem é um composto condicionante de solo, e essa alternativa em uma nova área só se justifica se houver um grande mercado do composto.

Apesar de um elevado custo de implementação, avaliado em 61.000.000 €, a biometanização gera um gás rico em metano que é tratado e distribuído, sendo uma estratégica fonte de energia para o expressivo setor industrial presente na região, além de reduzir os impactos ambientais e valorizar os resíduos do município.

O estudo mostrou que aplicar o cenário escolhido (isto é, o segundo deles), aumenta a vida útil do aterro sanitário da URBAM. No fim de plano desse cenário – 2040 –, ainda restaria 29% do volume atualmente disponível para o aterramento de resíduos.

Com o conhecimento de cada cenário e dos resultados obtidos, houve um entendimento elementar de que cessar o aterramento de parte do resíduo sólido de matéria orgânica seria a grande causa de aumento da vida útil do aterro sanitário de

São José dos Campos. Ou seja, o alcance que se propõe para o plano de coleta seletiva de matéria orgânica determina diretamente a economia de espaço no aterro. Evidentemente, a projeção deste plano deve ser feita simultaneamente ao planejamento da capacidade do sistema de tratamento escolhido, de modo a garantir que haverá reaproveitamento deste resíduo e posterior utilização em outra aplicação.

Este estudo também revela que a gestão e o tratamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil apresentam, no geral, uma capacidade de inovação limitada por uma série de motivos como a falta de incentivos ao desenvolvimento de tecnologias nacionais. A Política Nacional dos Resíduos Sólidos veio contribuir para a internalização dos conceitos de reutilização, reciclagem, compostagem e recuperação energética na prática nacional.

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, C.V.; BACKES, S.A.; CHERUBINI, C. Avaliação do processo de compostagem utilizando podas verdes e resíduos do saneamento. Anais FERTBIO 2002, Rio de Janeiro, 2002.

BIDONE, F.R.A. e POVINELLI, J. Conceitos básicos de Resíduos Sólidos. Projeto REENGE. São Carlos. Editora EESC USP. 1999.

Biomass - Using Anaerobic Digestion. Disponível em: <
http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/03-04/biomass/validation.html>.
Acessado em 20 nov. 2014.

Büttenbender, S. E. AVALIAÇÃO DA COMPOSTAGEM DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PROVENIENTES DA COLETA SELETIVA REALIZADA NO MUNICÍPIO DE ANGELINA/SC. Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004. 123p.

CANOPIA - PRÉSENTATION DES USINES. Disponível em: <
<http://www.canopia.info/pdf/Annexe6.pdf>>. Acessado em 20 nov. 2014.

California Integrated Waste Management Board. Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste. 2008. 90p. Universidade da Califórnia

CHERNICHARO, C.A.L. Reatores Anaeróbios. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol 5. Belo Horizonte, MG: DESA.2000.

CHYNOWETH, D.P; PULLAMMANAPPALLIL P.C., (2000). Anaerobic digestion of municipal solid wastes. In: Microbiology of Solid Waste, Palmisano A.C. e Barlaz M.A.

COHIM, E.; KIPERSTOK, A.C.;NASCIMENTO, F. R; KIPERSTOK, A. Avaliação da perda de nitrogênio em sistemas de armazenamento de urina com isolamento da atmosfera. Santiago: XXXI congresso interamericano AIDIS. Oct, 2008.

Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 4º, 2014, Bento Gonçalves – RS, Brasil. Proposição e avaliação de um sistema operacional para manutenção do teor de água em leira de compostagem por aeração forçada de cama de frango visando sua reutilização.

Domingos, J. C. S. Central de Digestão Anaerobia do Ecoarte da Abruheira: Ponto de situação e desafios. [20--?]

Dutra, B. R. M., Teixeira, E. N. PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUO COMPOSTÁVEL PARA A MORADIA DA UNICAMP. [Campinas].[s.n.].[201-?].

