

JEFFERSON PEQUENO DA SILVA  
SUZANE FERREIRA DA SILVA

ADEQUAÇÃO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE PILAR DO SUL- SP À  
POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

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

São Paulo  
2017

JEFFERSON PEQUENO DA SILVA  
SUZANE FERREIRA DA SILVA

ADEQUAÇÃO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE PILAR DO SUL- SP À  
POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

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

Orientador: Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

São Paulo  
2017

## Catalogação-na-publicação

Silva, Jefferson Pequeno da  
Adequação ambiental do município de Pilar do Sul - SP à Política Nacional  
de Resíduos Sólidos / J. P. Silva, S. F. Silva -- São Paulo, 2017.  
171 p.

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

1. Política Nacional de Resíduos Sólidos 2. Resíduos Sólidos Urbanos  
3. Compostagem 4. Aterro sanitário 5. Reciclagem I. Universidade de São  
Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Hidráulica e  
Ambiental II. t. III. Silva, Suzane Ferreira da

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por ter nos capacitado e ter dado a nós forças para realizar esse trabalho. Sem Ele seria impossível realizar qualquer trabalho.

Aos professores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pela contribuição intelectual e didática para a nossa formação como engenheiros ambientais.

Ao nosso orientador Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera pela disposição em nos orientar neste Trabalho de Formatura.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Wanda Maria Risso Günther e à Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Eugenia Gimenez Boscov, pelo auxílio.

À Regina Carvalho da SEDRUMA (Secretaria de Desenvolvimento Rural e Meio Ambiente) de Pilar do Sul – SP, pelos dados fornecidos sobre o município de Pilar do Sul - SP.

Ao Fernando Santos e ao Rafael Dal Medico Neto da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) unidade de Sorocaba - SP pelas informações fornecidas sobre o aterro do município de Pilar do Sul - SP.

Ao Ricardo Fonseca de Souza do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (PHA) pela agilidade, competência e disposição em resolver os nossos problemas acadêmicos.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO .....	16
2. LEVANTAMENTO DE DADOS .....	17
2.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO MUNICÍPIO DE PILAR DO SUL .....	17
2.1.1. Aspectos Físicos Territoriais .....	17
2.1.2. Aspectos Sociais e Econômicos .....	26
2.1.3. Aspectos Ambientais .....	32
2.2. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE PILAR DO SUL .....	33
2.2.1. Resíduos Sólidos Urbanos.....	33
2.2.2. Resíduos de Serviços de Saúde .....	55
2.2.3. Resíduos de Construção Civil .....	55
2.2.4. Logística reversa.....	55
3. ANÁLISE DOS DADOS .....	55
3.1. DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	56
3.1.1. Resíduos Sólidos Urbanos.....	56
4. DEFINIÇÃO DOS PROBLEMAS .....	58
5. ALTERNATIVAS PARA SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS .....	59
5.1. Disposição Final Ambientalmente Adequada .....	59
5.1.1. Aterro Sanitário.....	59
5.2. Tratamento de Resíduos Orgânicos .....	81
5.2.1. Biodepositores .....	82
5.2.2. Incineradores .....	83
5.2.3. Usina de compostagem .....	84
5.3. Resíduos Recicláveis .....	85
6. DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO .....	87
6.1. Tratamento de Resíduos Orgânicos .....	87
6.2. Aterro Sanitário .....	90
6.2.1. Critérios Técnicos .....	91
6.2.2. Critérios Econômico-financeiros.....	93
6.2.3. Critérios Político-sociais.....	93
7. ESCOLHA DA SOLUÇÃO .....	95
7.1. Aterro Sanitário .....	95
7.1.1. Escolha da Melhor Área.....	95
7.2. Tratamento de Resíduos Orgânicos .....	96
7.2.1. Usina de Compostagem.....	96

8. ESPECIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO.....	98
8.1. Aterro Sanitário .....	98
8.1.1. Revestimento de fundo .....	99
8.1.2. Sistema de Coleta e Tratamento de Percolado .....	100
8.1.3. Revestimento de Cobertura .....	102
8.1.4. Sistema de Coleta e Tratamento de Biogás .....	103
8.1.5. Sistema de Drenagem de Águas Pluviais .....	109
8.1.6. Estabilidade de Talude.....	110
8.1.7. Custos .....	115
8.2. Usina de Compostagem .....	116
8.2.1. Fatores que afetam o processo de compostagem.....	116
8.2.2. Processos Operacionais .....	121
8.2.3. Dimensionamento .....	129
8.2.4. Custo de operação.....	135
8.3. Estratégias para melhoria da coleta seletiva, reciclagem e educação ambiental .....	138
9. CONCLUSÕES.....	143
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	144
ANEXO A – Política Nacional de Resíduos Sólidos .....	149

## RESUMO EXECUTIVO

Os municípios brasileiros, a partir da promulgação da Constituição Federal em 1988, passaram a ser considerados entes federativos autônomos, capazes, portanto, de tomar decisões administrativas, legislativas e administrar os recursos financeiros, observando a realidade local. Por serem os entes federativos responsáveis por implementar o interesse local, tornaram-se, então, detentores da titularidade dos serviços como o de limpeza urbana, que compreende toda a gestão e manejo dos resíduos sólidos, desde a coleta até a sua destinação final. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305), sancionada em 02 de agosto de 2010, apresenta-se como um instrumento normativo para orientar os municípios quanto à gestão ambientalmente adequada e integrada dos resíduos sólidos. Essa lei propõe que sejam consideradas as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública, através de uma visão sistêmica. Além disso, reconhece o resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania. O município de Pilar do Sul, localizado no Estado de São Paulo, foi objeto de estudo deste trabalho devido à falta de gerenciamento adequado de seus resíduos, o que levou ao fechamento do aterro municipal. A finalidade é que todas as esferas da hierarquia de destinação de resíduos sejam envolvidas neste projeto. O trabalho foi dividido em duas partes: o levantamento de dados do município, em especial acerca dos resíduos gerados no município juntamente com o diagnóstico do sistema, com as definições dos problemas encontrados à adequação do município a PNRS (a disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos, bem como o tratamento inadequado dos resíduos orgânicos) e a segunda parte com o método decisório e o projeto escolhido resultante dele (a construção de um aterro sanitário e de uma usina de compostagem).

**Palavras-chave:** Resíduo sólido. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Aterro sanitário. Compostagem.

## ABSTRACT

Since the promulgation of the Federal Constitution in 1988, Brazilian municipalities have become autonomous, capable of making administrative, legislative and administrative decisions, observing local reality. As federal entities responsible for implementing the local interest, they became holders of the services as urban cleaning, which comprises all solid waste management and management, from collection to final disposal. The National Policy on Solid Waste (Law No. 12,305), enacted on August 2, 2010, is presented as a normative instrument to guide municipalities in environmental management, as well as in solid waste. This law proposes that they are considered as environmental, social, cultural, economic, technological and public health variables, through a systemic vision. In addition, it recognizes reusable and recyclable solid waste as an economic good and of social value, generator of work and income and promoter of citizenship. The municipality of Pilar do Sul, located in the state of São Paulo, was the object of work study due to the lack of proper management of its waste, which led to the closure of the municipal landfill. One purpose is for all spheres of the waste disposal hierarchy and surrounding this project. The work was divided in two parts: the data collection of the municipality, in particular about the residues generated in the municipality together with the diagnosis of the system, with the definitions of the problems found to the adequacy of the municipality to PNRS (the inadequate disposition of urban solid wastes, as well as inadequate treatment of organic waste) and the second part with the decision-making method and the chosen project resulting from it (the construction of a landfill and a composting plant).

Key words: Solid waste. National Solid Waste Policy. Landfill. Composting.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do Município de Pilar do Sul no estado de São Paulo .....	18
Figura 2 - Localização do Município de Pilar do Sul na Região Metropolitana de Sorocaba .....	18
Figura 3 - Precipitação média mensal no período de 1937 a 2016 – Estação E4-028 .....	22
Figura 4 - Áreas urbanas e rurais do município de Pilar do Sul .....	24
Figura 5 - Densidade populacional por setor censitário do município de Pilar do Sul .....	25
Figura 6 - Geração de Resíduos Sólidos Urbanos (em toneladas por dia) de 2012 a 2016 .....	34
Figura 7 - Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares do município de Sorocaba .....	35
Figura 8 - Coleta de resíduo - Nível de Atendimento - Censo Demográfico (Em %) - 1991, 2000 e 2010 .....	40
Figura 9 - Vista de satélite do aterro de Pilar do Sul .....	43
Figura 10 - Mapa Pilar do Sul dividido em cinco setores para a coleta seletiva .....	50
Figura 11 - Setor 1, que compreende os bairros: Centro (lado A), Jd. Santa Helena, Jd. Esperança, Jd. Sol Nascente, Jd. Recanto Paraíso, Vila São Manoel, Jd. Colinas e Jd Marajoara (lado A) .....	50
Figura 12 - Setor 2, que compreende os bairros: Centro (lado B), Jd. Paiotti, Jd Marajoara (lado B), Jd Primavera, Jd. Máximo e Portal do Lago .....	51
Figura 13 - Setor 3, que compreende os bairros: Bairro Campo Grande (lado A), Jd. Campestre I e II, Parque Residencial Ayub .....	51
Figura 14 - Setor 4, que compreende os bairros: Bairro Santa Cecília, Jardim Pinheiro, Jardim Nascimento, Jardim Ipê, Bonanza e Vale Verde .....	52
Figura 15 - Setor 5, que compreende os bairros: Jardim Nova Pilar I, II, III, Zona Industrial, Jardim Cananéia/Chácaras Reunidas, Pombal e Paineira .....	52
Figura 16 - Estimativa populacional do município de Pilar do Sul - SP até o ano de 2040 .....	63
Figura 17 - Estimativa populacional do município de Pilar do Sul - SP até o ano de 2040 .....	64

Figura 18 - Estimativa de geração de resíduos sólidos domiciliares do município de Pilar do Sul – SP .....	66
Figura 19 - Tronco de Pirâmide .....	70
Figura 20 - Croqui do aterro sanitário .....	71
Figura 21 - Declividade de Pilar do Sul .....	73
Figura 22 - Solos e Corpos Hídricos de Pilar do Sul .....	74
Figura 23 - Vegetação de Pilar .....	75
Figura 24 - Vias principais de Pilar do Sul .....	76
Figura 25 - Mancha urbana de Pilar do Sul .....	77
Figura 26 - Proposta 1 da delimitação da área para o novo aterro sanitário .....	78
Figura 27 - Localização da área do aterro na proposta 1 em relação a núcleos urbanos e corpos hídricos .....	78
Figura 28 - Proposta 2 da delimitação da área para o novo aterro sanitário .....	79
Figura 29 - Localização da área do aterro na proposta 2 em relação a núcleos urbanos e corpos hídricos .....	79
Figura 30 - Proposta 3 da delimitação da área para o novo aterro sanitário .....	80
Figura 31 - Localização da área do aterro na proposta 3 em relação a núcleos urbanos e corpos hídricos .....	80
Figura 32 - Localização das três propostas no município de Pilar do Sul .....	81
Figura 33- Estrutura do AHP .....	88
Figura 34 - Figura esquemática de um aterro sanitário .....	98
Figura 35 - Esquema ilustrativo do revestimento de fundo .....	99
Figura 36 - Esquema ilustrativo da cobertura ou revestimento impermeável superior .....	103
Figura 37 - Detalhes drenos de gás .....	104
Figura 38 – Interligação do sistema de gases com o sistema de lixiviado .....	105
Figura 39 – Vista geral da superposição de células sanitárias e da distribuição dos drenos de gases em aterros sanitários .....	106
Figura 40 - Método de Morgenstern e Price – Forças aplicadas a uma fatia de solo .....	111
Figura 41 - Método de Bishop – Forças aplicadas a uma fatia de solo .....	112
Figura 42 – Tambor de separação .....	122
Figura 43 – Tambor rotativo .....	123

Figura 44 - Formação das leiras tipo <i>windowrow</i> .....	125
Figura 45 - Revolvimento das leiras .....	126
Figura 46 – Modelo de trator .....	128
Figura 47 – Retroescavadeira .....	128
Figura 48 – Picadora trituradora .....	129
Figura 49 - Geometria das leiras e absorção de água .....	130
Figura 50 - Idade do resíduo orgânico .....	131
Figura 51 - Layout para início de operação das leiras.....	132
Figura 52 - Plano de operação das leiras em 15 dias .....	132
Figura 53 - Plano de operação das leiras em 30 dias .....	133
Figura 54 - Plano de operação das leiras em 45 dias .....	133
Figura 55 - Plano de operação das leiras em 60 dias .....	134
Figura 56 - Plano de operação das leiras em 75 dias .....	134
Figura 57- Plano de operação das leiras em 90 dias .....	135
Figura 58 – Layout da usina de compostagem e aterro sanitário na proposta 1 de área .....	138

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais Aspectos Demográficos do Município, RMS e Estado de SP ..	26
Tabela 2 - Participação do Valor Adicionado Setorial no PIB Total per capita .....	27
Tabela 3 - Participação dos Vínculos Empregatícios por Setor (%) .....	28
Tabela 4 - Rendimento Médio nos Vínculos Empregatícios por Setor e Totais (em reais correntes) .....	28
Tabela 5 – Taxa de Mortalidade Infantil (por mil nascidos vivos) - 2013, 2014 e 2015 .....	30
Tabela 6 – Taxa de Analfabetismo .....	30
Tabela 7 - Índice Paulista de Responsabilidade Social - Posição no estado em 2008, 2010 e 2012 .....	32
Tabela 8 - Indicadores Ambientais .....	33
Tabela 9 - Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares do município de Pilar do Sul baseada no município de Sorocaba .....	35
Tabela 10 - Cronograma de coleta de resíduos domiciliares por bairro .....	39
Tabela 11 - Cronograma de coleta de resíduos nos bairros rurais e expansão urbana .....	39
Tabela 12 - Índice de Qualidade em Aterros de Resíduos – IQR de 1997 a 2016....	49
Tabela 13 - Cronograma da coleta seletiva em Pilar do Sul .....	53
Tabela 14 - Material reciclável e não reciclável .....	54
Tabela 15 - Responsabilidade e legislação para cada resíduo .....	56
Tabela 16 - População de Pilar do Sul .....	62
Tabela 17 - Estimativa populacional do município de Pilar do Sul - SP até o ano de 2040 .....	63
Tabela 18 - Estimativa populacional do município de Pilar do Sul - SP até o ano de 2040 .....	65
Tabela 19 - Estimativa de geração de resíduos sólidos domiciliares do município de Pilar do Sul – SP .....	67
Tabela 20 – Valores de peso específico encontrados na literatura .....	68
Tabela 21 – Matriz de ponderação dos critérios.....	89
Tabela 22 - Tabela modelo AHP com valores dos critérios.....	89
Tabela 23 - Ponderação das alternativas para tratamento da matéria orgânica .....	90

Tabela 24 - Critérios Técnicos.....	92
Tabela 25 - Critérios Econômico-financeiros.....	93
Tabela 26 - Critérios Político-sociais .....	93
Tabela 27 - Hierarquização dos Critérios .....	94
Tabela 28 - Pesos dos critérios e do tipo de atendimento.....	94
Tabela 29 - Características das Áreas .....	95
Tabela 30 - Pontuação das Áreas .....	96
Tabela 31 – Parâmetros do método do balanço hídrico .....	101
Tabela 32-Coeficiente de escoamento superficial (C') .....	101
Tabela 33 - Água disponível do solo (mm de água/m de profundidade de solo)....	101
Tabela 34 – Memória de cálculo do método do balanço hídrico .....	102
Tabela 35 - Valores de ângulo de atrito e coesão .....	113
Tabela 36 - Valores de peso específico, coesão e ângulo de atrito adotados .....	113
Tabela 37 - Resultados do fator de segurança pelo método Morgenstern-Price....	114
Tabela 38 - Resultados do fator de segurança pelo método Bishop .....	114
Tabela 39 - Características de cada tipo de resíduo .....	124
Tabela 40 – Descrição do potencial local.....	127
Tabela 41 - Estimativa de quantidade de resíduos orgânicos em início de projeto.	130
Tabela 42 - Dimensão das leiras e quantidade em início de projeto .....	130
Tabela 43 - Estimativa de quantidade de resíduos orgânicos em final de projeto ..	131
Tabela 44 - Dimensão das leiras e quantidade em final de projeto.....	131
Tabela 45 - Ocupação de resíduos orgânicos de cada leira .....	131
Tabela 46 – Custos com funcionário .....	135
Tabela 47 – Custos com utensílios .....	136
Tabela 48 – Custos com equipamentos .....	136
Tabela 49 – Outros custos .....	137
Tabela 50 – Parâmetros para as estimativas de custo.....	137
Tabela 51 – Meta 1 - Redução dos resíduos recicláveis secos dispostos em aterro (%) .....	141
Tabela 52 – Meta 2 - Redução do percentual de resíduos úmidos disposto em aterros (%).....	142
Tabela 53 – Meta 3 - Abrangência da Reciclagem em área urbana de Pilar do Sul .....	142

Tabela 54 – Meta 4 – Abrangência da Reciclagem em área rural de Pilar do Sul ..	142
Tabela 55 – Meta 5 - Disposição Final ambientalmente adequada de RSS (segundo a PNRS) .....	142

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
CEPAGRI	Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COMARPS	Cooperativa de Materiais Recicláveis de Pilar do Sul
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EMPLASA	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica
ILP	Instituto do Legislativo Paulista
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
IPRS	Índice Paulista de Responsabilidade Social
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
IQR	Índice de Qualidade em Aterros de Resíduos
NBR	Norma Brasileira
NMP	Número Mais Provável
ONU	Organização das Nações Unidas
PEV	Postos de Entrega Voluntária
PGRS	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PGRS	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PIB	Produto Interno Bruto
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCC	Resíduo de Construção Civil
RG	Região de Governo

RMS	Região Metropolitana de Sorocaba
RSS	Resíduo de Serviço de Saúde
RSU	Resíduo Sólido Urbano
SAEB	Sistema de Avaliação da Educação Básica
SEADE	Sistema Estadual de Análise de Dados
SEDRUMA	Secretaria de Desenvolvimento Rural e Meio Ambiente
SIFESP	Sistema de Informações Florestais do Estado de São Paulo
SINIMA	Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos
SINISA	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento Básico
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SP	São Paulo
SUASA	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
SUS	Sistema Único de Saúde
UGRHI	Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos

## 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A crescente preocupação com a preservação dos recursos naturais e com a questão de saúde pública associada aos resíduos sólidos impulsionou a criação de políticas públicas que tratassesem o tema. Assim, ainda que tardivamente, em 02 de agosto de 2010, foi sancionada a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) é um instrumento normativo que orienta os municípios quanto à gestão ambientalmente adequada e integrada dos resíduos sólidos. Em outras palavras, a lei compõe uma série de diretrizes e metas relativas à gestão integrada e ao gerenciamento ambiental adequado dos resíduos sólidos, e propõe um conjunto de regras que visam o cumprimento de seus objetivos em amplitude nacional.