FEAM. Fundação Estadual de Meio Ambiente. Projeto Conceitual de um Modelo de Reator Anaeróbio para a Biometanização da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos e de Resíduos Industriais no Estado de Minas Gerais. 86f.; 2009.

Ferreira, C. M. et al. Biodigestor o gás do lixo orgânico. 2011. E-xacta, Belo Horizonte, v. 4, n 2 – Edição Especial Interdisciplinar. Editora UniBH.

Flor, A. P. C. P. Comportamento de reactores anaeróbios tratando a fracção orgânica dos resíduos sólidos urbanos. 2006. 203 p. Dissertação – Universidade de Aveiro, Aveiro.

GOMES, Felipe Correia de Souza Pereira. Biometanização seca de RSU – Estado da Arte e Análise Crítica das Principais Tecnologias. 2010.199f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental) – Programa de Pós Graduação em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiente da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

Júnior, E. A. F. Projeto industrial para aeração automática de leiras de compostagem orgânica. 2012. 86 pg. Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2012.

Khanal, S. K. Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Applications. 2008. Nova Delhi. Blackwell Publicações.

Mata-Alvarez, J.; Macé, S; Llabrés, P. Anaerobic digestion of organic solid wastes: An overview of research achievements and perspectives. 2000. 12 p. Paper de revisão. Universidade de Barcelona. Barcelona, 2000.

MERCADO MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. São José dos Campos. Informa e disponibiliza dados sobre os estabelecimentos do Mercado Municipal da cidade. Disponível em: <>. Acessado em 02 out. 2014.

MENEZES R. A. A., GERLACH J. L., MENEZES M. A., VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública – ABLP, 3 a 7 de Abril de 2000, Parque Barigui – Curitiba.

Ministério Público do Estado do Paraná. Unidades de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos. 2ª Edição. Curitiba, 2013. 67p.

Nayono, S. E. Anaerobic digestion of organic solid waste for energy production. 2009. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.

Nunes, M. L. A. AVALIAÇÃO DE PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS NA COMPOSTAGEM DE DEJETOS DE SUÍNOS. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003. 116p.

Orientações Básicas para Operação de aterro sanitário - Publicado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente/Projeto Estruturador Revitalização e Desenvolvimento Sustentável na Bacia do Rio São Francisco.

Paiva, E. C. R. AVALIAÇÃO DA COMPOSTAGEM DE CARÇAÇAS DE FRANGO PELOS MÉTODOS DA COMPOSTEIRA E LEIRAS ESTÁTICAS AERADAS. Dissertação em Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2008. 164p.

Paiva, E. C. R. VARIÁVEIS DE PROJETO, OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE LEIRAS ESTÁTICAS AERADAS E QUALIDADE DO COMPOSTO PRODUZIDO COM CARÇAÇAS DE AVES MORTAS. Tese em Doutorado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011. 112 p.

Peixe, M.; Hack, M. B. COMPOSTAGEM COMO MÉTODO ADEQUADO AO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS URBANOS: Experiência do município de Florianópolis/SC. [Florianópolis]. [s.n.]. 13p.

PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Plano Municipal de Gestão Integradas de Resíduos Sólidos - Dados preliminares. São José dos Campos. 2014. Disponível em:
<http://www.sjc.sp.gov.br/media/433841/diagnosticopreliminar_pmgirs.pdf>. Acessado em: 10 mai. 2014.

PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - Não homologado pela sociedade. São José dos Campos. 2012. Disponível em:
<http://servicos.sjc.sp.gov.br/semear/downloads/PMGIRS_SJC_2012.pdf>. Acessado em: 10 mai. 2014.

PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. São José dos Campos. Informa e disponibiliza serviços da prefeitura da cidade. Disponível em <<http://www.sjc.sp.gov.br>>. Acessado em: 10 mai. 2014.

PROJECTO DE TRATAMENTO, VALORIZAÇÃO E DESTINO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA ERSUC. Disponível em: < >. Acessado em 10 mai. 2014.