Segundo a PNRS (2010), todo resíduo deverá ser processado apropriadamente antes da destinação final. Alternativas como a coleta seletiva, reciclagem e compostagem são soluções utilizadas para o processamento correto dos resíduos. Resíduos sólidos chamados de rejeitos são aqueles que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada. Portanto, devem ser encaminhados para os aterros sanitários. A PNRS estipulou uma meta de erradicação de lixões até 2014, mas essa meta não foi cumprida.

Muitos municípios brasileiros têm encontrado dificuldades para cumprir os objetivos previstos na PNRS, pois em muitos casos há falta de recursos e escassez de pessoal capacitado para realizar o que a PNRS determina.

O objetivo deste trabalho foi analisar o município de Pilar do Sul quanto ao cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, verificar os pontos que não se adequaram à PNRS e propor soluções para que se adequem. Pilar do Sul é um município localizado no Estado de São Paulo, pertencente à Região Metropolitana de Sorocaba, tem uma população de 28.718 habitantes (IBGE, 2017) com uma geração de resíduos sólidos urbanos de 15,68 toneladas por dia (CETESB, 2016).

Duas soluções foram propostas neste trabalho: 1) anteprojeto de aterro sanitário adequado segundo padrões da CETESB, pois o município está dispondo os resíduos sólidos urbanos num local considerado inadequado pela CETESB; 2)

Anteprojeto de usina de compostagem para tratamento de resíduos orgânicos, pois atualmente o município não trata os resíduos orgânicos, levando-os a ser dispostos no aterro junto com os rejeitos.

## 2. LEVANTAMENTO DE DADOS

### 2.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO MUNICÍPIO DE PILAR DO SUL

A seguir estão relatados os aspectos físicos territoriais, os aspectos sociais e econômicos e os aspectos ambientais que caracterizam o município de Pilar do Sul.

#### 2.1.1. Aspectos Físicos Territoriais

##### **Aspectos Gerais**

O município de Pilar do Sul localiza-se na região sudoeste do Estado de São Paulo, estendendo-se por 681,248 km<sup>2</sup> (IBGE, 2017), com altitude média de 689 metros acima do nível do mar e sua sede situa-se nas coordenadas geográficas de latitude 23°48'47" sul e a uma longitude 47°42'59" oeste (PMISB, 2014).

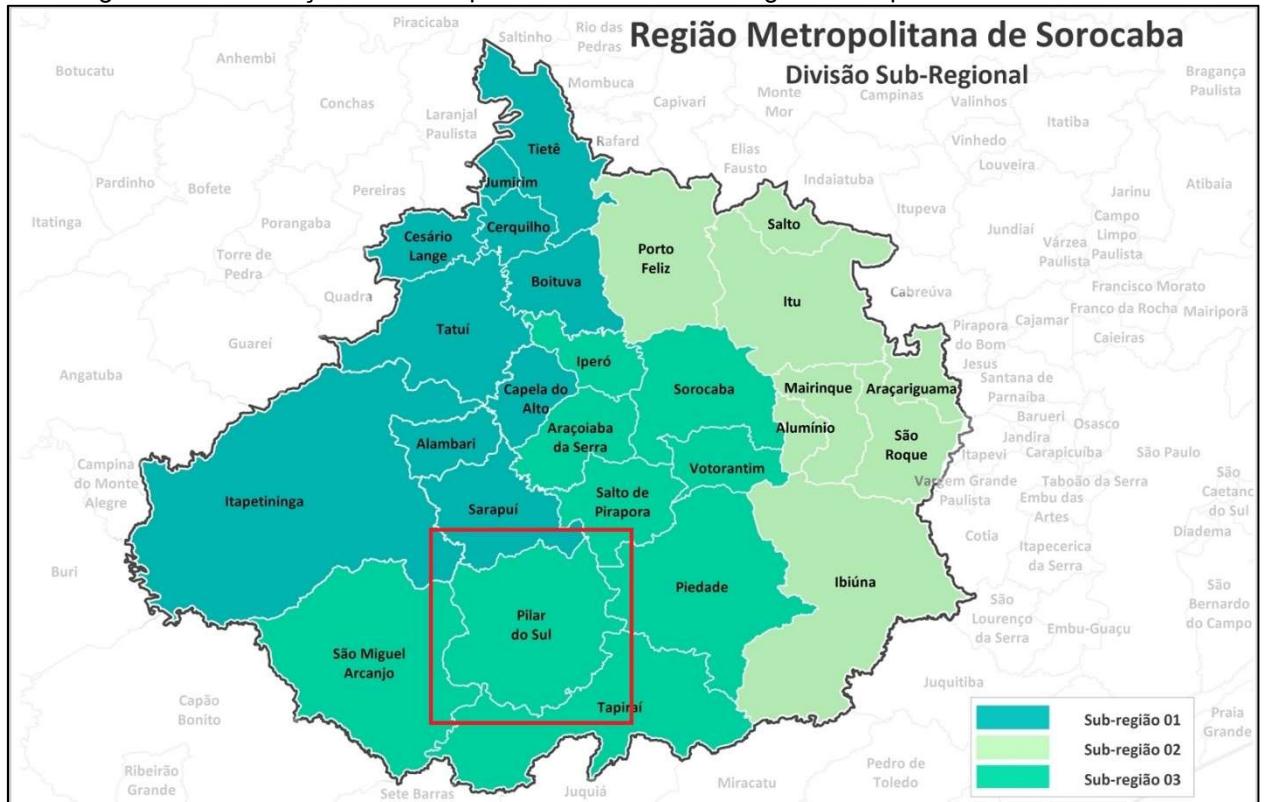
Pilar do Sul está inserida na Região Metropolitana de Sorocaba, fazendo divisa com os municípios de Sarapuí e Salto de Pirapora, ao Norte, Tapiraí, ao Sul, Piedade, a Leste e São Miguel Arcanjo e Itapetininga, a Oeste. O acesso ao município, a partir da capital, pode ser feito através da Rodovia Presidente Castelo Branco (SP-280), ou pela Rodovia Raposo Tavares (SP 270), ou até mesmo pela Rodovia dos Bandeirantes (SP 250), passando pela Rodovia Francisco José Ayub (SP 264) (PMISB, 2014). As Figuras 1 e 2 apresentam a localização do município de Pilar do Sul.

Figura 1 – Localização do Município de Pilar do Sul no estado de São Paulo



Fonte: ABREU (2006)

Figura 2 - Localização do Município de Pilar do Sul na Região Metropolitana de Sorocaba



Fonte: EMPLASA (2017)

A história de Pilar do Sul começa em 1850, quando tropeiros, caçadores e mineradores passavam pela cidade à procura de metais preciosos. Famílias de Minas Gerais vieram à cidade e utilizavam o local, conhecido pelas pedras usadas para pilar a carne, um dos motivos para a cidade chamar-se Pilar. O pilar também era usado para curtir couro dos animais caçados. O local também ganhou esse nome graças à religiosidade das famílias mineiras, que tinham grande devoção a nossa senhora do Pilar, uma santa espanhola. Em 1877, João Batista Ribeiro, com autorização do Bispo da época, fundou a Vila de Pilar elevando-a à categoria de Paróquia, por lei Providencial. Em 12 de maio de 1891, por meio de um decreto, a vila se tornou município. O município enfrentou muitas dificuldades para se desenvolver durante o Século XX. As precárias estradas e pouco desenvolvimento da agricultura causou a estagnação e resultou na perda de autonomia política, tornando-se então, distrito do município de Piedade, em 1934. No dia 5 de novembro de 1936, Pilar reconquistou sua autonomia e voltou a ser município. Em 1944, o município passou a ser chamado de Pilar do Sul (PMISB, 2014).

## **Geologia**

O município de Pilar do Sul é formado por rochas da Suíte Granítica Sintectônica e Pós Tectônica, rochas do Grupo Açuengui e do Grupo Itararé. As rochas do Grupo Açuengui são do Complexo Pilar e ocorrem numa faixa que recobre o leste e sul do município e são representadas pela fácie com filitos, quartzo filitos e metassiltitos com intercalações subordinadas de micaxistas e quartzitos (IPT, 1981). A Suíte Granítica Sintectônica é representada pela Fácie Cantareira, que segundo IPT (1981), exibe corpos para-autóctones e alóctones, foliados, granulação fina a média, textura porfirítica frequente, contatos parcialmente concordantes e composição granodiorítica a granítica. Esta Fácie está em contato com as rochas do Grupo Açuengui, porém está restrita a uma pequena porção no sudeste do município. A Suíte Granítica Pós-tectônica apresenta a Fácie Itu que possui corpos graníticos a granodioríticos alóctones, istotropos, granulação fina a grossa, com textura sub-hipidiomórfica e hipidiomórfica granular (IPT, 1981). Esta Fácie aparece numa pequena porção a nordeste da área. Segundo ZAIN (1994) o Grupo Itararé atinge espessura de até 1.400 m no sudoeste do Estado, adelgando para nordeste. Na área

o Grupo se restringe à porção noroeste do município. Constituído predominantemente de arenitos com granulação variável, desde fina a conglomerática, argilosos, ocorrendo também pacotes expressivos de diamictitos e sedimentos pelíticos, apresentados por siltitos cinza, folhelhos e ritmitos (SAAD, 1977).

## **Geomorfologia**

O município de Pilar do Sul, segundo ROSS *et al* (1997), está situado no limite de duas unidades morfoesculturais: a Depressão Periférica Paulista e o Planalto Atlântico. A maior parte do município encontra-se no macrocompartimento da Depressão do Paranapanema, caracterizado por colinas com topos convexos com declividades que variam de 10% a 20% e altitudes que vão de 600 m a 700 m, drenagem de média a baixa densidade, padrão sub-retangular, vales abertos a fechados. Ainda neste macrocompartimento, as porções leste e oeste apresentam duas faixas com relevo de Morros Alongados e Espigões (IPT, 1981), topos angulosos a achatados, vertentes ravinadas com perfis retilíneos, com vales fechados e densidade de drenagem de média a alta, e áreas com suscetibilidade a atividade erosiva. A porção sudeste do município está inclusa no macrocompartimento do Planalto de Ibiúna/São Roque que apresenta morros altos com altitudes de 800 m a 1.100 m e declividades maiores que 20%, e que podem ultrapassar os 30%. Esta área é caracterizada por formas muito dissecadas, com vales entalhados associados a vales pouco entalhados e alta densidade de drenagem, estando sujeitas a processos erosivos agressivos com probabilidade de ocorrência de movimentos de massa e erosão linear com voçorocas. Entretanto, ocorrem porções onde a dissecação se mostra mais suave, com vales entalhados e densidade de drenagem de média a alta, sujeitas a forte atividade erosiva (ROSS *et al*, 1997).

## **Pedologia**

O município de Pilar do Sul, de acordo com OLIVEIRA *et al* (1999), apresenta predominantemente solos do grupo Latossolos Vermelhos e Argissolos Vermelhos-Amarelos. Os Latossolos Vermelhos estão localizados na porção oeste do município e ocorrem nos seguintes tipos: LV41 e LV60 caracterizados com distróficos, horizonte

A moderado, de textura argilosa e relevo suavemente ondulado, sendo que o segundo pode estar associado a Latossolos Vermelho-Amarelos. Os Argissolos Vermelho-Amarelos estão localizados na porção leste do município e ocorrem nos tipos PVA18 que apresenta textura média/argilosa, PVA21 que apresenta textura argilosa e cascalhenta/argilosa na fase não rochosa e PVA55 que apresenta textura argilosa e média/argilosa e fase não rochosa e rochosa, podendo associar-se a Latossolos Vermelho-Amarelos. Todos eles são distróficos, apresentam horizonte A moderado e relevo ondulado e fortemente ondulado. Em uma menor proporção, ao sul do município, ocorrem Cambissolos Háplicos do tipo CX6, que se caracterizam como distróficos de argila de baixa atividade, apresenta horizonte A moderado, textura argilosa e argilosa com cascalhos e relevo montanhoso, podendo associar-se Cambissolos Háplicos distróficos latossólicos.

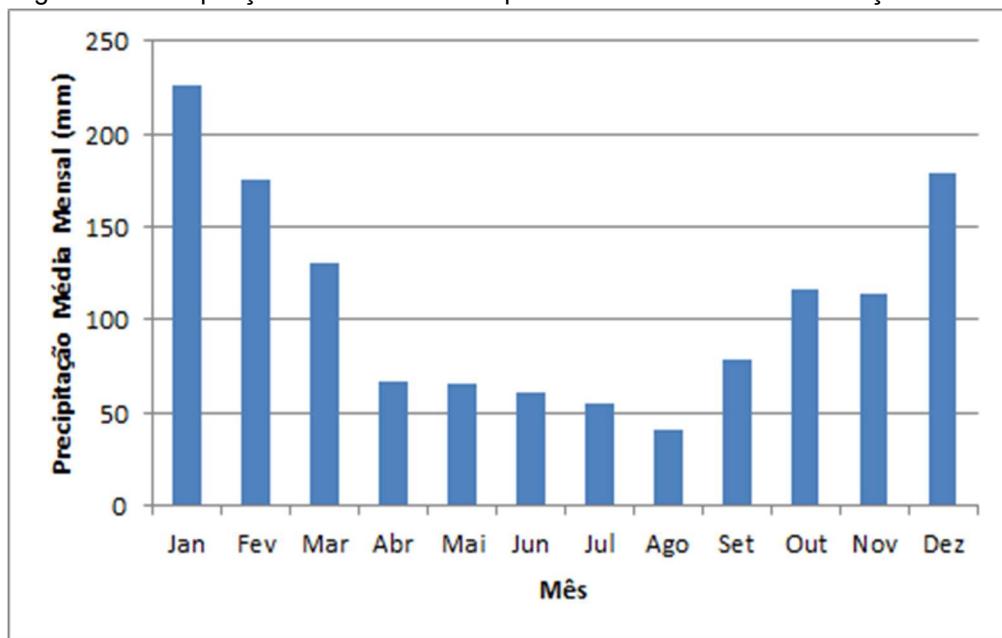
## Clima

Na área municipal de Pilar do Sul o clima, segundo a classificação Koeppen, é considerado como tipo Cwa, caracterizado pelo clima subtropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno. Segundo o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI, 2016), o município é caracterizado por apresentar temperatura média anual de 20,3°C, oscilando entre mínima média de 14,2°C e máxima média de 26,5°C. A precipitação média anual é de 1293,2 mm. Segundo o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE, 2017), o município de Pilar do Sul possui três estações pluviométricas com prefixos E4-028, E4-133 e E4-136. A análise das precipitações foi elaborada com base nos dados do posto pluviométrico E4-028 – Usina Batista, por apresentar a série mais longa de dados registrados.

A Figura 3 possibilita uma análise temporal das características das chuvas, apresentando a distribuição das mesmas ao longo do ano, bem como os períodos de maior e menor ocorrência. Verifica-se uma variação sazonal da precipitação média mensal com duas estações representativas, uma predominantemente seca e outra predominantemente chuvosa, apresentada na maior parte do município. O período mais chuvoso ocorre de dezembro a fevereiro, quando os índices de precipitação média mensal são superiores a 150 mm, enquanto que o mais seco corresponde aos

meses de abril a setembro com destaque para agosto, que apresenta média menor que 50 mm. Ressalta-se que os meses de janeiro e dezembro apresentam os maiores índices de precipitação, atingindo uma média de 226,25 mm e 179,05 mm, respectivamente. As alturas mensais de chuva são as acumuladas entre 7 horas do último dia do mês anterior até às 7 horas do último dia do mês considerado. A unidade de medida, 1 mm de chuva, equivale ao volume de 1 litro precipitado sobre uma superfície de 1 m<sup>2</sup> de área.

Figura 3 – Precipitação média mensal no período de 1937 a 2016 – Estação E4-028



Fonte: Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE (2017)

## Hidrografia

O município de Pilar do Sul localiza-se a leste da UGRHI 14, tendo como corpos d'água principais o Rio Turvo, cortando o município de noroeste a leste, o Rio do Pinhal, cortando o município de noroeste a sul, e o Rio Claro, que deságua no Rio Pinhal. Pertencente à sub-bacia do Alto Itapetininga, ainda conta com uma porção pouco significativa, inserida em outra sub-bacia que não pertence à UGRHI 14.

O manancial utilizado para abastecimento da sede de Pilar do Sul é o Ribeirão do Pilar, no ponto de captação, está enquadrado como Classe 2, segundo o Decreto Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 1977, que dispõe sobre o enquadramento dos corpos d'água do Estado de São Paulo. A vazão mínima Q<sub>7,10</sub> no ponto de captação é de 133 L/s.

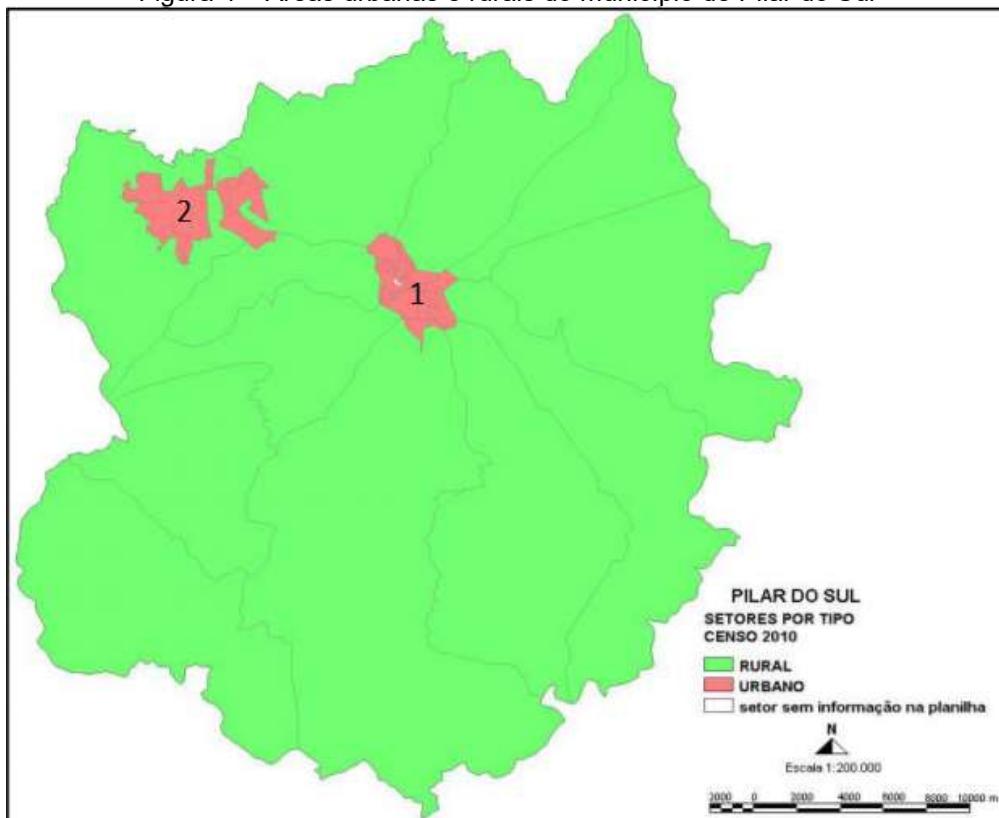
## **Vegetação**

Os remanescentes da vegetação original foram compilados no Sistema de Informações Florestais do Estado de São Paulo – SIFESP, do Instituto Florestal da SMA/SP, reunidos no Inventário Florestal do Estado de São Paulo, em 2009. Em Pilar do Sul, dos 68.500 ha de superfície de cobertura original, restam apenas 2.194,27 ha preenchidos por Matas e 14.018,74 ha por Capoeira, totalizando 16.213,01 ha, correspondendo a 23,67% da superfície total municipal. Ressalta-se que o município também possui 10.969,02 ha de superfície reflorestada, correspondendo a 16,01% da área total de Pilar do Sul. Quando comparados aos 17,5% correspondentes à cobertura vegetal original contabilizada para o Estado de São Paulo, decorrente da somatória de mais de 300 mil fragmentos, pode-se afirmar que a vegetação original remanescente do município de Pilar do Sul é regular.