PROYECTO DE EXPLOTACIÓN Y ANTEPROYECTO DE OBRAS DE GESTIÓN DE SERVICIO PÚBLICO – Gestión del servicio público para la explotación de dos plantas de biometalización y para la explotación de una planta de tratamiento de biogas de biometalización para la valorización y comercialización del mismo en el Parque Tecnológico de Valdemingómez. Disponível em: < >. Acessado em 10 de nov. 2014.

Pytheas Business Guides. Treatment of Municipal Solid Waste: Anaerobic Digestion Technologies. 2008.Pytheas Investor Services.

Queiroz, F. F. Avaliação do aproveitamento de resíduos vegetais por meio da compostagem em leiras revolvidas. Estudo de caso de Londrina. Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2007. 66p.

URBANIZADORA MUNICIPAL - URBAM. São José dos Campos. Informa e disponibiliza serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos da cidade. Disponível em: <<http://www.urbam.com.br/sitenovo>>. Acessado em 10 mai. 2014.

Williams, P. T. Waste Treatment and Disposal. [S.I.]. Editora Wiley. Segunda edição. 2005. 380p.

ANEXO A – RESPONSÁVEIS POR GRUPOS E SERVIÇOS E ORIGEM E DESTINO DOS RSU DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Disponível no arquivo ANEXO_A parte 1 e ANEXO_A parte 2