## **Uso e Ocupação do Solo**

Na análise do uso do solo, uma das principais categorias a ser considerada é a divisão do território em zonas urbanas e zonas rurais. Segundo a relação dos setores censitários do Censo Demográfico de 2010, realizado pelo IBGE, o município tinha duas áreas urbanas, conforme indicado na Figura 4.

Figura 4 – Áreas urbanas e rurais do município de Pilar do Sul



Fonte: IBGE (2010)

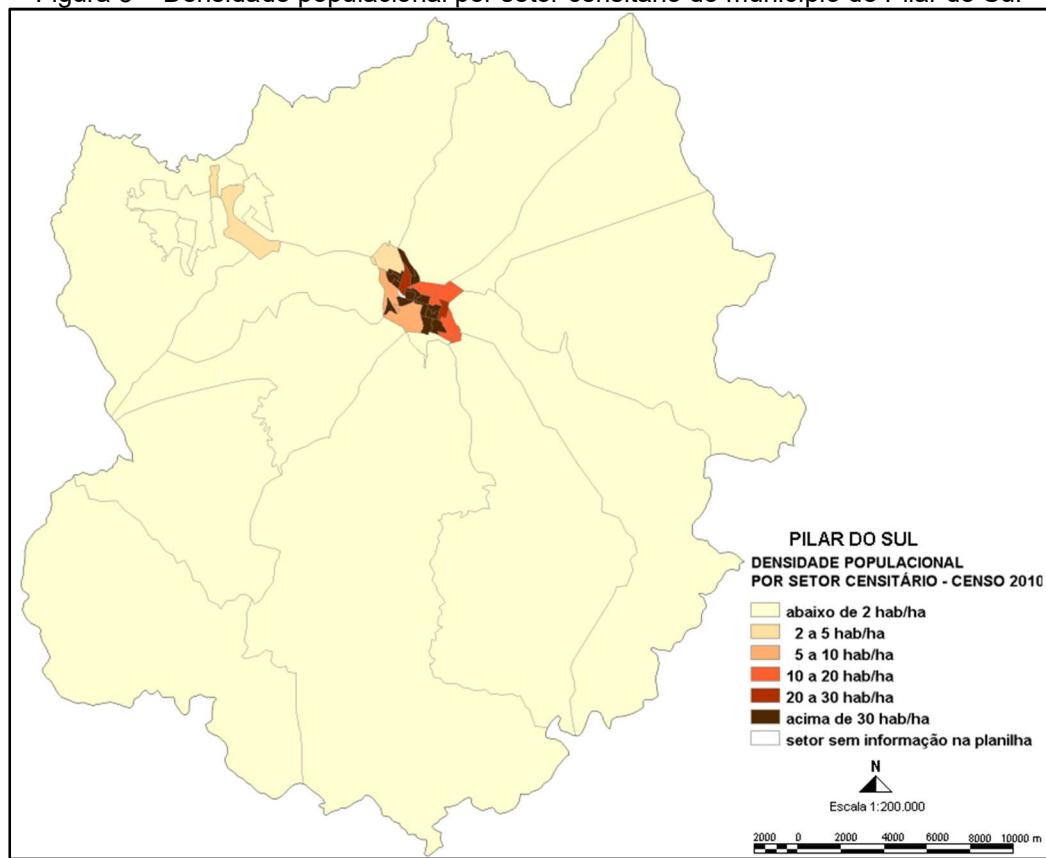
- 1-área urbana da sede municipal de Pilar do Sul;
- 2-área urbana do conglomerado de bairros Jardim Cananéia e Chácaras Reunidas que incluem o bairro Congonhas de Itapetininga.

Na área urbana da sede do distrito de Pilar do Sul, além dos usos residenciais, concentram-se também os usos institucionais e de comércio e serviços, especialmente na área central da cidade. Na área urbana dos loteamentos Jd. Cananéia e Chácaras Reunidas predominam os usos residenciais de chácaras de recreio. As áreas rurais do distrito de Pilar do Sul acham-se ocupadas predominantemente culturas e reflorestamentos, entremeados por matas nativas, concentradas especialmente ao longo dos rios e na porção sul do município. Junto aos principais eixos de penetração encontram-se bairros rurais dispersos pelo território municipal.

## Densidades de Ocupação

O município de Pilar do Sul tem uma superfície territorial de 681,248 km<sup>2</sup> (IBGE, 2017). Segundo projeções do IBGE para 2017, a população do município totaliza 28.718 habitantes, atingindo densidade média de 42,15 hab./km<sup>2</sup>. As densidades de ocupação do território, por setores censitários, registradas pelo Censo de 2010 acham-se representadas na Figura 5. Verifica-se que as maiores densidades, ou seja, as densidades superiores a 30 hab./ha se localizam somente na sede do distrito de Pilar do Sul, ladeada por setores de mais baixa densidade correspondentes às áreas de expansão da cidade. Nas áreas urbanas dos loteamentos Jardim Cananéia, Chácaras Reunidas e Congonhas as densidades mais elevadas atingem patamares entre 2 e 5 hab/ha. Na maior parte dessas áreas urbanas e em toda a zona rural as densidades médias são inferiores a 2 hab/ha.

Figura 5 – Densidade populacional por setor censitário do município de Pilar do Sul



## 2.1.2. Aspectos Sociais e Econômicos

### Dinâmica Populacional

O município de Pilar do Sul possuía uma população de 26.406 (IBGE, 2010), com projeção do IBGE para o ano de 2017 com 28.718 habitantes, que representa 1,39% do total populacional da Região Metropolitana de Sorocaba, com 2.066.986 habitantes. Sua extensão territorial de 681,248 km<sup>2</sup> impõe uma densidade demográfica em 2017 de 42,15 hab./km<sup>2</sup>, inferior à densidade da Região Metropolitana de Sorocaba – RMS, de 178 hab./km<sup>2</sup> e à densidade do Estado, de 180,28 hab/km<sup>2</sup> (EMPLASA, 2017). Na dinâmica da evolução populacional, Pilar do Sul apresenta uma taxa geométrica de crescimento anual de 1,29% ao ano (2010-2016), inferior à média da RMS, de 1,67% a.a. e à do Estado, de 1,37% a.a. O município possui uma taxa de urbanização de 78,57% (IBGE, 2010). A Tabela 1 apresenta as principais características demográficas e a Figura 6 apresenta a porcentagem da população urbana e rural no município de Pilar do Sul.

Tabela 1 – Principais Aspectos Demográficos do Município, RMS e Estado de SP

Unidade territorial	População total (hab.) 2016	Taxa de urbanização (%) 2010	Área (km <sup>2</sup> )	Densidade (hab/km <sup>2</sup> )	Taxa geométrica de crescimento 2010-2016 (% a.a.)
Pilar do Sul	28.516	78,57	681,123	41,87	1,29
RMS	2.066.986	-	11.612,33	178	1,67
Estado de SP	44.749.699	-	248.222,36	180,28	1,37

Fonte: IBGE e EMPLASA (2017)

### Características Econômicas

Apesar do município de Pilar do Sul ter sido classificado com perfil agropecuário com relevância no Estado, o setor de serviços apresenta maior participação no PIB do município, seguido da agropecuária e, por fim, a indústria. Na cidade de São Paulo e no Estado, a participação dos setores segue com serviços, indústria e, por fim, agropecuária nos PIBs correspondentes, conforme pode ser observado na Tabela 2. O valor do PIB anual em Pilar do Sul (2014) é de R\$ 449.225.000,00 e o PIB per capita é de R\$ 15.988,36 por hab./ano, não superando o

valor da cidade de São Paulo, que é de R\$ 52.796,78 e nem o PIB per capita estadual de, R\$ 42.197,87. A representatividade de Pilar do Sul no PIB do Estado é de 0,024%, o que demonstra baixa expressividade, considerando que a cidade de São Paulo participa com 33,80%.

Tabela 2 – Participação do Valor Adicionado Setorial no PIB Total per capita

Unidade territorial	Participação do Valor Adicionado (%)			PIB (a preço corrente)		
	Serviços	Agropecuária	Indústria	PIB (milhões de reais)	PIB per capita (reais)	Participação no Estado (%)
Pilar do Sul	66,21	24,56	9,23	449,225	15.988,36	0,02
Cidade de SP	85,99	0,01	14,00	628.064,882	52.796,78	33,80
Estado de SP	66,46	1,84	31,7	1.858.196	42.197,87	100

Fonte: IBGE (2014)

## Emprego e Renda

Em 2014, o salário médio mensal era de 2,2 salários mínimos. A proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 23,5%. Na comparação com os salários de outros municípios do estado, ocupava a posição 278 de 645 municípios do estado. Já na comparação com municípios do Brasil todo, ficava na posição 1041 de 5570. Considerando domicílios com rendimentos mensais de até meio salário mínimo por pessoa (IBGE, 2010), tinha 36,5% da população nessas condições, o que o colocava na posição 97 de 645 dentre os municípios do estado e na posição 3257 de 5570 dentre os municípios do Brasil.

Ao comparar a participação dos vínculos empregatícios dos setores econômicos, no total de vínculos, em Pilar do Sul, observa-se que a maior representatividade fica por conta do setor de serviços com 46,49%, seguido do comércio com 27,5%, do agropecuário com 17,44%, da indústria com 6,77% e, por fim, a construção civil com 1,5%. Na região de governo, a maior representatividade é do setor de serviços, seguido da indústria, comércio, construção civil e agropecuário. No Estado os serviços assumem a liderança no emprego, vindo em seguida o comércio e indústria, respectivamente, ficando o setor agropecuário como o de menor representatividade, acompanhado de perto pelo setor da construção civil. A Tabela 3 apresenta a participação dos vínculos empregatícios dos setores econômicos.

Tabela 3 – Participação dos Vínculos Empregatícios por Setor (%)

Unidade territorial	Agropecuário	Comércio	Construção Civil	Indústrias	Serviços
Pilar do Sul	17,44	27,8	1,50	6,77	46,49
RG de Sorocaba	2,74	21,52	3,72	30,02	42,00
Estado de São Paulo	2,40	19,78	4,96	18,36	54,50

Fonte: SEADE (2015)

Ao comparar o rendimento médio de cada setor nas unidades territoriais, observa-se que a indústria detém o maior valor para a Região de Governo (RG) de Sorocaba e para o Estado de São Paulo, mas para o município de Pilar do Sul, os serviços detêm o maior valor. A construção civil por sua vez, é o setor que apresenta valor mais baixo para Pilar do Sul.

Quanto ao rendimento médio total, Pilar do Sul detém o menor valor dentre as unidades, ficando abaixo do valor registrado na região de governo, conforme a Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Rendimento Médio nos Vínculos Empregatícios por Setor e Totais (em reais correntes)

Unidade Territorial	Agropecuário	Comércio	Construção Civil	Indústria	Serviços	Rendimento Médio no Total
Pilar do Sul	1521,36	1593,90	1385,31	1589,01	1834,69	1690,29
RG de Sorocaba	1404,95	1853,39	2116,24	3421,59	2320,54	2515,60
Estado de São Paulo	1785,00	2237,39	2499,15	3468,54	3164,58	2970,72

Fonte: SEADE (2015)

## Infraestrutura Urbana e Social

A seguir, serão relacionadas as estruturas disponíveis à circulação e dinâmica das atividades sociais e produtivas, além da indicação a respeito do atendimento às necessidades básicas da população pelo setor público em Pilar do Sul.

### Sistema Viário

O principal acesso ao município é garantido pela Rodovia Presidente Castelo Branco (SP-280), ou pela Rodovia Raposo Tavares (SP 270), ou até mesmo pela Rodovia dos Bandeirantes (SP 250), passando pela Rodovia Francisco José Ayub (SP

264). Complementam a rede rodoviária de Pilar do Sul as rodovias e estradas abaixo relacionadas:

- a Rodovia José de Carvalho (SP 250) e a estrada municipal Pilar do Sul – Turvo dos Góis, a leste, que ligam o município a Piedade;
- a Vicinal Benedito Antônio Brisola, José de Almeida Rosa (SP 260) e a Rodovia Nestor Fogaça (SP 250), que ligam o município a São Miguel Arcanjo;
- a Estrada municipal Pilar do Sul – Sarapuí, que liga Pilar do Sul a Sarapuí.

### Energia

Segundo a Fundação SEADE, o município de Pilar do Sul registrou em 2009 um total de 10.105 consumidores de energia elétrica, que fizeram uso de 26.961 MWh. Em 2010, foi registrado um total 10.339 consumidores, o que representa um aumento de 2,3% em relação ao ano anteriormente analisado. Esse aumento é abaixo dos 3,5% apresentado na RG e muito próximo ao do Estado com 2,5%. Isso repercutiu diretamente no acréscimo do consumo de energia que, em 2010, passou para 29.483 MWh, o que significa um aumento de 9,3%, superior ao registrado na RG de 0,25% e ao do Estado, de 5,9%.

### Saúde

Em Pilar do Sul, segundo dados do IBGE (2009), há 12 estabelecimentos de saúde, dos quais cinco são públicos municipais e cinco são privados. Destes, quatro atendem também o SUS. Há no município um estabelecimento que possui o serviço de internação, e conta com 38 leitos para o sistema de saúde privado/SUS.

Em relação à taxa de mortalidade infantil, destaca-se o fato de Pilar do Sul apresentar aumento nos índices no período de 2013 a 2014 e uma queda em 2015. Já na RG e no Estado há ligeira queda nas taxas em 2015. A Tabela 5 a seguir apresenta os índices.

Tabela 5 – Taxa de Mortalidade Infantil (por mil nascidos vivos) – 2013, 2014 e 2015

Unidade territorial	2013	2014	2015
Pilar do Sul	13,23	19,61	16,20
RG de Sorocaba	13,23	13,13	11,04
Estado de SP	11,47	11,43	10,66

Fonte: SEADE (2015)

### Ensino

Segundo informações do IBGE (2015), há no município 7 estabelecimentos de ensino pré-escolar, sendo que 5 deles são públicos municipais e 2 são privados. A rede pública municipal recebeu, ao todo, 713 matrículas e a rede privada, 40. As escolas públicas municipais dispõem de 35 professores, enquanto que as escolas privadas, de 7.

O ensino fundamental é oferecido em 12 estabelecimentos e destes, 6 são públicos municipais, 4 estaduais e 2 privados. As escolas públicas municipais foram responsáveis por 1979 matrículas, as estaduais por 1617 e as escolas privada, por 183. A rede pública municipal possui 133 profissionais, a estadual 87 e a rede privada, 38.

O ensino médio é oferecido em 6 estabelecimentos em Pilar do Sul. Destes, 4 são estaduais e 2 privados. A rede estadual recebeu ao todo 1.146 matrículas e possui 81 professores e a rede privada, possui 67 alunos matriculados e dispõe de 24 profissionais.

A taxa de analfabetismo da população com 15 anos ou mais de idade permite traçar o perfil municipal em relação à educação. Assim, Pilar do Sul, com uma taxa de 7,34% (IBGE, 2010), possui maior percentual de analfabetos que a RG e o Estado. Os valores das taxas das três unidades territoriais estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Taxa de Analfabetismo

Unidade territorial	Taxa de Analfabetismo da População de 15 anos e mais (%)
Pilar do Sul	7,34
RG de Sorocaba	4,40
Estado de SP	4,33

Fonte: IBGE (2010)

Segundo o IDEB (Índice de Desenvolvimento da Educação Básica), criado em 2007 pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), formulado para medir a qualidade do aprendizado nacional e estabelecer metas para a melhoria do ensino, Pilar do Sul teve um índice de 6,5 em 2015, em relação a todas as séries.

O IDEB funciona como um indicador nacional que possibilita o monitoramento da qualidade da Educação pela população por meio de dados concretos, com o qual a sociedade pode se mobilizar em busca de melhorias. Para tanto, o IDEB é calculado a partir de dois componentes: a taxa de rendimento escolar (aprovação) e as médias de desempenho nos exames aplicados pelo Inep. Os índices de aprovação são obtidos a partir do Censo Escolar, realizado anualmente.

As médias de desempenho utilizadas são as da Prova Brasil, para escolas e municípios, e do Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB), para os estados e o País, realizados a cada dois anos. As metas estabelecidas pelo IDEB são diferenciadas para cada escola e rede de ensino, com o objetivo único de alcançar 6 pontos até 2022, média correspondente ao sistema educacional dos países desenvolvidos.

### **Qualidade de Vida e Desenvolvimento Social**

O perfil geral do grau de desenvolvimento social de um município pode ser avaliado com base nos indicadores relativos à qualidade de vida, representados também pelo Índice Paulista de Responsabilidade Social – IPRS. Esse índice sintetiza a situação de cada município, no que diz respeito à riqueza, escolaridade, longevidade e, desde a edição de 2008, foram incluídos dados sobre meio ambiente. Tratava-se de um instrumento de políticas públicas, desenvolvido pela Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, numa parceria entre o seu Instituto do Legislativo Paulista (ILP) e a Fundação SEADE. Reconhecido pela ONU e outras unidades da federação, permite a avaliação simultânea de algumas condições básicas de vida da população.

O IPRS, como indicador de desenvolvimento social e econômico foi atribuído aos 645 municípios do Estado de São Paulo, classificando-os em 5 grupos. Nos anos de 2008 e 2010 Pilar do Sul classificou-se no grupo 3, que engloba os municípios com nível de riqueza baixo, mas com bons indicadores nas demais dimensões. Em síntese,

no âmbito do IPRS, o município registrou avanço no indicador riqueza. Em termos de dimensões sociais, os *scores* de riqueza e longevidade são inferiores à média do Estado e no quesito escolaridade o *score* é superior à média estadual. A Tabela 7 apresenta o IPRS do município.

Tabela 7 – Índice Paulista de Responsabilidade Social – Posição no estado em 2008, 2010 e 2012

IPRS	2008	2010	2012	Comportamento das variáveis
Riqueza	583 <sup>a</sup>	574 <sup>a</sup>	572 <sup>a</sup>	Somou pontos em seu escore de riqueza no último período, e avançou posições nesse ranking. Entretanto, seu índice situa-se abaixo do nível médio estadual.
Longevidade	304 <sup>a</sup>	305 <sup>a</sup>	304 <sup>a</sup>	Somou um ponto nesse escore no período, e situa-se abaixo da média estadual. Com esse desempenho, perdeu uma posição nesse ranking.
Escolaridade	188 <sup>a</sup>	259 <sup>a</sup>	255 <sup>a</sup>	Acrescentou pontos nesse escore no período e está acima da média estadual. A despeito deste desempenho, o município perdeu posições no ranking dessa dimensão.

Fonte: SEADE (2012)

### 2.1.3. Aspectos Ambientais

Este item reúne elementos que permitem avaliar preliminarmente as condições do meio ambiente do município no que diz respeito ao cumprimento de normas, legislação e instrumentos que visem ao bem-estar da população e ao equilíbrio entre processos naturais e os socioeconômicos. No que diz respeito ao indicador Meio Ambiente, as características de Pilar do Sul estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Indicadores Ambientais

Tema	Conceito	Existência
Organização para questões ambientais	Unidade de Conservação Ambiental Municipal	Não
	Legislação Ambiental (Lei de Zoneamento Especial de Interesse Ambiental ou Lei Específica para Proteção ou Controle Ambiental)	Sim
	Existência de Unidade Administrativa Direta (Secretaria, diretoria, coordenadoria, departamento, setor, divisão, etc.)	Sim
Resíduos Sólidos	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos	Não
Saneamento Básico	Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico	Sim

Fonte: PMISB (2014)

A Prefeitura Municipal de Pilar do Sul conta em sua estrutura organizacional com a Secretaria de Desenvolvimento Rural e Meio Ambiente e com a Secretaria de Urbanismo e Desenvolvimento de Edificações.

A primeira possui atribuições ligadas às questões referentes à limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos do município, e a Secretaria de Urbanismo e Desenvolvimento de Edificações trata, entre outras, das questões relativas à drenagem urbana municipal. As normas e instrumentos legais que permitem regular e fiscalizar os aspectos ambientais municipais, estão explicitados no Plano Diretor do Município de Pilar do Sul, instituído pela Lei Complementar nº 208/2006 de 27 de outubro de 2006, nos termos do artigo 182 da Constituição Federal, da Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 – Estatuto da Cidade, e da Lei Orgânica do Município.

## 2.2. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE PILAR DO SUL

### 2.2.1. Resíduos Sólidos Urbanos

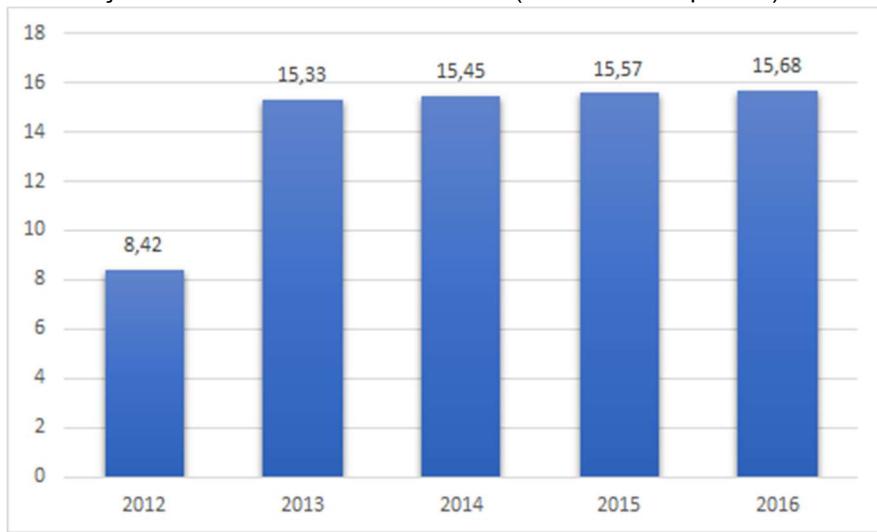
A PNRS define Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) como: os originários de atividades domésticas em residências urbanas (resíduos domiciliares) e os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (resíduos de limpeza urbana).

## Características Físicas

### Geração de Resíduos

De acordo com a CETESB (2016), Pilar do Sul produz 15,68 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia. A Figura 6 mostra a geração de RSU de 2012 a 2016.

Figura 6 – Geração de Resíduos Sólidos Urbanos (em toneladas por dia) de 2012 a 2016



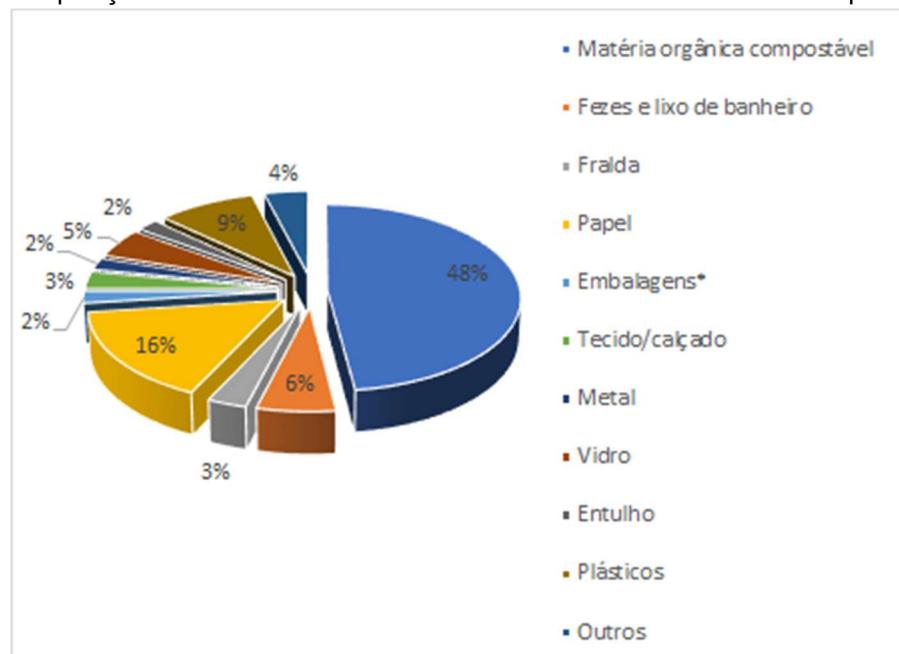
Fonte: CETESB (2016)

O município de Pilar do Sul possui uma população de 28.516 habitantes (IBGE, 2016) e uma geração de resíduos sólidos urbanos de 15.680 kg/dia. Portanto, a geração *per capita* de RSU em 2016 foi de 0,55 kg/hab.dia.

### Composição Gravimétrica

O município de Pilar do Sul não tem o levantamento da composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares. Por isso, foi adotado como composição gravimétrica, a mesma composição do município de Sorocaba, já que Pilar do Sul pertence à Região Metropolitana de Sorocaba, mostrada na Figura 7. É necessário ressaltar que mesmo pertencendo a mesma região, Pilar do Sul provavelmente possui sua composição gravimétrica diferente, devido aos níveis de urbanização, escolaridade e dinâmica econômica diferentes da RMS.

Figura 7 – Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares do município de Sorocaba



Fonte: SANEX (2011)

\*Embalagens: Papel, plástico, longa vida e alumínio.

Adotando a mesma composição gravimétrica de Sorocaba para o município de Pilar do Sul, a quantidade gerada para cada material está mostrada na Tabela 9.

Tabela 9 – Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares do município de Pilar do Sul baseada no município de Sorocaba

Materiais	Participação (%)	Quantidade (kg/mês)
Matéria orgânica compostável	48	225.792
Fezes e resíduo de banheiro	6	28.224
Fralda	3	14.112
Papel	16	75.264
Embalagens*	2	9.408
Tecido/calçado	3	14.112
Metal	2	9.408
Vidro	5	23.520
Entulho	2	9.408
Plásticos	9	42.336
Outros	4	18.816
Total	100	470.400

Fonte: SANEX (2011)

### Peso Específico Aparente

Peso específico aparente é o peso do resíduo solto em função do volume ocupado livremente, sem qualquer compactação, expresso em kg/m<sup>3</sup>. Sua determinação é fundamental para o dimensionamento de equipamentos e instalações. Na ausência de dados mais precisos, como é o caso de Pilar do Sul, utiliza-se os valores de 230 kg/m<sup>3</sup> para o peso específico do resíduo domiciliar, de 280 kg/m<sup>3</sup> para o peso específico dos resíduos de serviços de saúde e de 1.300 kg/m<sup>3</sup> para o peso específico de entulho de obras.

### Teor de Umidade

Teor de umidade representa a quantidade de água presente no resíduo, medida em percentual do seu peso. Este parâmetro se altera em função das estações do ano e da incidência de chuvas, podendo-se estimar um teor de umidade variando em torno de 40 a 60%.

### Grau de compactação

Grau de compactação é a redução do volume que uma massa de resíduo pode sofrer quando compactada. Submetido a uma pressão de 4 kg/cm<sup>2</sup>, o volume do resíduo pode ser reduzido de um terço (1/3) a um quarto (1/4) do seu volume original.

Analogamente à compressão, a massa de resíduo tende a se expandir quando é extinta a pressão que a compacta, sem, no entanto, voltar ao volume anterior. Esse fenômeno chama-se empolação e deve ser considerado nas operações de aterro com resíduo.

## Características Químicas

### Poder Calorífico

Esta característica química indica a capacidade potencial de um material desprender determinada quantidade de calor quando submetido à queima. O poder calorífico médio do resíduo domiciliar se situa na faixa de 5.000 kcal/kg.

### Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico indica o teor de acidez ou alcalinidade dos resíduos. Em geral, situa-se na faixa de 5 a 7.

### Composição Química

A composição química consiste na determinação dos teores de cinzas, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, resíduo mineral total, resíduo mineral solúvel e gorduras.

### Relação Carbono/Nitrogênio (C:N)

A relação carbono/nitrogênio indica o grau de decomposição da matéria orgânica do resíduo nos processos de tratamento/disposição final. Em geral, essa relação encontra-se na ordem de 35:1 a 20:1.

## Características Biológicas

As características biológicas do resíduo são aquelas determinadas pela população microbiana e dos agentes patogênicos presentes no resíduo que, ao lado das suas características químicas, permitem que sejam selecionados os métodos de tratamento e disposição final mais adequados.

O conhecimento das características biológicas dos resíduos tem sido muito utilizado no desenvolvimento de inibidores de cheiro e de retardadores/acceleradores

da decomposição da matéria orgânica, normalmente aplicados no interior de veículos de coleta para evitar ou minimizar problemas com a população ao longo do percurso dos veículos. Da mesma forma, estão em desenvolvimento processos de destinação final e de recuperação de áreas degradadas com base nas características biológicas dos resíduos.

## **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos**

### Acondicionamento

O acondicionamento é a colocação do resíduo em embalagens adequadas para coleta, transporte, armazenamento e disposição final seguros.

Os resíduos sólidos em Pilar do Sul são acondicionados em sacos pretos e colocados nas lixeiras suspensas em frente aos domicílios.

Os resíduos recicláveis são colocados em sacos diferenciados (de supermercado, por exemplo) dos sacos pretos, para identificá-los como recicláveis.

### Coleta e Transporte

Coletar o resíduo significa recolher os resíduos acondicionados e apresentados por seu gerador e encaminhar ao destino: estação de transferência (conhecido como transbordo), tratamento ou disposição final.

Os resíduos sólidos domiciliares são coletados de segunda a sábado, por 4 caminhões da prefeitura municipal sem compactação (SEDRUMA, 2017) e eram levados para o aterro da cidade diretamente, pois não há estação de transbordo. A coleta é feita segundo a distribuição de bairros mostrados na Tabela 10 e 11.

Tabela 10 – Cronograma de coleta de resíduos domiciliares por bairro

2 <sup>a</sup> , 4 <sup>a</sup> e 6 <sup>a</sup> feira	3 <sup>a</sup> , 5 <sup>a</sup> e sábado
<ul style="list-style-type: none"> <li>Centro: Rua Antônio Paulista para cima e Major Euzébio de Moraes Cunha para o centro.</li> <li>Jardim Paiotti</li> <li>“Vila do Gazio”</li> <li>Campo Grande (parte baixa)</li> <li>Nova Pilar I, II e III</li> <li>Campestre I e II até o Recanto Vale Verde</li> <li>Área Industrial / Canil / Refloresta</li> <li>Olaria Toledo / José Maria / Recinto de Festas “Chico Mineiro”</li> <li>Rua Durvalino Costa e Silva (parcial)</li> <li>Avenida Miguel Petrere (parcial)</li> <li>Loteamento atrás do CTC (dos Quincas)</li> </ul>	<p>Centro: Rua Antônio Paulista para baixo e Major Euzébio de Moraes Cunha para o Marajoara</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Jardim Primavera</li> <li>Jardim Marajoara</li> <li>Bairro Santa Helena</li> <li>Beira Rio</li> <li>Sub-estação</li> <li>Jardim Sol Nascente</li> <li>Recanto Paraíso</li> <li>Jardim Esperança</li> <li>Jardim Colinas</li> <li>Vila São Manoel</li> <li>Campo Grande (parte alta)</li> <li>Santa Cecília</li> <li>Jardim Nascimento</li> <li>Jardim Ayub</li> <li>Jardim Pinheiro</li> <li>Jardim Ipê</li> <li>Bonanza</li> <li>Vale Verde (CDHU)</li> </ul>

Fonte: SEDRUMA (2015)

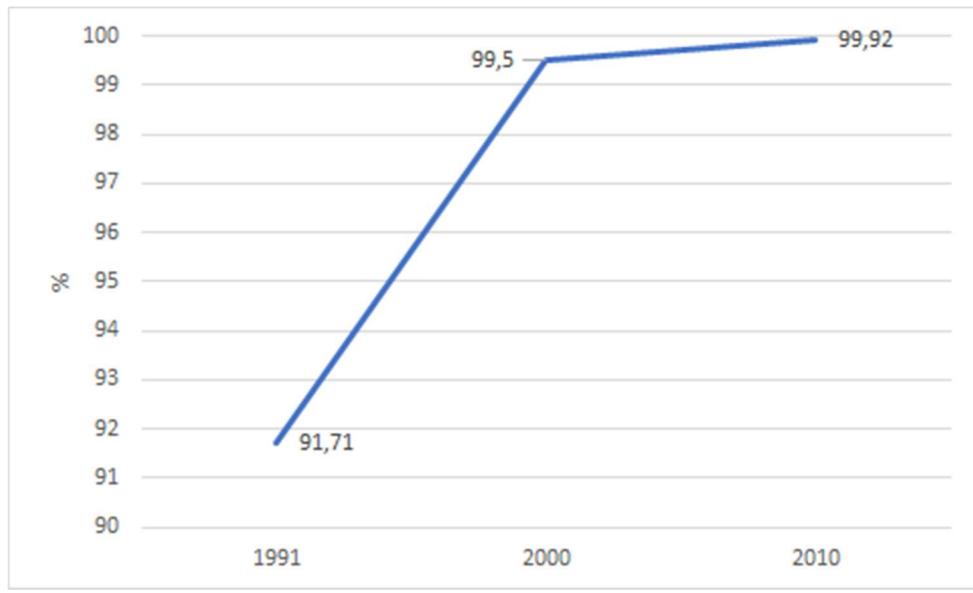
Tabela 11 – Cronograma de coleta de resíduos nos bairros rurais e expansão urbana

2 <sup>a</sup> feira	3 <sup>a</sup> feira	4 <sup>a</sup> feira	5 <sup>a</sup> feira	6 <sup>a</sup> feira
<ul style="list-style-type: none"> <li>Cananéia</li> <li>Reunidas</li> <li>Panorama</li> <li>Vieiras</li> <li>Turvo dos Brisolas</li> <li>“Rodovia Francisco José Ayub”</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caxangá</li> <li>Turvo dos Antunes</li> <li>Ilha</li> <li>Sossego</li> <li>Ribeirão</li> <li>Turvo de Góes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cananéia</li> <li>Reunidas</li> <li>Barra</li> <li>Bandeiras</li> <li>Boa Vista</li> <li>Pinhalzinho</li> <li>Meia-légua</li> <li>Chapadão</li> <li>Alegre</li> <li>Ponte Alta</li> <li>Pombal</li> <li>Lavrinha</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>“Rodovia Nestor Fogaça”</li> <li>Pinhal de Cima</li> <li>Turvinho</li> <li>Usina</li> <li>Paineira</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cananéia</li> <li>Reunidas</li> <li>Vieiras</li> <li>Turvo dos Brisolas</li> <li>“Rodovia Francisco José Ayub”</li> </ul>

Fonte: SEDRUMA (2015)

Segundo o censo 2010 do IBGE, 99,92% do município de Pilar do Sul é atendido com a coleta dos resíduos sólidos urbanos. A Figura 8 mostra a evolução do atendimento à coleta de resíduo no município nos últimos censos do IBGE.

Figura 8 – Coleta de resíduo – Nível de Atendimento – Censo Demográfico (Em %) – 1991, 2000 e 2010



Fonte: IBGE (2010)

### Tratamento

O tratamento de RSU é uma série de procedimentos que altera as características físicas, químicas ou biológicas dos resíduos, de forma controlada, com o objetivo de:

- Reduzir a quantidade de resíduos;
- Eliminar ou reduzir os poluentes que conferem periculosidade ao resíduo;
- Tornar o resíduo adequado para sua disposição no solo;
- Recuperar materiais passíveis de reaproveitamento.

### Tratamento Mecânico

No tratamento mecânico são realizados processos físicos geralmente no intuito de separar (usinas de triagem) ou alterar (reciclagem) o tamanho físico dos resíduos. Neste processo não ocorrem reações químicas entre os componentes como nos muitos casos do tratamento térmico.

Os maiores exemplos de tratamento mecânico de resíduos são encontrados no setor de reciclagem. Muitas vezes, os processos de reciclagem de produtos são divididos em várias etapas que agem de maneira interdependente. Em alguns casos

como na reciclagem de resíduos eletrônicos, os processos mecânicos costumam ser complexos.

### Tratamento Bioquímico

O tratamento bioquímico ocorre através da ação de grupos de seres vivos, (em sua maioria microrganismos como bactérias e fungos, mas também organismos maiores como lesmas e minhocas), que ao se alimentarem dos resíduos, quebram suas moléculas grandes transformando-as em uma mistura de substâncias e moléculas menores. Dependendo de alguns fatores como, por exemplo, a temperatura, pressão e acidez dessa mistura de moléculas, as substâncias resultantes desse processo podem reagir entre si quimicamente, caracterizando assim o processo bioquímico.

Em alguns casos só ocorre o processo biológico, em outros somente o químico. Isso vai depender da tecnologia e metodologia utilizada.

Os processos de tratamento bioquímico mais conhecidos são:

**Biodigestão Anaeróbia:** Decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigênio nos chamados Biodigestores ou Centrais de Biogás.

**Compostagem:** Decomposição da matéria orgânica na presença de oxigênio em Usinas de Compostagem.

### Tratamento Térmico

No tratamento térmico, os resíduos recebem uma grande quantidade de energia em forma de calor a uma temperatura mínima que varia de acordo com a tecnologia aplicada (Temperatura de reação) durante certa quantidade de tempo (Tempo de reação) tendo como resultado uma mudança nas suas características como, por exemplo, a redução de volume, devido a diversos processos físico-químicos que acontecem durante o processo.