ANEXO B – CATÁLOGO DE EQUIPAMENTOS SELECIONADOS PARA A ALTERNATIVA DE COMPOSTAGEM

Disponível no arquivo ANEXO_B

ANEXO C – PLANTA DA ETRS DA URBAM COM PLANIFICAÇÃO DO TOPO DO ATERRO E DETALHES

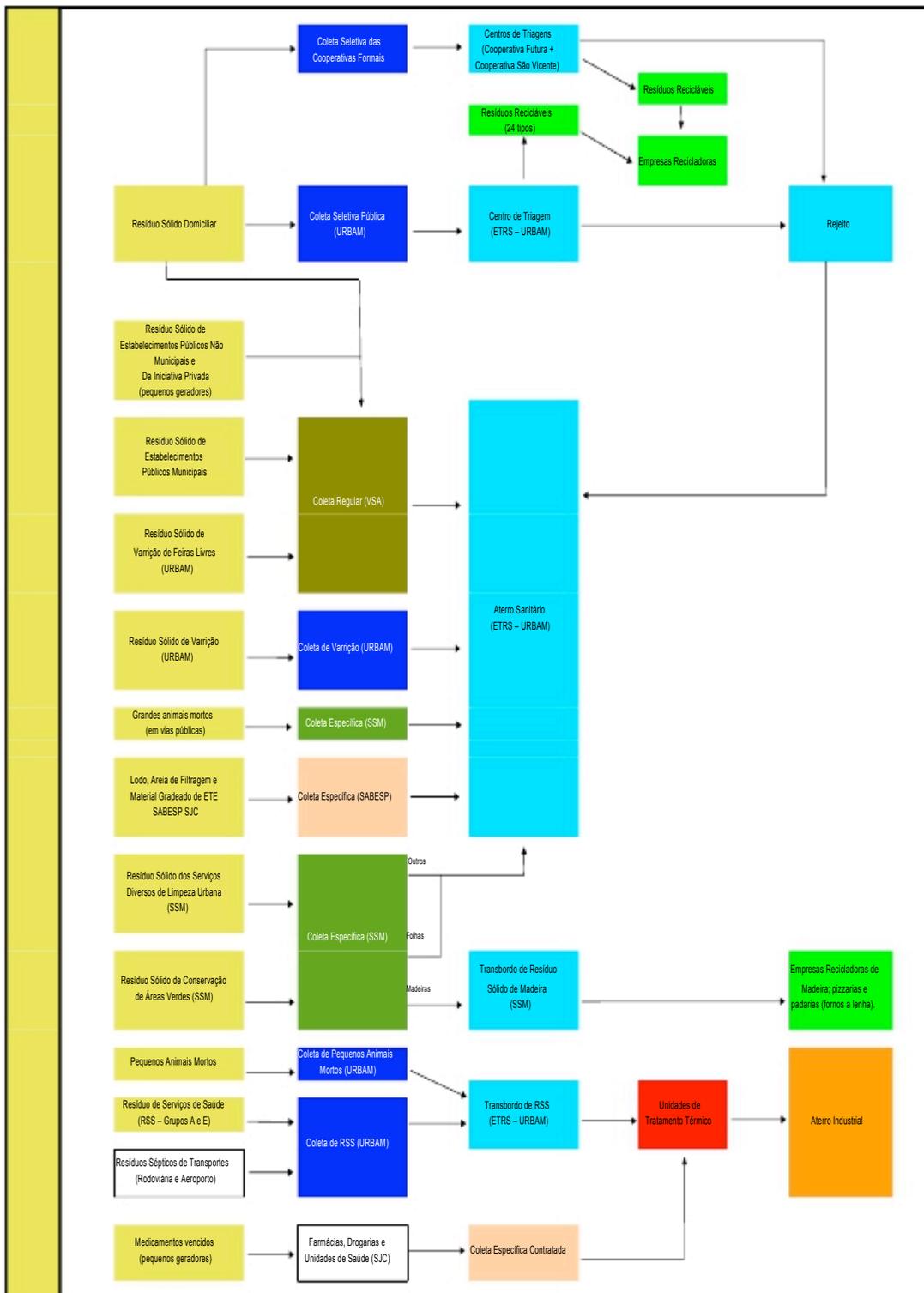
Disponível no arquivo ANEXO_C

ANEXO D – ZONEAMENTO URBANO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Disponível no arquivo ANEXO_D

ANEXO E – MACROZONEAMENTO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Disponível no arquivo ANEXO_E