Pode-se diferenciar 5 principais processos de tratamento térmicos separados em função da temperatura de operação e o meio onde ocorre o processo. São eles:

- Secagem: Retirada de umidade dos resíduos com uso de correntes de ar. Ocorre na presença do ar atmosférico e temperatura ambiente.
- Pirólise: Decomposição da matéria orgânica a altas temperaturas e na ausência total ou quase total de oxigênio. As temperaturas do processo podem variar de 200 a 900°C.
- Gaseificação: Transformação de matéria orgânica em uma mistura combustível de gases (gás de síntese). Na maioria dos processos não ocorre uma oxidação total da matéria orgânica em temperaturas variando entre 800 e 1600°C.
- Incineração: Oxidação total da matéria orgânica com auxílio de outros combustíveis a temperaturas variando entre 850 e 1300°C
- Plasma: Desintegração da matéria para a formação de gases.

O único tratamento de resíduos existente no município de Pilar do Sul é o da reciclagem através da coleta seletiva.

#### Disposição Final Ambientalmente Adequada

A disposição final ambientalmente adequada, segundo a PNRS, é a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Os resíduos sólidos urbanos do município de Pilar do Sul são dispostos no aterro em vala não-controlado (que não é considerado ambientalmente adequado). O aterro localiza-se na Rodovia SP 250 km 138, no bairro do Avaré, possui uma área em torno de 24.620 m<sup>2</sup> e atualmente está fechado pela CETESB de Sorocaba. A CETESB se pronunciou conforme os parágrafos a seguir.

“A CETESB como órgão licenciador e fiscalizador de fontes de poluição e dos recursos naturais estabeleceu indicador para avaliação de qualidade de sistemas de destinação de resíduos sólidos (SDRS) domésticos, estações de transbordo de resíduos sólidos e unidades de compostagem (IQR, IQT e IQC). O acompanhamento da qualidade operacional desses sistemas era semestral e a partir de 2017 foi alterada para quadrimestral, mediante a realização de vistorias periódicas pelos Agentes Credenciados da CETESB.

Com relação ao IQR, considerando o porte dos municípios e as soluções sanitária e ambientalmente adequadas, são utilizados os sistemas de aterros sanitários convencionais e os aterros em valas.

No caso do município de Pilar do Sul, o SDRS foi licenciado junto à CETESB para sua implantação na modalidade de aterro em valas, o qual permanece em operação. Na vistoria realizada em maio de 2017 para atualização do IQR foram verificadas alterações na forma de desenvolvimento dos trabalhos, com a disposição de resíduos sólidos sobre áreas já encerradas, podendo resultar na instabilidade da massa de resíduos. Essa alteração no modo operacional resultou na imposição de penalidade de advertência ao município para que fossem adotadas as medidas de adequação à concepção originalmente licenciada do SDRS.

O responsável pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente formalizou junto à Agência Ambiental de Sorocaba as medidas adotadas para adequação do modo operacional à concepção licenciada ambientalmente, as quais serão verificadas em nova vistoria a ser realizada pela CETESB nessas instalações”.

O aterro de Pilar do Sul, mesmo que volte às operações, tem sua licença de operação até 2018, período este em que a vida útil termina. A Figura 9 mostra a vista de satélite do aterro de Pilar do Sul.

Figura 9 – Vista de satélite do aterro de Pilar do Sul



Fonte: Google Maps (2017)

O Aterro Sanitário é a forma de disposição final mais conhecida mundialmente. Deve ser projetado para receber e tratar o resíduo produzido pelos habitantes de uma cidade, com base em estudos de engenharia, para reduzir ao máximo os impactos causados ao meio ambiente e evitando danos à saúde pública.

### **Tipos de Aterro Sanitário**

Os aterros sanitários podem ser divididos basicamente em dois tipos: aterro convencional e aterro em vala. O aterro convencional é formado por camadas de resíduos compactados, que são sobrepostas acima do nível original do terreno resultando em configurações típicas de “escada” ou de “troncos de pirâmide”. O aterro em valas (trincheiras) visa facilitar a operação do aterramento dos resíduos e a formação das células e camadas; assim sendo, tem-se o preenchimento total da trincheira, que deve devolver ao terreno a sua topografia inicial. A seguir é apresentada minuciosamente a descrição dos dois tipos de aterros. (CETESB, 2017)

#### Aterro em vala

O aterro em vala consiste no preenchimento de valas escavadas com dimensões apropriadas, onde os resíduos são depositados sem compactação e a sua cobertura com terra é realizada manualmente. Os equipamentos são, portanto, imprescindíveis apenas na fase de abertura das valas. O confinamento dos resíduos sem compactação impede o aproveitamento integral da área a ser aterrada, fato que torna esse processo de utilização não recomendada para a maioria das comunidades com produção de resíduos superior a 10 toneladas por dia. Acima dessa produção, a sua utilização implica na abertura constante de valas, tornando-o inviável técnica e economicamente. A escavação de valas exige também condições favoráveis tanto no que se refere à profundidade e uso do lençol freático, como na constituição do solo. Os terrenos com lençol freático aflorante ou muito próximo da superfície são impróprios para a construção desses aterros, uma vez que possibilitam a contaminação dos aquíferos. Os terrenos rochosos também não são indicados devido às dificuldades de escavação. Outro fator limitante são os solos excessivamente arenosos, já que estes não apresentam coesão suficiente, causando o

desmoronamento das paredes das valas. Quando as condições forem semelhantes às descritas, recomenda-se o estudo de outras alternativas construtivas para os aterros sanitários, a despeito da eventual inviabilidade econômica. Nas escavações das valas pode ser utilizado praticamente qualquer um dos equipamentos que têm capacidade de escavação. Entretanto, deve-se ter em mente que as comunidades de pequeno porte e escassos recursos financeiros dispõem apenas de máquinas leves, como as retroescavadeiras, devendo, portanto, essa operação estar condicionada aos limites de capacidade desses equipamentos.

### Aterro Convencional

O aterro convencional consiste basicamente na compactação dos resíduos no solo, na forma de camadas que são periodicamente cobertas com terra ou outro material inerte. As principais características do aterro são:

- Impermeabilização da base do aterro: evita o contato do chorume 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 chorume: a coleta de chorume deve ser feita pela base do aterro. O chorume coletado é enviado a lagoas previamente preparadas com impermeabilização do seu contorno ou enviados para tanques de armazenamento fechados;
- Sistema de tratamento de chorume: após coletado, o chorume 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 chorume coletado pode ser transportado para um local apropriado (geralmente uma Estação de Tratamento de Esgotos). Os tipos de tratamento mais convencionais são o tratamento biológico (lagoas anaeróbias, aeróbias e lagoas de estabilização), tratamento por oxidação

(evaporação e queima) ou tratamento químico (adição de substâncias químicas ao chorume);

- Sistema de drenagem de águas pluviais: o sistema de captação e drenagem de águas de chuva visa escorrer a água por locais apropriados para evitar a infiltração que gera o chorume).

Além da operação, o aterro deve contar com unidades de apoio, como acessos internos que permitem 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.

### **Instalações de Apoio**

As instalações de apoio são estruturas auxiliares que têm por objetivo garantir o funcionamento do aterro, dentro dos padrões estabelecidos pelas técnicas da engenharia e do saneamento ambiental. Os aterros sanitários em valas, por serem obras de pequenas dimensões, exigem um mínimo possível de instalações de apoio, necessárias apenas ao correto funcionamento da obra. De forma geral, essas instalações nos aterros em valas são compostas pelos seguintes elementos:

- Isolamentos: o isolamento do aterro é imprescindível para manutenção da ordem e do bom andamento da operação. Devem ser instaladas cercas de arame ao redor de toda a área, impedindo, assim, a entrada de catadores, animais ou outros elementos que possam prejudicar o desenvolvimento dos serviços. Essas cercas devem ser construídas em material resistente, como arame farpado e mourões de concreto. Recomenda-se ainda a construção de uma faixa de isolamento, de 5 a 10 metros de largura, composta por arbustos e árvores que impeçam a visualização constante do aterro. Esse isolamento tem como função evitar o surgimento de reclamações por parte de transeuntes e moradores da circunvizinhança, motivadas pela visualização constante das frentes de operação. Nas regiões onde são intensos os ventos, recomenda-se a instalação de uma cerca de tela, de forma a interceptar os materiais leves que poderiam ser arrastados até os terrenos vizinhos ao aterro. Essa cerca

deve ser móvel, com a possibilidade de ser deslocada na medida do avanço da frente de operação.

- Portaria: nos aterros em geral, sua função é controlar a entrada e a saída de veículos na área do aterro, assim como dos materiais a serem aterrados, especialmente de resíduos que poderiam prejudicar a adequada operação do aterro, colocar em risco a saúde dos operadores, ou causar danos ao meio ambiente, como por exemplo: lodos tóxicos, materiais graxos ou oleosos e líquidos em geral. A entrada desses materiais não deve ser impedida sumariamente, pois eles poderiam vir a ser descarregados clandestinamente em outros locais, causando danos ainda maiores. Uma vez identificados os produtores e transportadores, devem ser prevenidas as autoridades competentes para que sejam tomadas as medidas cabíveis. Nos aterros em valas, esta instalação resume-se num portão de entrada com uma guarita onde, se possível, deverá permanecer um vigia. Quando o aterro for localizado distante de comunidades, sendo improvável a presença de catadores, é admissível que a portaria se resuma num portão fechado, ficando a chave de posse do motorista do veículo coletor e do encarregado dos serviços de limpeza pública.
- Estradas Internas: as estradas internas têm como função permitir a interligação entre os diversos pontos da área do aterro, bem como garantir a chegada dos resíduos até as frentes de onze descarga. Essas estradas devem suportar o trânsito de veículos mesmo durante os períodos de chuva e, por isso, devem ser mantidas nas melhores condições de operação. Os trechos que apresentam menor capacidade de suporte ou aderência deverão sofrer mudança de solo ou revestimento com brita ou cascalho. Sempre que necessário, em toda a sua extensão, deverão ser construídas canaletas de drenagem para captação de águas de escoamento superficial, revestidas com material resistente nos trechos de maior declividade.
- Proteção Ambiental: a decomposição da matéria orgânica presente no aterro resulta na formação de um líquido de cor escura, odor desagradável e elevado potencial poluidor, denominado chorume. A percolação das águas de chuva através da massa de resíduos arrasta consigo o chorume, bem como outros materiais em solução ou suspensão, constituindo-se nos chamados líquidos

percolados dos aterros. Esses líquidos percolados são formados ainda pela umidade natural dos resíduos; pela água presente em alguns materiais, liberada pela compactação ou pela própria decomposição destes; pelos líquidos gerados no processo biológico de decomposição de determinados tipos de resíduos; pela contribuição de nascentes, bem como pela água de chuva precipitada sobre o aterro. As duas últimas parcelas são normalmente muito superiores às demais, sendo que é comum a baixa formação desses líquidos nos aterros implantados em locais secos, onde a taxa de evapotranspiração é maior que a de precipitação. Além da DBO — Demanda Bioquímica de Oxigênio, isto é, a quantidade de oxigênio requerida por organismos aeróbios para estabilizar a matéria orgânica presente num determinado meio, que atinge valores da ordem de 10 a 100 vezes superiores aos do esgoto doméstico (DBO = 300 mg/L), os líquidos percolados dos aterros apresentam ainda altos teores de cloretos, nitrogênio amoniacal, sulfatos, zinco e outras substâncias, dependendo da composição dos resíduos aterrados e da presença de resíduos industriais. Também é alta a concentração de microrganismos patogênicos, determinada pela presença de coliformes fecais, na ordem de  $10^6$  a  $10^8$  NMP/100 mL. Quando esses líquidos atingem os mananciais de águas subterrâneas ou superficiais, podem alterar de modo significativo as suas características, tornando-as impróprias ao consumo ou à sobrevivência de organismos aquáticos. Portanto, ao se construir um aterro é primordial reduzir o volume dos líquidos percolados, através de uma adequada drenagem de águas de chuvas e de nascentes, visando a reduzir os custos de implantação e operação de um sistema de tratamento desses líquidos. Ainda é requerido uma distância mínima de 200 m de qualquer corpo d'água, 500 m de residências e 2 km de áreas urbanas, já em relação aos aeroportos e acidentes com pássaros é obrigatório a distância de 20 km do raio dessas instalações.

### **Índice de Qualidade em Aterros de Resíduos – IQR**

No Estado de São Paulo, a CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, desenvolveu um programa de avaliação (Índice de Qualidade em Aterros de Resíduos – IQR) dos locais de disposição dos resíduos, classificando-

os como Inadequado, Controlado e Adequado (Sanitário), em função de uma avaliação de diversos parâmetros que compreendem as condições ambientais locais, os procedimentos de disposição e a infraestrutura existente. Os resultados têm sido extremamente produtivos, uma vez que as administrações locais ficam conscientes dos diferentes aspectos que estão sendo mal gerenciados e passam a atuar de forma a melhorar suas condições de disposição. Com isso, deixam de ser multados pelo órgão de gerenciamento ambiental do Estado, desde que se proponham a participar efetivamente da melhoria das condições de disposição e indiquem os processos de melhoria. Programas semelhantes deverão, certamente, ser adotados em outros estados de forma que as condições de disposição sejam melhoradas. A Tabela 12 mostra o IQR do aterro de Pilar do Sul. Apesar de aparecer adequado nos últimos anos, o aterro de Pilar do Sul está fechado pela CETESB, atualmente. A CETESB informou que o aterro é não controlado e que o motivo de ter sido classificado como adequado nos últimos anos foi que a operação estava adequada (ou seja, o objetivo era ajudar a cidade que utiliza um lixão como aterro, a se enquadrar na PNRS e, assim ajudar a cumprir a meta da PNRS de erradicar os lixões até 2014). Porém, neste ano verificaram-se problemas ambientais na área onde se localiza o aterro e também o aterro chegou ao final da sua vida útil.

Tabela 12 – Índice de Qualidade em Aterros de Resíduos – IQR de 1997 a 2016

Ano	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
IQR	5	5,5	5,9	3,7	3,6	4,2	5,6	5,4	7,7	7,1	7,2	6,2	7,9	8,9	8,3	8,2	8,2	9,5	9,5	7,9

Fonte: CETESB (2016)

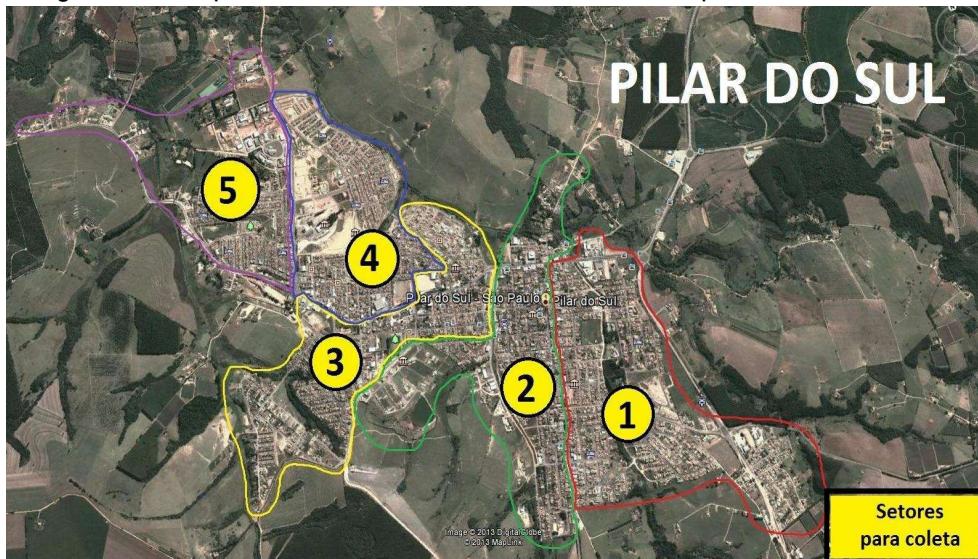
## Resíduos Recicláveis

Os serviços de coleta seletiva de resíduos recicláveis, em Pilar do Sul, são prestados pela Prefeitura Municipal em conjunto com a cooperativa de materiais recicláveis de Pilar do Sul – COMARPS, entidade formalmente constituída que pertence à Rede Solidária das Cooperativas de Reciclagem de Sorocaba e Região. A coleta dos materiais recicláveis é feita pela Prefeitura Municipal, porta a porta, com índice de atendimento de 50% na área urbana e 20% na área rural. Em alguns pontos da área urbana há Postos de Entrega Voluntária (PEV). A triagem dos resíduos recicláveis é feita pela cooperativa de catadores (COMARPS), em galpão localizado

à Rua Capitão Marques, provido de prensa e balança. A arrecadação obtida com a venda dos materiais é revertida em benefício dos próprios catadores.

O projeto tem três metas: investir no crescimento humano e tecnológico da Cooperativa de Materiais Recicláveis de Pilar do Sul (COMARPS), diminuir a quantidade de resíduo no aterro sanitário municipal e conscientizar os cidadãos para a necessidade da coleta, transformando a cidade em modelo para toda a região. O sistema de coleta seletiva foi implantado em 03 de junho de 2013 cujo município é dividido em 5 setores e a coleta é feita em cada setor, seguindo cada dia da semana como é mostrado nas Figuras 10, 11, 12, 13, 14 e 15 e na Tabela 13.

Figura 10 – Mapa Pilar do Sul dividido em cinco setores para a coleta seletiva



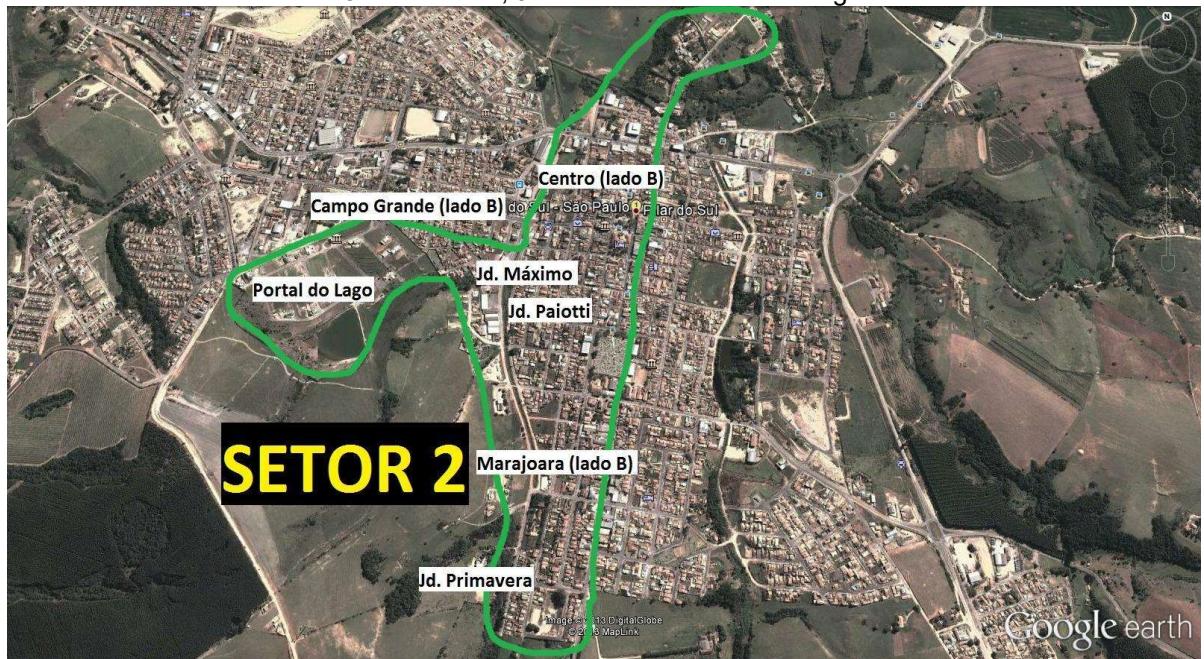
Fonte: Adaptado Google Earth (2013)

Figura 11 – Setor 1, que compreende os bairros: Centro (lado A), Jd. Santa Helena, Jd. Esperança, Jd. Sol Nascente, Jd. Recanto Paraíso, Vila São Manoel, Jd. Colinas e Jd Marajoara (lado A)



Fonte: Google Earth (2013)

Figura 12 – Setor 2, que compreende os bairros: Centro (lado B), Jd. Paiotti, Jd Marajoara (lado B), Jd Primavera, Jd. Máximo e Portal do Lago



Fonte: Google Earth (2013)

Figura 13 – Setor 3, que compreende os bairros: Bairro Campo Grande (lado A), Jd. Campestre I e II, Parque Residencial Ayub



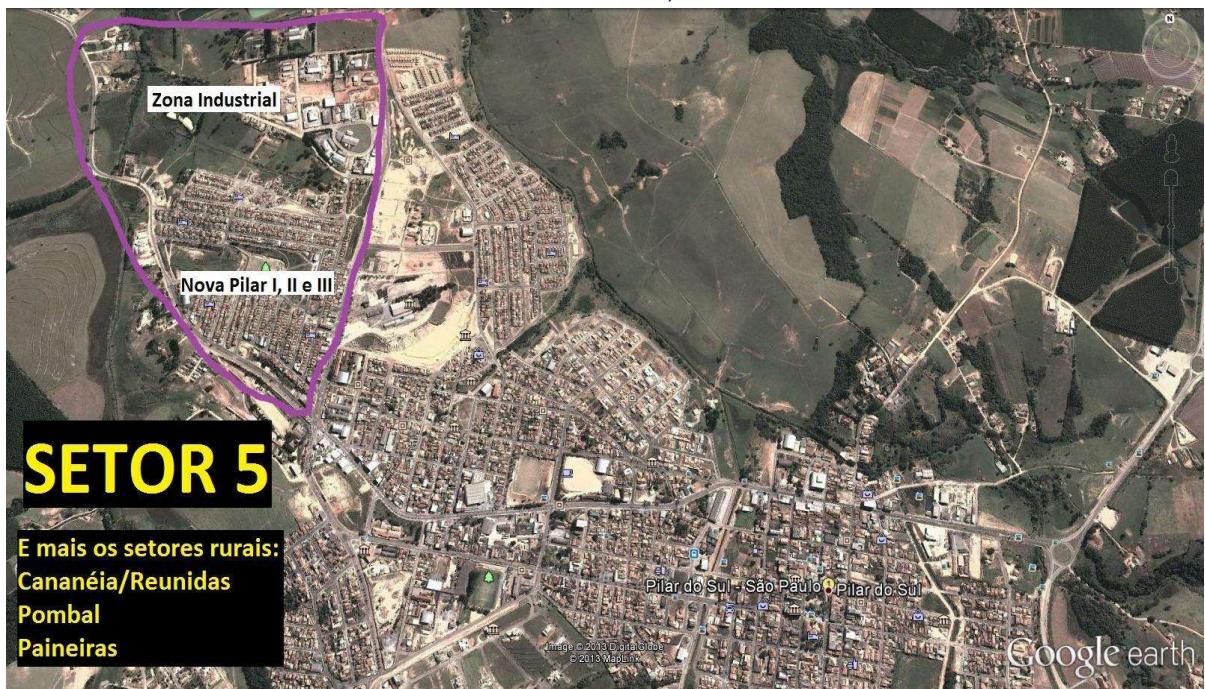
Fonte: Google Earth (2013)

Figura 14 – Setor 4, que compreende os bairros: Bairro Santa Cecília, Jardim Pinheiro, Jardim Nascimento, Jardim Ipê, Bonanza e Vale Verde



Fonte: Google Earth (2013)

Figura 15 – Setor 5, que compreende os bairros: Jardim Nova Pilar I, II, III, Zona Industrial, Jardim Cananéia/Chácaras Reunidas, Pombal e Paineira



Fonte: Google Earth

Tabela 13 – Cronograma da coleta seletiva em Pilar do Sul

<b>Dia da semana</b>	<b>Setor</b>	<b>Bairros</b>
Segunda-feira	1	Centro (lado A)
		Jd. Santa Helena
		Jd. Esperança
		Jd. Sol Nascente
		Jd. Recanto Paraíso
		Vila São Manoel
		Jd. Colinas
		Jd. Marajoara (lado A)
Terça-feira	2	Centro (lado B)
		Jd. Paiotti
		Jd. Marajoara (lado B)
		Jd. Primavera
		Jd. Máximo
		Portal do Lago
Quarta-feira	3	Campo Grande (lado A)
		Jd. Campestre I e II
		Parque Residencial Ayub
Quinta-feira	4	Bairro Santa Cecília
		Jd. Pinheiro
		Jd. Nascimento
		Jd. Ipê
		Bonanza
		Vale Verde
Sexta-feira	5	Jd. Nova Pilar I, II e III
		Zona Industrial
		Jd. Cananéia/Chácaras Reunidas
		Pombal
		Paineira

Fonte: COMARPS (2013)

A Tabela 14 mostra o que é reciclável (o que a cooperativa coleta) e o que não é reciclável (o que a cooperativa não coleta).

Tabela 14 – Material reciclável e não reciclável

	O que pode ser reciclado	O que não pode ser reciclado
<b>Vidros</b>	Garrafas, frascos de molhos e condimentos, potes de produtos alimentícios, frascos de remédios, perfumes e produtos de limpeza, cacos de qualquer uma das embalagens acima.	Espelhos, vidros de janela e box de banheiro, vidros de automóveis, cristal, lâmpadas, formas e travessas de vidro temperado ou de utensílios domésticos, ampolas de remédio, tubos de televisão e válvulas.
<b>Plásticos</b>	Potes de todos os tipos, embalagens de detergente, xampu, água sanitária e etc., tampas de todos os tipos, sacos de alimentos como leite, arroz e etc. todos os tipos de embalagens de xampus, detergentes, refrigerantes e outros produtos domésticos, utensílios plásticos usados, como canetas esferográficas, escovas de dentes, baldes, artigos de cozinha, etc.	Celofane, espuma, embalagens a vácuo, fraldas descartáveis, embalagens plásticas metalizadas, por exemplo, de alguns salgadinhos; plásticos (tecnicamente conhecidos como termofixos), usados na indústria eletroeletrônica e na produção de alguns computadores, telefones e eletrodomésticos.
<b>Metal</b>	Latas, latas de refrigerantes e cerveja, tampas de garrafas de bebidas, conservas, etc., arames, grampos, fios, pregos, marmiteix, tubos de creme dental, alumínio, cobre e outros. Folha-de-flandres (aço revestido com estanho) – Ex.: latas de óleo, sardinha, creme de leite, etc.	Pilhas normais e alcalinas, filtros de ar para veículos, latas enferrujadas.
<b>Papel</b>	Jornais, revistas, caixas de papelão, papéis de escrever: cadernos, papéis de escritório em geral, papéis de embalagem: papéis de embrulho em geral, papel de seda, cartões e cartolinhas, papéis especiais: papel kraft, papel heliográfico, papel filtrante, papel de desenho.	Papel higiênico, guardanapos com comida, copos siliconizados, papel laminado, papéis plastificados, embalagem de bolacha, papel carbono, papel vegetal, papel celofane, papéis encerados ou impregnados com substâncias impermeáveis, papéis sujos, engordurados ou contaminados com alguma substância nociva à saúde, papéis revestidos com algum tipo de parafina ou silicone, fotografias, fitas adesivas e etiquetas adesivas.

Fonte: COMARPS (2013)

## Resíduos Orgânicos

O município não possui tratamento para os resíduos orgânicos gerados.

#### 2.2.2. Resíduos de Serviços de Saúde

Os resíduos de serviços de saúde (RSS), produzidos no município, contabilizam 30 kg/dia, segundo a SEDRUMA (2017). O responsável pelo gerenciamento desses resíduos é o próprio gerador.

#### 2.2.3. Resíduos de Construção Civil

Em relação aos resíduos de construção civil (RCC), a Secretaria de Desenvolvimento Rural e Meio Ambiente de Pilar do Sul não tem uma estimativa da quantidade de resíduos gerados. A responsabilidade do gerenciamento dos resíduos de construção civil é do próprio gerador.

#### 2.2.4. Logística reversa

Os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa.

### 3. ANÁLISE DOS DADOS

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (no ANEXO A), os resíduos sólidos podem ser classificados quanto à origem: resíduos sólidos urbanos, resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, resíduos de serviços públicos de saneamento básico, resíduos de serviços de saúde, resíduos de construção civil, resíduos agrossilvopastoris, resíduos de serviços de transporte e resíduos de mineração. A responsabilidade pelo gerenciamento e a legislação que dispõe sobre cada tipo de resíduo é mostrada na Tabela 15.

Tabela 15 – Responsabilidade e legislação para cada resíduo

Resíduos	Responsabilidade	Legislação
Sólidos Urbanos	Titular dos serviços públicos – Município	Lei nº 11.445/2007
Estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços	Pequeno porte – município Grande porte – gerador	PGRS
Serviços públicos de saneamento básico	Município	PMGIRS
Industriais	Gerador	PGRS
Serviços de Saúde	Gerador	Resolução CONAMA 358/2005 RDC ANVISA nº 306/2004
Construção Civil	Gerador	Resolução CONAMA 307/2002
Agrossilvopastoris	Gerador	PGRS
Serviços de transporte	Gerador	PGRS
Mineração	Gerador	Gestão e Manejo de Rejeitos de Mineração (IBRAM, 2016)

Fonte: Legislação

### 3.1. DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Como o município é responsável apenas pela gestão dos resíduos sólidos urbanos e dos resíduos de serviços públicos de saneamento básico (mas estes são gerados nessas atividades), o objeto do diagnóstico será o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

#### 3.1.1. Resíduos Sólidos Urbanos

Os resíduos sólidos urbanos de Pilar do Sul estão indo para o aterro em vala sem levar em consideração a ordem de prioridade da gestão e gerenciamento de resíduos sólidos que a PNRS sugere: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Os resíduos domésticos deveriam ser segregados de uma maneira tal que apenas os rejeitos tivessem uma disposição final ambientalmente adequada. Mas não é isso que ocorre. Primeiro porque, apesar de ter a coleta seletiva, sabe-se que nem

toda a população separa os resíduos recicláveis dos não recicláveis; segundo, porque não há tratamento para os resíduos orgânicos, que estão indo, como rejeitos, para o aterro; terceiro, e o pior de todos, o aterro da cidade não é um aterro sanitário e sim um aterro não controlado.

Os resíduos de limpeza urbana (os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana), se forem orgânicos (poda de árvores, por exemplo) deveriam ter um tratamento para resíduos orgânicos. O que é rejeito, ir para uma disposição ambientalmente adequada.

O município de Pilar do Sul não possui um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, previsto na PNRS.

### **Resíduos Recicláveis**

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2012) mostra um aumento de 120% no número de municípios que desenvolveram programa de coleta seletiva de materiais recicláveis entre 2000 e 2008, estando a maioria localizada nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Esse marco, embora importante, ainda não ultrapassa 18% dos municípios brasileiros.

Os resíduos recicláveis correspondem a 35% dos resíduos sólidos urbanos totais gerados (PRSESP,2014). Através da coleta seletiva, é possível diminuir significativamente a quantidade de resíduos que vai para os aterros sanitários, e aumentar a lucratividade, com o reaproveitamento dos materiais. Porém, em cidades menores, não é comum a prática da coleta seletiva e reciclagem de resíduos. Em Pilar do Sul, município do estudo em questão, não é de prática dos habitantes selecionar e classificar seu resíduo. De modo geral, o resíduo é colocado em sacolas e dispostos nos locais de coleta, sem a devida separação do mesmo. Muitas vezes, ainda, o resíduo é depositado em locais impróprios, como terrenos baldios, córregos ou beira das estradas. Uma futura melhoria da coleta seletiva de resíduos recicláveis no município poderá proporcionar uma melhor qualidade de vida para seus habitantes, mudança de hábitos e também contribuirá para a preservação do meio ambiente.

Um sistema de gestão e gerenciamento eficiente atua no objetivo de minimizar e reduzir a geração do resíduo na sua fonte. Como estratégia principal, propõe-se ao gerador de resíduos os famosos 3 R's –

1) **reduzir** o consumo de itens inúteis, descartáveis que despendem recursos não renováveis;

2) **reutilizar** adquirindo produtos usados customizando-os;

3) **reciclar** o que for possível.

Os resíduos recicláveis estão sendo coletados através do serviço prestado pela prefeitura com parceria com a Cooperativa de Materiais Recicláveis de Pilar do Sul (COMARPS). Apesar de atender o que a PNRS exige, a coleta dos materiais recicláveis só atende 50% da população da área urbana e 20% da área rural. O ideal é que esses índices aumentem até que a coleta possa ser atendida por 100% da população.

### **Resíduos Orgânicos**

Como não há nenhum tipo de tratamento para resíduos orgânicos, o município não está cumprindo o que a PNRS propõe. Os resíduos orgânicos estão indo para o aterro e como consequência, há geração de lixiviados (produz poluição do solo e água) e produção de gás de aterro (contribuição para o efeito estufa).

O gás de aterro é composto por vários gases, alguns presentes em grandes quantidades como o metano e o dióxido de carbono e outros em quantidades em traços. Os gases presentes nos aterros de resíduos incluem o metano ( $CH_4$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), amônia ( $NH_3$ ), hidrogênio ( $H_2$ ), gás sulfídrico ( $H_2S$ ), nitrogênio ( $N_2$ ) e oxigênio ( $O_2$ ). O metano e o dióxido de carbono são os principais gases provenientes da decomposição anaeróbia dos compostos biodegradáveis dos resíduos orgânicos.

## **4. DEFINIÇÃO DOS PROBLEMAS**

Há três problemas principais que impedem o município de Pilar do Sul a se enquadrar na Política Nacional de Resíduos Sólidos. Primeiro, o aterro do município é não controlado, a vida útil já chegou ao fim e também a CETESB fechou o aterro para operação; segundo, os resíduos orgânicos não estão sendo tratados, indo como rejeitos para o aterro sanitário e contribuindo para a geração de lixiviados e gases de efeito estufa; terceiro, a coleta seletiva não é efetiva pelo fato de não atender 100% da coleta nas residências de Pilar do Sul e também pela não consciência ambiental da população quanto à separação dos resíduos recicláveis e orgânicos.

## 5. ALTERNATIVAS PARA SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS

Visto que para se enquadrar na Política Nacional de Resíduos Sólidos, o município de Pilar do Sul deve fazer a disposição final ambientalmente adequada, separação dos resíduos recicláveis para a coleta seletiva e também fazer o tratamento dos resíduos orgânicos, foi sugerida uma solução para cada problema apresentado, levando em consideração algumas alternativas.

### 5.1. Disposição Final Ambientalmente Adequada

A única maneira, segundo a PNRS, para a disposição final ambientalmente adequada de resíduos sólidos é através de aterros sanitários.

#### 5.1.1. Aterro Sanitário

A PNRS diz que a disposição final ambientalmente adequada é a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. Por esta razão, a única alternativa de solução para dispor o resíduo ambientalmente adequado e seguro é através do aterro sanitário.

O Aterro Sanitário é um aprimoramento de uma das técnicas mais antigas utilizadas pelo homem para descarte de seus resíduos, que é o aterramento. Modernamente, é uma obra de engenharia que tem como objetivo acomodar no solo resíduos no menor espaço prático possível, causando o menor dano possível ao meio ambiente ou à saúde pública. Essa técnica consiste basicamente na compactação dos resíduos no solo, na forma de camadas que são periodicamente cobertas com terra ou outro material inerte.

#### **Análise dos Resíduos Sólidos Urbanos a serem aterrados**

Para o dimensionamento do aterro sanitário, foi necessário fazer estimativas da população, da geração e volume de resíduos, adotando uma vida útil do aterro de 20 anos. A norma NBR 13896 (ABNT, 1997) recomenda a construção de aterros com

vida útil mínima de 10 anos. Assim, foi adotada para este projeto uma vida útil de 20 anos, a partir de 2018, ano a ser implantado o aterro.

## Previsão do Crescimento Populacional

Para estimar a quantidade de resíduos gerados (resíduo sólido domiciliar – RSD), foi usada a equação abaixo (retirada do Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de Pilar do Sul – SP, 2014).

$$Geração\ RSD = \left( \frac{P}{314,01} \right)^{\frac{1}{0,7189}}$$

Onde P é a população em número de habitantes ao ano, e a unidade da geração de RSD é toneladas por mês.

Para efetuar a projeção da população de Pilar do Sul no horizonte de projeto, fez-se uso de três métodos matemáticos (METCALF E EDDY, 1991), sendo eles:

Método Aritmético: Crescimento populacional segundo uma taxa constante. Método utilizado para estimativas de menor prazo. O ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão.

Variáveis:

$T$  = ano da projeção

$P_T$  = população no ano da projeção

$T_1$  = primeiro ano a ser considerado do censo

$P_1$  = população no primeiro ano a ser considerado

$T_2$  = segundo ano a ser considerado do censo

$P_2$  = população no segundo ano a ser considerado

Taxa de crescimento:

$$\frac{dP}{dt} = K_a$$

$$K_a = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1}$$

$$P_T = P_1 + K_a \times (T - T_1)$$

Método Geométrico: Crescimento populacional que considera o crescimento como uma função exponencial. Utilizado para estimativas de menor prazo. O ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão.

Variáveis:

$T$  = ano da projeção

$P$  = população no ano da projeção

$T_1$  = primeiro ano a ser considerado do censo

$P_1$  = população no primeiro ano a ser considerado

$T_2$  = segundo ano a ser considerado do censo

$P_2$  = população no segundo ano a ser considerado

Taxa de crescimento:

$$\frac{dP}{dt} = P \times K_g$$

$$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{T_2 - T_1}$$

$$P_T = P_1 \times e^{K_g \times (T - T_1)}$$

Curva Logística: O crescimento populacional segue uma relação matemática, que estabelece uma curva em forma de S. A população tende assintoticamente a um valor de saturação. Os parâmetros podem ser também estimados por regressão não linear.