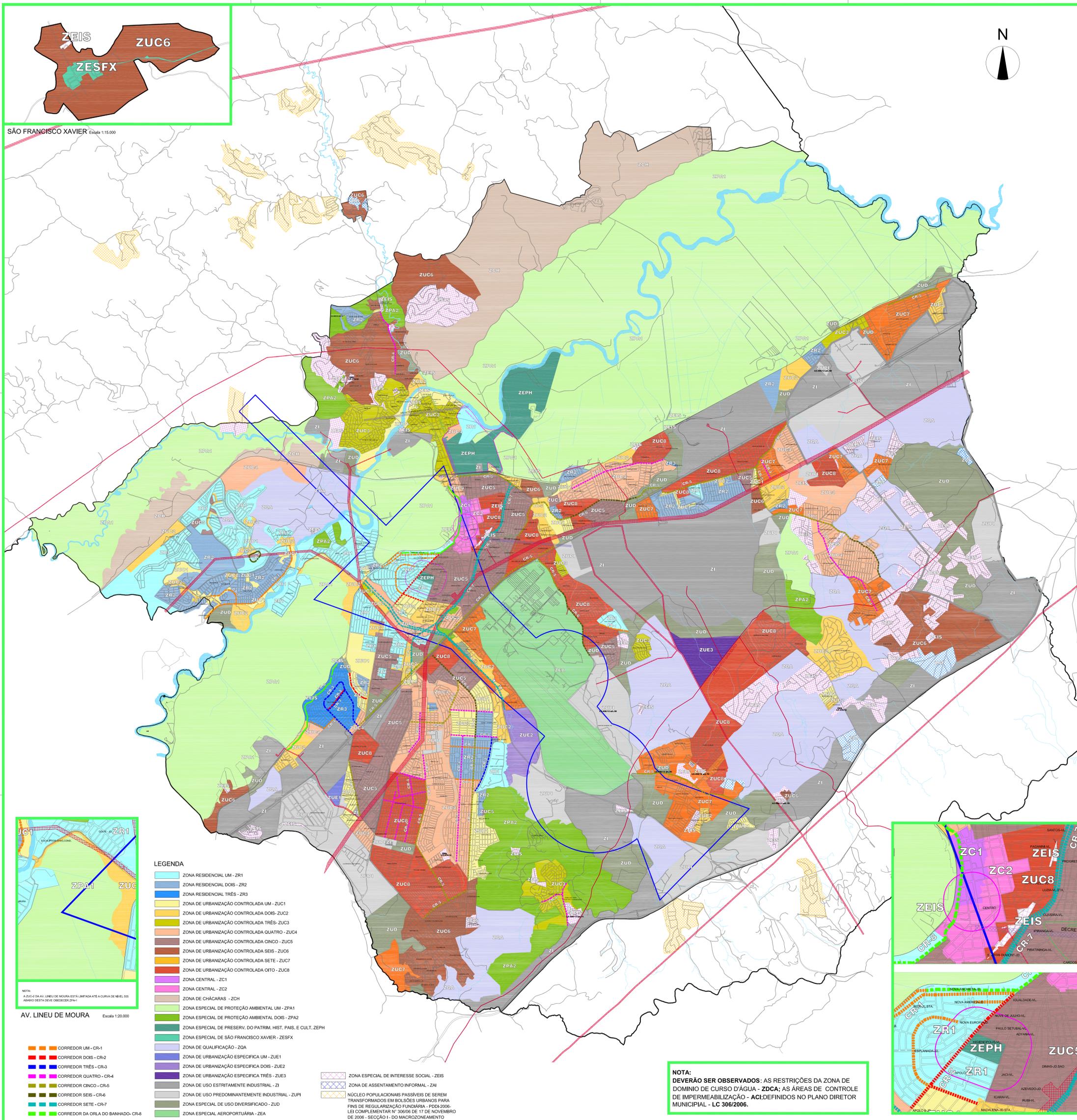
ORDEM	GRUPOS DE SERVIÇOS	ITENS	SERVIÇOS	RESPONSÁVEIS
1	Varrição	1	Capinação do leito das ruas e remoção dos produtos resultantes, compreendendo: capina na crista da guia e sarjeta, nos pontos de ônibus, ao redor das árvores, dos postes e das placas de sinalização	PMSJC
		2	Esvaziamento das lixeiras públicas, catação pontual de papéis, plásticos e quaisquer objetos em áreas públicas, que caibam dentro do carrinho de varrição	PMSJC
		3	Raspagem e remoção de terra, areia e materiais carregados pelas águas pluviais para as vias e logradouros públicos pavimentados	PMSJC
		4	Varrição e lavagem de feiras livres.	PMSJC
		5	Varrição guias, sarjetas, calçadas fronteiriças e escadarias das vias, dos logradouros públicos pavimentados e dos pontos de ônibus.	PMSJC
		6	Varrição de calçadas e quaisquer áreas internas particulares	Ocupantes dos Imóveis
2	Conservação de Áreas Verdes	7	Capina e Roçada de Áreas Verdes Públicas	PMSJC
		8	Poda, Corte de Raízes e Supressões de Árvores de Vias ou Áreas Públicas	PMSJC
		9	Capina, roçada, poda, corte de raízes e supressões de árvores em áreas particulares	Ocupantes dos Imóveis
3	Serviços Diversos	10	Conservação e limpeza de estradas vicinais	PMSJC
		11	Desobstrução dos córregos e limpeza de suas margens	PMSJC
		12	Limpeza de passagens, vielas e sanitários públicos municipais	PMSJC
		13	Limpeza e desobstrução de bocas de lobo, valas e valetas.	PMSJC
4	Coleta de Resíduos	14	Coleta de Resíduos da Varrição de Áreas Públicas	PMSJC
		15	Coleta de Resíduos dos Serviços de Saúde (Grupos A e E)	PMSJC
		16	Coleta Seletiva dos Resíduos Potencialmente Recicláveis	PMSJC
		17	Coleta Regular de resíduos domiciliares, das feiras livres, de mercados municipais, de parques municipais, de cemitérios, de edifícios públicos e de pequenos geradores (iniciativa privada com geração de até 500 litros de lixo por dia)	PMSJC
		18	Coleta de Animais Mortos	PMSJC
		19	Coleta de Resíduos da Conservação de Áreas Verdes Públicas e dos Serviços Diversos	PMSJC
		20	Coleta de Resíduos Eletrônicos	PMSJC

ORDEM	GRUPOS DE SERVIÇOS	ITENS	SERVIÇOS	RESPONSÁVEIS
4	Coleta de Resíduos	21	Coleta de Pilhas e Baterias	PMSJC
		22	Coleta de resíduos críticos e de resíduos da construção civil dos PEV's	PMSJC
		23	Coleta de resíduos sólidos de Classe I (exceto RSS – Grupos A e E) da iniciativa privada	GERADORES ESPECÍFICOS
		24	Coleta de resíduos sólidos de Classe IIA dos grandes geradores (geração diária acima de 500 litros)	Grandes Geradores
		25	Coleta de resíduos sólidos de Classe IIB (RCC) dos grandes geradores (geração diária acima de 1 m3)	Grandes Geradores
5	Tratamento e Disposição Final	26	Disposição final em Aterro Sanitário Municipal (resíduos sólidos da coleta regular, resíduos da varrição, resíduos de conservação de áreas verdes e serviços diversos, de grandes animais mortos e dos rejeitos do Centro de Triagem)	PMSJC
		27	Tratamento e disposição final de Resíduos de Serviços de Saúde (Grupos A e E)	PMSJC
		28	Tratamento e disposição final dos resíduos críticos e RCC's dos PEV's ou das Coletas da URBAM	PMSJC
		29	Tratamento em usinas de reciclagem (resíduos da construção civil)	GERADORES ESPECÍFICOS
		30	Disposição final em Aterro Industrial (resíduos sólidos perigosos e não perigosos dos grandes geradores)	GERADORES ESPECÍFICOS
6	Gestão de Sistemas Operacionais	31	Operação dos Pontos de Entrega Voluntária para pequenos volumes de resíduos da construção civil (até 1m3), resíduos volumosos e resíduos críticos.	Cooperativa Futura
		32	Operação e gestão da Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos (ETRS)	PMSJC
		33	Operação do Sistema Eletrônico de controle de resíduos da construção civil	PMSJC
		34	Operação e gestão de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil	Iniciativa Privada
		35	Operação e gestão de Aterro Industrial	Iniciativa Privada
7	Educação Ambiental	36	Aplicar a Educação Ambiental por meio de programas públicos participativos: 1) Programa Municipal de Educação Ambiental (Promea), 2) Programa Lixo Tour, 3) Programa Agentes Ambientais, 4) Programa São José Recicla, 5) Programa Conscientização Via Internet e 6) Programa Mutirões de Conscientização Ambiental.	PMSJC

Fonte: PMGIRS – PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS (2012)