Variáveis:

$T$  = ano da projeção

$P$  = população no ano da projeção

$T_0$  = primeiro ano a ser considerado

$P_0$  = população no primeiro ano a ser considerado

$T_1$  = segundo ano a ser considerado do censo

$P_1$  = população no segundo ano a ser considerado

$T_2$  = terceiro ano a ser considerado do censo

$P_2$  = população no terceiro ano a ser considerado

$P_s$  = população de saturação

Condições necessárias:

- $P_0 < P_1 < P_2$
- $P_0 \times P_2 < P_1^2$
- $d = T_2 - T_1 = T_1 - T_0$  (intervalos iguais)

Taxa de crescimento:

$$\frac{dP}{dt} = P \times K_g \times \frac{P_s - P}{P}$$

$$K_1 = \frac{1}{T_2 - T_1} \times \ln \left[ \frac{P_0 \times (P_s - P_1)}{P_1 \times (P_s - P_0)} \right]$$

$$c = \frac{P_s - P_0}{P_0} \quad P_s = \frac{2 \times P_0 \times P_1 \times P_2 - P_1^2 \times (P_0 + P_2)}{P_0 \times P_2 - P_1^2}$$

$$P_T = \frac{P_s}{1 + c \times e^{K_1 \times (T - T_0)}}$$

População:

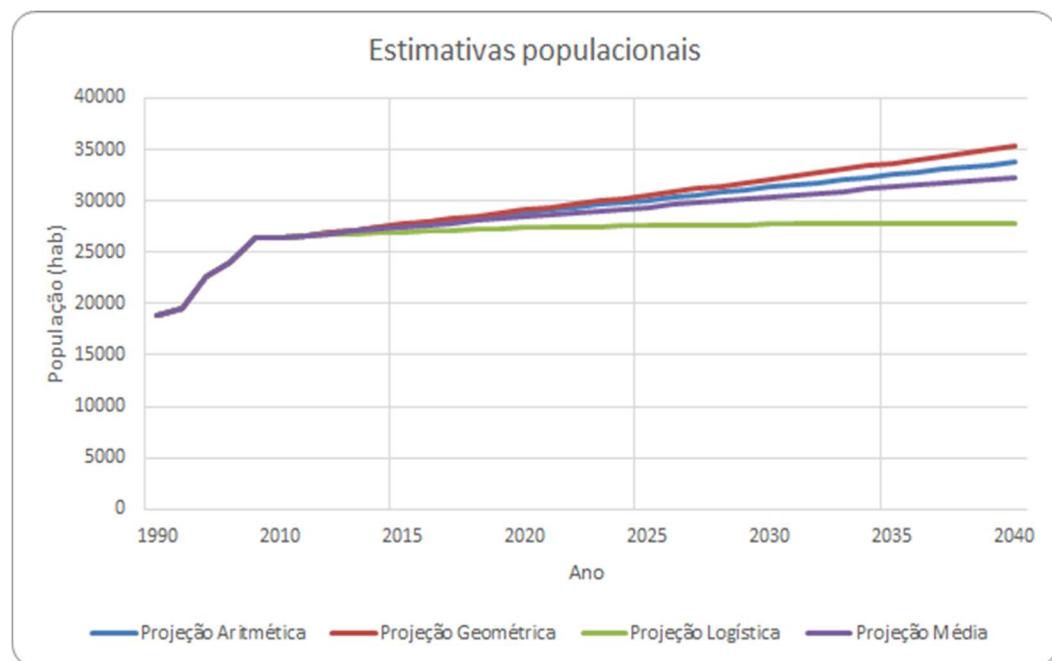
Tabela 16 – População de Pilar do Sul

Ano	População
1990	18838
1991	19488
1996	22592
2000	23948
2007	26457
2010	26406

Fonte: IBGE (2017)

Para a correta aplicação de cada método, foi necessário o uso de dados do IBGE, referentes aos censos anteriores, que forneceu uma contagem da população nos anos de 1991, 1996, 2000, 2007 e 2010, e de um dado da Fundação SEADE para o ano de 1990 com a finalidade de melhorar as projeções. Cada método apresenta uma forma particular de considerar o crescimento da população e consequentemente cada método apresenta um valor de população final de projeto diferente. A seguir são mostradas a Figura 16 e a Tabela 17 com as estimativas populacionais.

Figura 16 – Estimativa populacional do município de Pilar do Sul – SP até o ano de 2040



Fonte: SEADE e IBGE (2016)

Tabela 17 – Estimativa populacional do município de Pilar do Sul – SP até o ano de 2040

Ano	População Curva logística	População Aritmética	População Geométrica	População Média
1990	18.838	18.838	18.838	18.838
1991	19.488	19.488	19.488	19.488
1996	22.592	22.592	22.592	22.592
2000	23.948	23.948	23.948	23.948
2007	26.457	26.457	26.457	26.457
2010	26.406	26.406	26.406	26.406
2011	26.550	26.652	26.665	26.622
2012	26.682	26.898	26.927	26.835
2013	26.800	27.143	27.191	27.045
2014	26.908	27.389	27.458	27.252
2015	27.006	27.635	27.728	27.456
2016	27.094	27.881	28.000	27.658
2017	27.174	28.127	28.275	27.859
2018	27.246	28.372	28.553	28.057
2019	27.311	28.618	28.833	28.254
2020	27.370	28.864	29.116	28.450
2021	27.423	29.110	29.402	28.645
2022	27.471	29.356	29.691	28.839
2023	27.514	29.601	29.982	29.033
2024	27.553	29.847	30.277	29.226
2025	27.588	30.093	30.574	29.418
2026	27.620	30.339	30.874	29.611

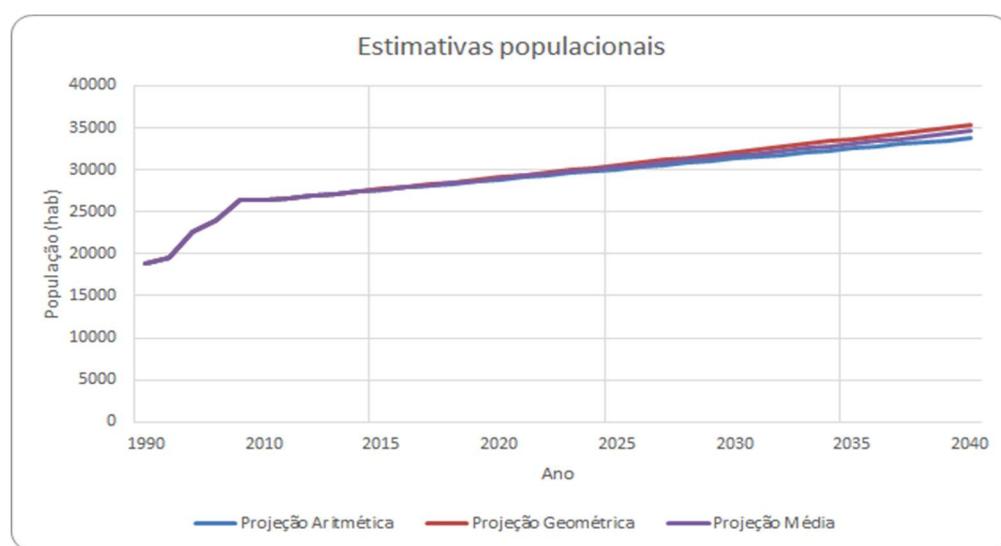
Tabela 17 – Estimativa populacional do município de Pilar do Sul – SP até o ano de 2040  
(Continuação)

Ano	População Curva logística	População Aritmética	População Geométrica	População Média
2027	27.648	30.585	31.177	29.803
2028	27.673	30.830	31.483	29.996
2029	27.697	31.076	31.793	30.188
2030	27.717	31.322	32.105	30.381
2031	27.736	31.568	32.420	30.575
2032	27.753	31.814	32.738	30.768
2033	27.768	32.059	33.060	30.962
2034	27.781	32.305	33.384	31.157
2035	27.794	32.551	33.712	31.352
2036	27.805	32.797	34.043	31.548
2037	27.814	33.043	34.377	31.745
2038	27.823	33.288	34.715	31.942
2039	27.831	33.534	35.056	32.140
2040	27.838	33.780	35.400	32.339

Fonte: SEADE e IBGE (2016)

Porém observou-se um valor de população subestimado pela curva logística, uma vez que as projeções futuras feitas pelo IBGE possuíam valores muito maiores. Portanto foi adotado como população média a média aritmética entre os valores da estimativa geométrica e aritmética, conforme mostrado na Figura 17 e Tabela 18.

Figura 17 – Estimativa populacional do município de Pilar do Sul – SP até o ano de 2040



Fonte: Fundação SEADE e IBGE (2016)

Tabela 18 – Estimativa populacional do município de Pilar do Sul – SP até o ano de 2040

Ano	População Aritmética	População Geométrica	População Média
<b>1990</b>	18838	18838	18838
<b>1991</b>	19488	19488	19488
<b>1996</b>	22592	22592	22592
<b>2000</b>	23948	23948	23948
<b>2007</b>	26457	26457	26457
<b>2010</b>	26406	26406	26406
<b>2011</b>	26652	26665	26659
<b>2012</b>	26898	26927	26912
<b>2013</b>	27143	27191	27167
<b>2014</b>	27389	27458	27424
<b>2015</b>	27635	27728	27682
<b>2016</b>	27881	28000	27941
<b>2017</b>	28127	28275	28201
<b>2018</b>	28372	28553	28463
<b>2019</b>	28618	28833	28726
<b>2020</b>	28864	29116	28990
<b>2021</b>	29110	29402	29256
<b>2022</b>	29356	29691	29523
<b>2023</b>	29601	29982	29792
<b>2024</b>	29847	30277	30062
<b>2025</b>	30093	30574	30334
<b>2026</b>	30339	30874	30607
<b>2027</b>	30585	31177	30881
<b>2028</b>	30830	31483	31157
<b>2029</b>	31076	31793	31434
<b>2030</b>	31322	32105	31713
<b>2031</b>	31568	32420	31994
<b>2032</b>	31814	32738	32276

Tabela 18 – Estimativa populacional do município de Pilar do Sul – SP até o ano de 2040  
(Continuação)

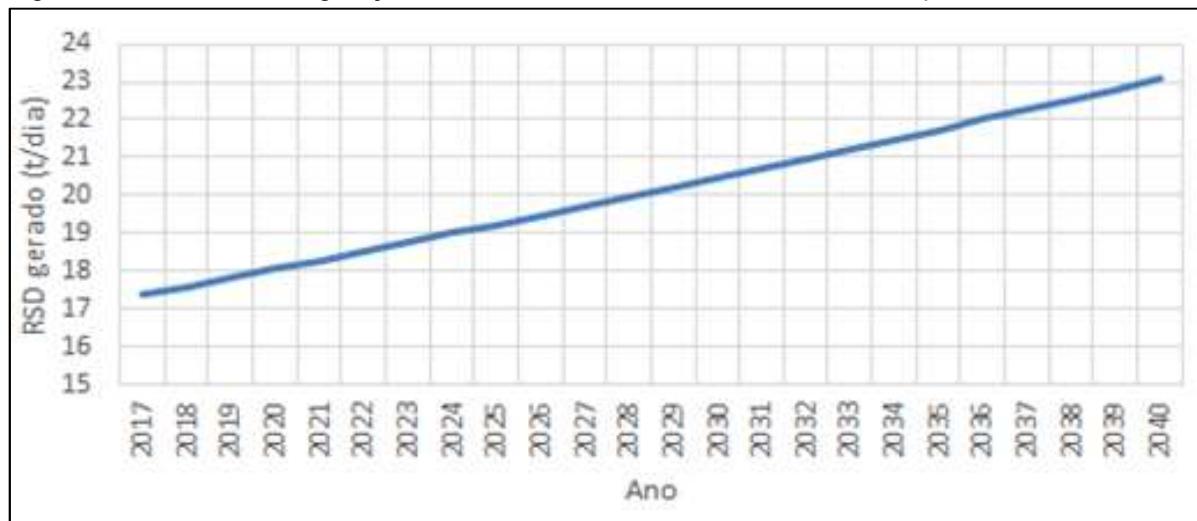
Ano	População Aritmética	População Geométrica	População Média
<b>2033</b>	32059	33060	32560
<b>2034</b>	32305	33384	32845
<b>2035</b>	32551	33712	33132
<b>2036</b>	32797	34043	33420
<b>2037</b>	33043	34377	33710
<b>2038</b>	33288	34715	34002
<b>2039</b>	33534	35056	34295
<b>2040</b>	33780	35400	34590

Fonte: SEADE e IBGE (2016)

### **Estimativa da massa e volume total de RSU a ser disposto no aterro**

Usando-se a média dos dois métodos da população estimada e a equação da geração de resíduos, foi possível estimar a geração de resíduos em cada ano e o total de resíduos gerados em 20 anos, conforme mostrado na Tabela 19 e na Figura 18.

Figura 18 – Estimativa de geração de resíduos sólidos domiciliares do município de Pilar do Sul – SP



Fonte: PMISB (2014)

Tabela 19 – Estimativa de geração de resíduos sólidos domiciliares do município de Pilar do Sul – SP

Ano	População Média	RSD (t/dia)	RSD (t/mês)	RSD (t/ano)
2018	28463	17.60	528.05	6336.61
2019	28726	17.83	534.85	6418.22
2020	28990	18.06	541.71	6500.56
2021	29256	18.29	548.64	6583.63
2022	29523	18.52	555.62	6667.43
2023	29792	18.76	562.66	6751.98
2024	30062	18.99	569.77	6837.28
2025	30334	19.23	576.94	6923.33
2026	30607	19.47	584.18	7010.16
2027	30881	19.72	591.48	7097.76
2028	31157	19.96	598.84	7186.14
2029	31434	20.21	606.28	7275.31
2030	31713	20.46	613.77	7365.28
2031	31994	20.71	621.34	7456.06
2032	32276	20.97	628.97	7547.65
2033	32560	21.22	636.67	7640.07
2034	32845	21.48	644.44	7733.31
2035	33132	21.74	652.28	7827.40
2036	33420	22.01	660.20	7922.34
2037	33710	22.27	668.18	8018.14
2038	34002	22.54	676.23	8114.80
2039	34295	22.81	684.36	8212.35
2040	34590	23.09	692.56	8310.77

Fonte: PMISB (2014)

O município de Pilar do Sul vai gerar em 20 anos um total de 151.213,46 toneladas de resíduos domiciliares. Segundo o Plano de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo (PRSESP, 2014), 51% da composição gravimétrica em massa dos resíduos sólidos domiciliares são resíduos orgânicos, 35% são resíduos recicláveis e 14% são rejeitos. Pela PNRS, somente os rejeitos devem ir para o aterro sanitário, mas para que isso aconteça, é necessário ter um efetivo programa de coleta seletiva

e uma destinação adequada para a matéria orgânica. Serão considerados que 30% dos resíduos recicláveis serão reciclados, e que 40% dos resíduos orgânicos irão para tratamento. Portanto, o aterro deve ter a capacidade de receber, em 20 anos de operação, um total de 104.448,50 toneladas de rejeitos.

A estimativa do volume ocupado se dá através do peso específico do resíduo compactado. Os fatores principais que influenciam o peso específico dos RSU são a sua composição física (teor de material orgânico, recicláveis), sua granulometria (tamanho médio de partículas), o grau de compactação durante a deposição (método executivo do aterro) e seu estágio de degradabilidade. O valor do peso específico está diretamente ligado à sua composição gravimétrica (distribuição dos grupos de substâncias) sendo que quanto maior for à quantidade de componentes leves (papel, papelão, plásticos) ou quanto menor for à quantidade de matéria orgânica, menor será seu valor. A Tabela 20 mostra os diferentes valores de peso específicos de resíduos sólidos urbanos encontrados na literatura.

Tabela 20 – Valores de peso específico encontrados na literatura

Autor, ano	Peso específico kN/m <sup>3</sup>	Observações:
Sowers (1968)	8-12	Compactados
Sowers (1973)	1,2-3	Sem compactação
	6	Compactados
Rao (1974)	1,5-2	Sem compactação
	3,5-6	Fraca compactação
Bratley et al. (1976)	1,16	Sem compactação
	7,0-13,1	Compactados
Cartier e Baldit (1983)	11,0-14,5	Compactados
	10	Compactados
Oliden (1987)	7,5-8,5	Pré-carregado
	5,5-7,1	Sem compactação
Oweiss e Khera (1990)	6,3	Origem industrial e doméstica
	4,6-17,3	Misturado
	2,8-3,1	Sem compactação
	4,7-6,3	Moderadamente compactado
Arroyo et al. (1990)	10	Compactados
Landva e Clark (1990)	7-14	
Benvenuto e Cunha (1991)	10	Condição drenada
	13	Condição saturada
Van Impe (1994)	10	Densificados

Tabela 20 – Valores de peso específico encontrados na literatura (Continuação)

Autor, ano	Peso específico kN/m <sup>3</sup>	Observações:
Van Impe (1994)	9,3	Máxima densidade seca (w=31%)
Gabr e Valero (1995)	8	Saturação completa (w=70%)
	12	Com volume de ar nulo (w=31%)
Santos e Presa (1995)	7	Resíduos novos
	10	Resíduos após a ocorrência de recalques
Kaimoto e Cepollina (1996)	5-7	Resíduos novos não decompostos e pouco compactados
	9-13	Compactados
Mahler e Iturri (1998)	10,5	Sítio São João com 10 meses de alteamento
Sarsby (2000)	1,2-3,0	Lançado no aterro
Kavazanjian (2001)	10-20	EUA
Silveira (2004)	9,47-16,36	Ensaio percâmetro, Paracambi-RJ
	9,15	Ensaio tipo vala Nova Iguaçu-RJ
	9,99-11,75	Ensaio percâmetro, Santo André-SP
Cata Preta et al. (2005)	7-11	Aterro sanitário
Bauer (2006)	8,6-15,6	Aterro com resíduos degradados

Fonte: SILVEIRA (2004) e BOGATTO (2010)

O peso específico escolhido para dimensionar o aterro foi o encontrado por KAIMOTO e CEPOLLINA (1996) para resíduos compactados, pois por se tratar de um município de pequeno porte, a compactação do resíduo no aterro não será tão eficaz. Assim adotou o valor mínimo dessa faixa (entre 9 e 13 kN/m<sup>3</sup>) de resíduos compactados que é  $\gamma = 9 \text{ kN/m}^3$ .

A seguir estão os cálculos necessários para encontrar o volume que o aterro deve comportar.

$\rho = \frac{\gamma}{g}$ , onde  $\rho$  é a massa específica,  $\gamma$  é o peso específico e  $g$  é a aceleração da gravidade ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ).

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \Rightarrow \rho = \frac{9000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-2}}{9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}} \Rightarrow \rho = 917,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V = \frac{m}{\rho} \Rightarrow V = \frac{104448,5 \cdot 10^3 \text{ kg}}{917,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \Rightarrow V = 113.849,0 \text{ m}^3$$

Assim, a estimativa do volume de resíduos ocupado no aterro será de 113.849 m<sup>3</sup>. Porém, como parâmetro de projeto do aterro, 70% do volume é de resíduos e 30%

é de camada de cobertura (CURTY, 2005). Portanto, o volume total do aterro será de 162.642 m<sup>3</sup>.