SÃO FRANCISCO XAVIER Escala 1:15.000



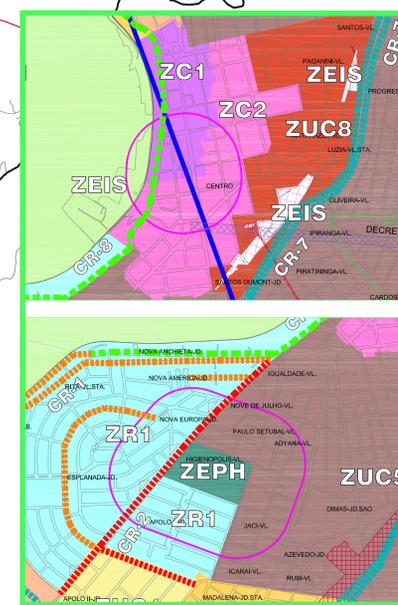
AV. LINEU DE MOURA Escala 1:20.000

LEGENDA

- ZONA RESIDENCIAL UM - ZR1
- ZONA RESIDENCIAL DOIS - ZR2
- ZONA RESIDENCIAL TRÊS - ZR3
- ZONA DE URBANIZAÇÃO CONTROLADA UM - ZUC1
- ZONA DE URBANIZAÇÃO CONTROLADA DOIS - ZUC2
- ZONA DE URBANIZAÇÃO CONTROLADA TRÊS - ZUC3
- ZONA DE URBANIZAÇÃO CONTROLADA QUATRO - ZUC4
- ZONA DE URBANIZAÇÃO CONTROLADA CINCO - ZUC5
- ZONA DE URBANIZAÇÃO CONTROLADA SEIS - ZUC6
- ZONA DE URBANIZAÇÃO CONTROLADA SETE - ZUC7
- ZONA DE URBANIZAÇÃO CONTROLADA OITO - ZUC8
- ZONA CENTRAL - ZC1
- ZONA CENTRAL - ZC2
- ZONA DE CHÁCARAS - ZCH
- ZONA ESPECIAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL UM - ZPA1
- ZONA ESPECIAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOIS - ZPA2
- ZONA ESPECIAL DE PRESERV. DO PATRIM. HIST. PAIS. E CULT. ZEPH
- ZONA ESPECIAL DE SÃO FRANCISCO XAVIER - ZESFX
- ZONA DE QUALIFICAÇÃO - ZQA
- ZONA DE URBANIZAÇÃO ESPECÍFICA UM - ZUE1
- ZONA DE URBANIZAÇÃO ESPECÍFICA DOIS - ZUE2
- ZONA DE URBANIZAÇÃO ESPECÍFICA TRÊS - ZUE3
- ZONA DE URBANIZAÇÃO ESPECÍFICA QUATRO - ZUE4
- ZONA DE URBANIZAÇÃO ESPECÍFICA CINCO - ZUE5
- ZONA DE URBANIZAÇÃO ESPECÍFICA SEIS - ZUE6
- ZONA DE URBANIZAÇÃO ESPECÍFICA SETE - ZUE7
- ZONA DE URBANIZAÇÃO ESPECÍFICA OITO - ZUE8
- ZONA ESPECIAL DE INTERESSE SOCIAL - ZEIS
- ZONA DE ASSENTAMENTO INFORMAL - ZAI
- NÚCLEO POPULACIONAIS PASSÍVEIS DE SEREM TRANSFORMADOS EM BOLSÕES URBANOS PARA FINS DE REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA - PDDI-2006-LEI COMPLEMENTAR Nº 306/05 DE 17 DE NOVEMBRO DE 2006 - SEÇÃO I - DO MACROZONAMENTO TERRITORIAL - ARTIGO 9º - PARÁGRAFO ÚNICO.
- PERÍMETRO ESPECIAL DO PARQUE TECNOLÓGICO

- CORREDOR UM - CR-1
- CORREDOR DOIS - CR-2
- CORREDOR TRÊS - CR-3
- CORREDOR QUATRO - CR-4
- CORREDOR CINCO - CR-5
- CORREDOR SEIS - CR-6
- CORREDOR SETE - CR-7
- CORREDOR DA ORLA DO BANHADO - CR-8

NOTA: DEVERÃO SER OBSERVADOS: AS RESTRIÇÕES DA ZONA DE DOMÍNIO DE CURSO D'ÁGUA - ZDCA; AS ÁREAS DE CONTROLE DE IMPERMEABILIZAÇÃO - ACI; DEFINIDOS NO PLANO DIRETOR MUNICIPAL - LC 306/2006.



Escala 1:15.000



Cidade de São José dos Campos Prefeitura Municipal

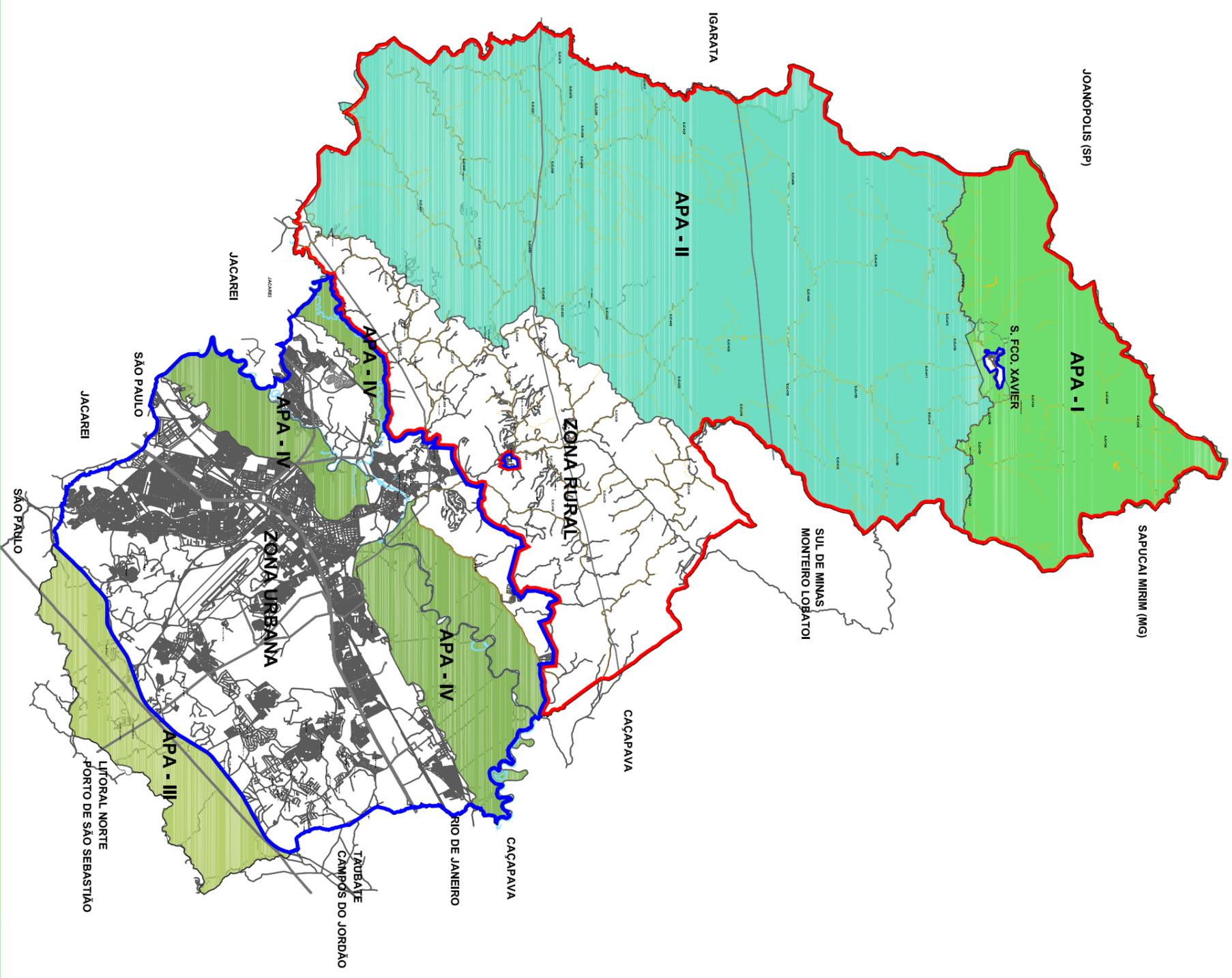
MAPA 4 - MAPA DE ZONEAMENTO - LC 428/10

ANEXO 11

1:35.000 12/07/2013

MAPA 4- ZONEAMENTO

LEI COMPLEMENTAR 428/2010



- LEGENDA
- ZONA URBANA
 - ZONA RURAL
 - LIMITE MUNICIPAL
 - APA MUNICIPAL - I
 - APA MUNICIPAL - II
 - APA MUNICIPAL - III
 - APA MUNICIPAL - IV

MAPA 1 - MAPA MACROZONAMENTO

ANEXO 06

MAPA 1 - MACROZONAMENTO

1:220.000

06/08/2010

PROJETO DE LEI / 2010