### Área necessária para o aterro

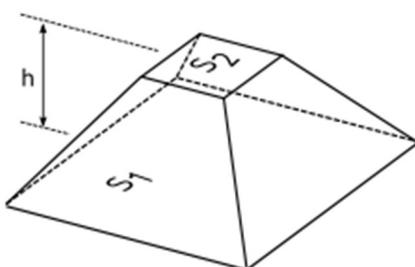
Para o cálculo da área necessária para a implantação do aterro, adotou-se uma declividade de 1V:3H (ELK, 2007), berma de 3 metros (comporta a passagem de caminhões com até 3 m de largura) e uma altura de 5 metros em cada camada (SUZUKI, 2012). Dos 5 metros de cada camada, 70% são para dispor os resíduos (camada de resíduo) e 30% são para dispor solo (camada de cobertura), ou seja, 3,5 m para camada de resíduos e 1,5 m para a camada de cobertura (4 x 0,40 m de cobertura diária + 0,70 m de cobertura final) (CURTY, 2005). A cobertura de solo diária tem como objetivo impedir o arraste de materiais pela ação do vento e evitar a disseminação de odores desagradáveis e a proliferação de vetores como moscas, ratos, baratas e aves. Uma vez esgotada a capacidade da plataforma do aterro, procede-se à sua cobertura final com uma camada de argila compactada sobre as superfícies que ficarão expostas permanentemente – bermas, taludes e platôs definitivos. Após recobrimento, deve-se proceder ao plantio de gramíneas nos taludes definitivos e platôs, de forma a protegê-los contra a erosão (FEAM, 2006).

A partir do volume do aterro, da sua geometria (tronco piramidal) e do tipo de aterro (convencional), foi possível calcular a área a ser utilizada para a implantação do aterro. Para a determinação da área, adotou-se que o aterro terá 4 camadas de bases quadradas e 5 metros de altura de cada camada, totalizando uma altura de 20 metros.

O cálculo do volume de um tronco de pirâmide se dá pela seguinte fórmula:

$$V = \frac{h}{3} \cdot [S_1 + \sqrt{S_1 \cdot S_2} + S_2]$$

Figura 19 – Tronco de Pirâmide



Fonte: MSPC (2009)

V: volume ( $\text{m}^3$ )

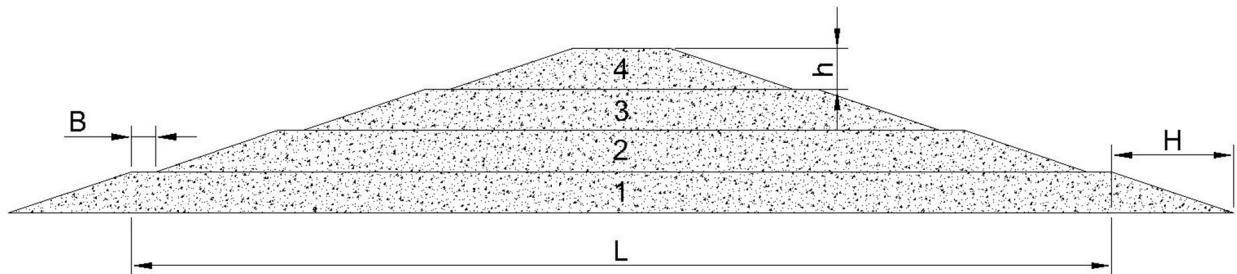
h: altura do tronco da pirâmide (m)

$S_1$ : área da base ( $\text{m}^2$ )

$S_2$ : área do topo ( $\text{m}^2$ )

A Figura 20 mostra um croqui do aterro sanitário.

Figura 20 – Croqui do aterro sanitário



Fonte: Autores (2017)

Usou-se o software *Excel 2016* para o cálculo de L que satisfizesse o volume de 162.642  $\text{m}^3$  a ser ocupado pelos resíduos e pelas camadas de cobertura, conforme abaixo:

$$V_1 = \frac{h}{3} \cdot \left[ (L + 2H)^2 + \sqrt{(L + 2H)^2 \cdot L^2} + L^2 \right]$$

$$V_2 = \frac{h}{3} \cdot \left[ (L - 2B)^2 + \sqrt{(L - 2B)^2 \cdot (L - 2B - 2H)^2} + (L - 2B - 2H)^2 \right]$$

$$V_3 = \frac{h}{3} \cdot \left[ (L - 4B - 2H)^2 + \sqrt{(L - 4B - 2H)^2 \cdot (L - 4B - 4H)^2} + (L - 4B - 4H)^2 \right]$$

$$V_4 = \frac{h}{3} \cdot \left[ (L - 8B - 6H)^2 + \sqrt{(L - 8B - 6H)^2 \cdot (L - 8B - 8H)^2} + (L - 8B - 8H)^2 \right]$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

V: volume total do aterro

$V_1$ : volume camada 1

$V_2$ : volume camada 2

$V_3$ : volume camada 3

$V_4$ : volume camada 4

h: altura da camada de resíduo ( $h = 5 \text{ m}$ )

L: comprimento do topo da primeira camada ( $L = 120 \text{ m}$ , calculado no Excel)

H: comprimento horizontal para satisfazer  $1V:3H$  ( $H = 15 \text{ m}$ , assim  $5V:15H = 1V:3H$ )

B: comprimento da berma (B=3 m)

Área da base da primeira camada:

$$A = (L+2H)^2$$

$$A = (120+30)^2$$

$$A = 22.500 \text{ m}^2$$

Portanto, o resíduo ocupará uma área de 22.500 m<sup>2</sup>. Além da área que o resíduo vai ocupar, é necessário considerar a área da infraestrutura do aterro. Adotou-se uma porcentagem de 16% para a área de infraestrutura auxiliar, com base no parecer técnico da CETESB nº 124-15-IPSR. Portanto, a área necessária para a construção do aterro é de 26.786 m<sup>2</sup>.

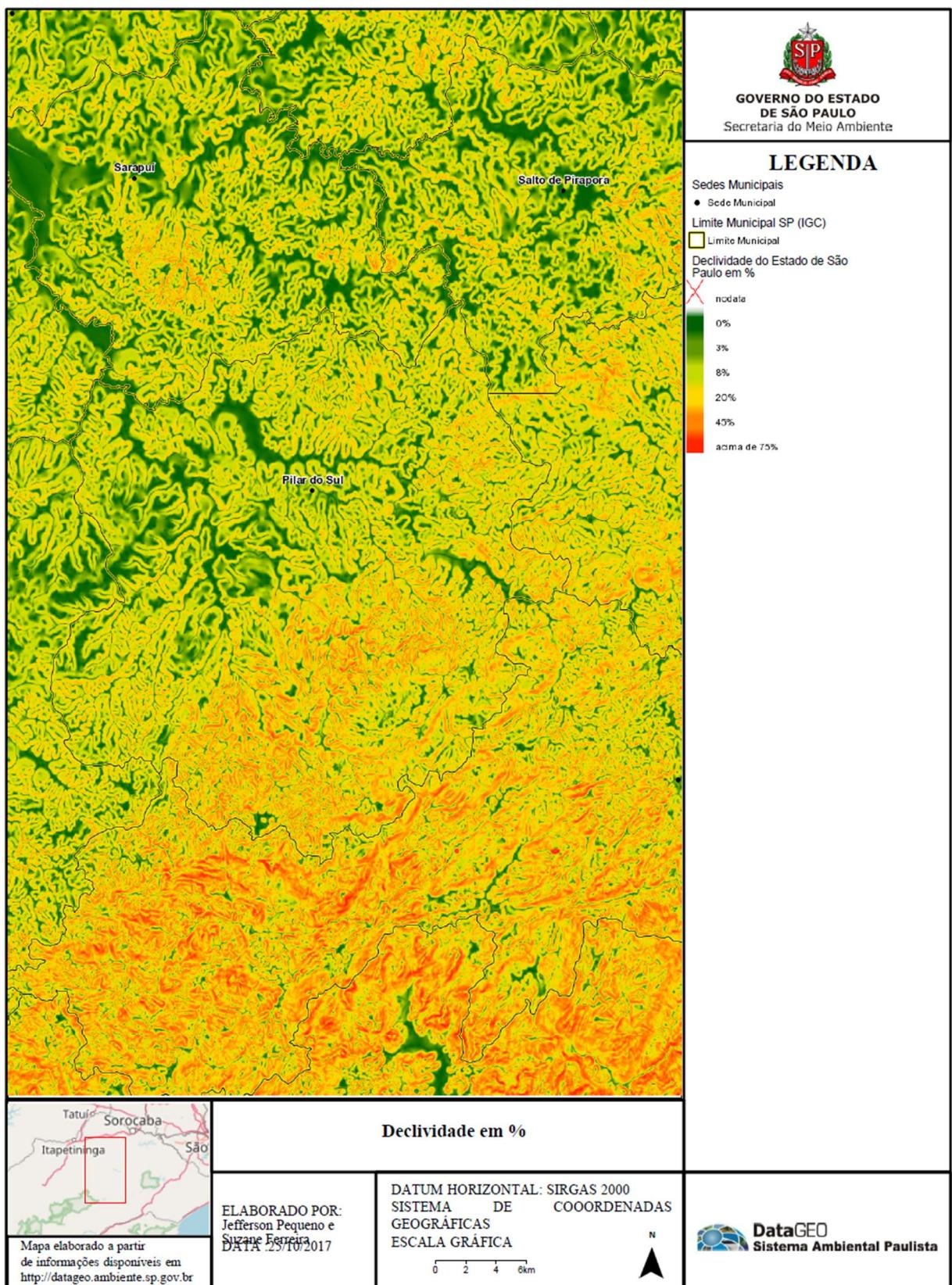
### **Delimitação da área disponível para o aterro**

Para a delimitação das áreas a serem propostas para a implantação do aterro, utilizou-se da plataforma DataGeo. O DataGeo consiste na instalação de uma estrutura de dados espaciais de temática ambiental do Estado de São Paulo. É uma plataforma que permite o acesso às informações territoriais ambientais por instituições governamentais e acadêmicas, além do público em geral. Ele foi desenvolvido pelo Sistema Ambiental Paulista, tendo como órgão central a Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. A partir dos critérios citados na ABNT NBR 13896/1997, determinaram-se os layers para serem sobrepostos para então, encontrar as melhores opções de áreas possíveis.

### **TOPOGRAFIA**

A norma recomenda que os aterros sanitários sejam implantados em locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%. A Figura 21 mostra que a declividade na maior parte de Pilar do Sul, com exceção do sul e extremo leste, tem declividade entre 1% e 30%.

Figura 21 – Declividade de Pilar do Sul

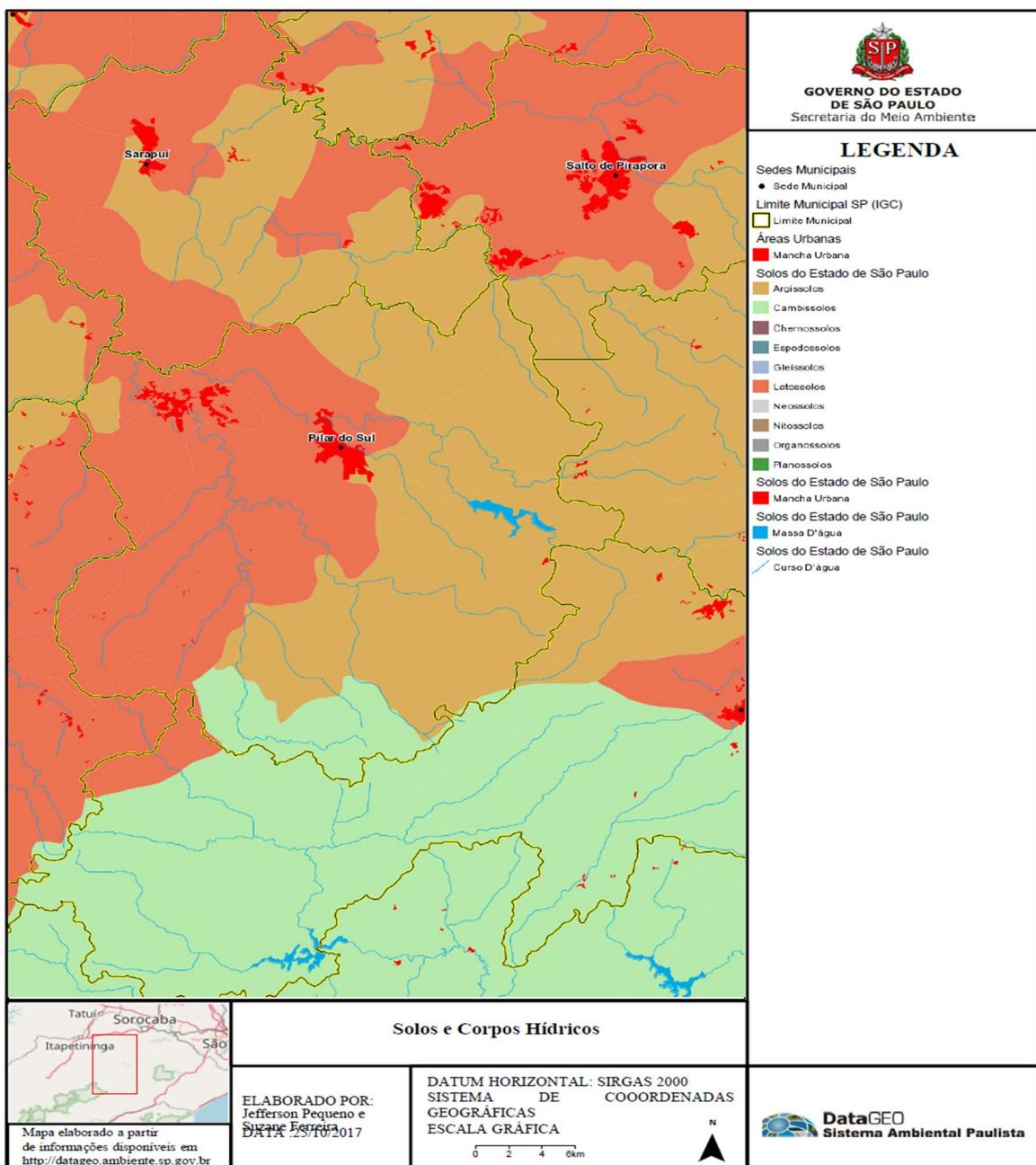


Fonte: DataGeo (2017)

## TIPOS DE SOLOS EXISTENTES E CORPOS HÍDRICOS

A Figura 22 mostra os solos e corpos hídricos existentes em Pilar do Sul. O município divide-se em três tipos de solo: argissolo, abrangendo a área leste; latossolo abrangendo a área oeste e cambissolo abrangendo uma pequena área no extremo sul.

Figura 22 – Solos e Corpos Hídricos de Pilar do Sul

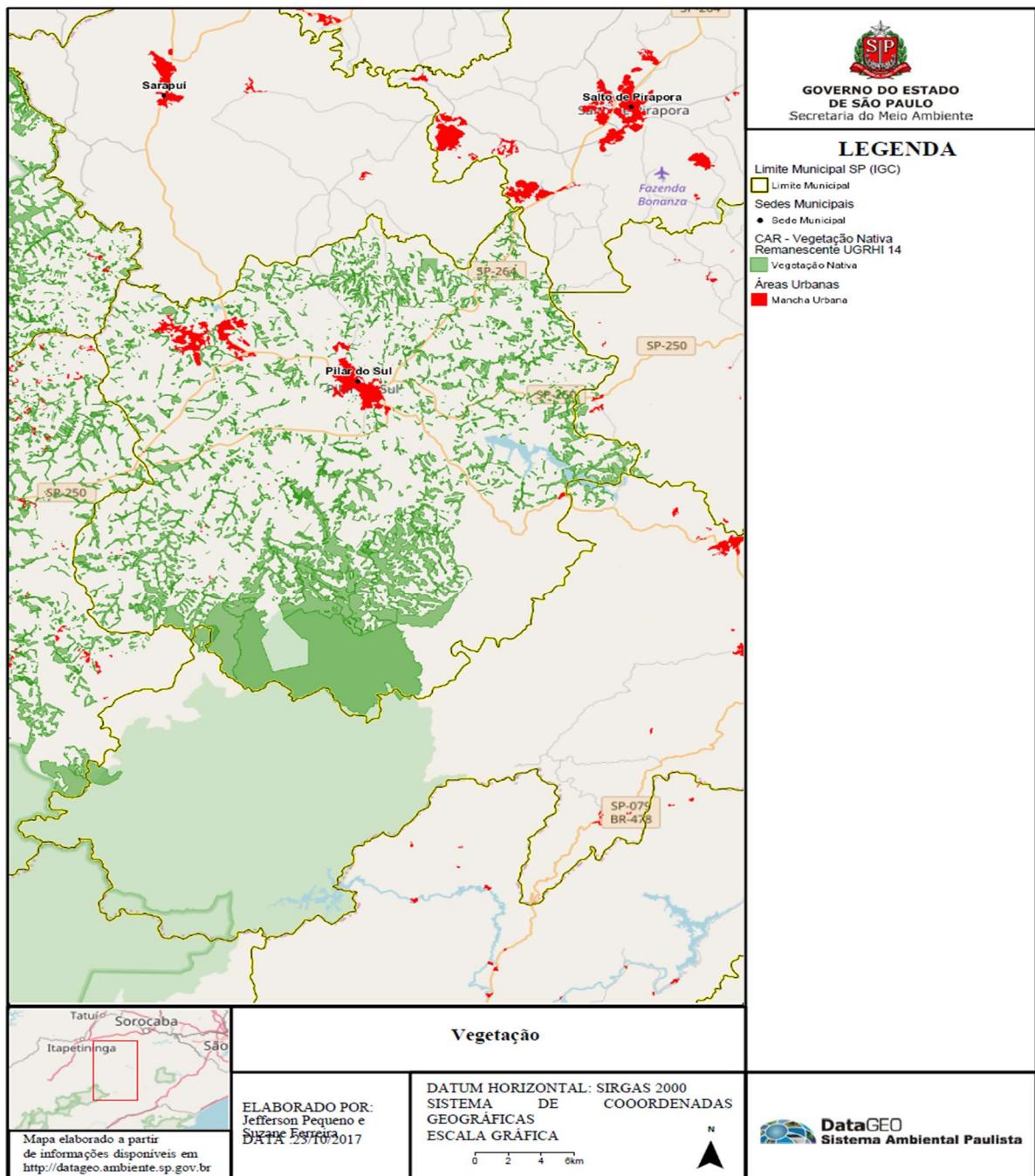


Fonte: DataGeo (2017)

## VEGETAÇÃO

A Figura 23 mostra a vegetação nativa presente em Pilar do Sul. Pode-se apontar que a maior área de vegetação nativa se localiza no sul do município.

Figura 23 – Vegetação de Pilar

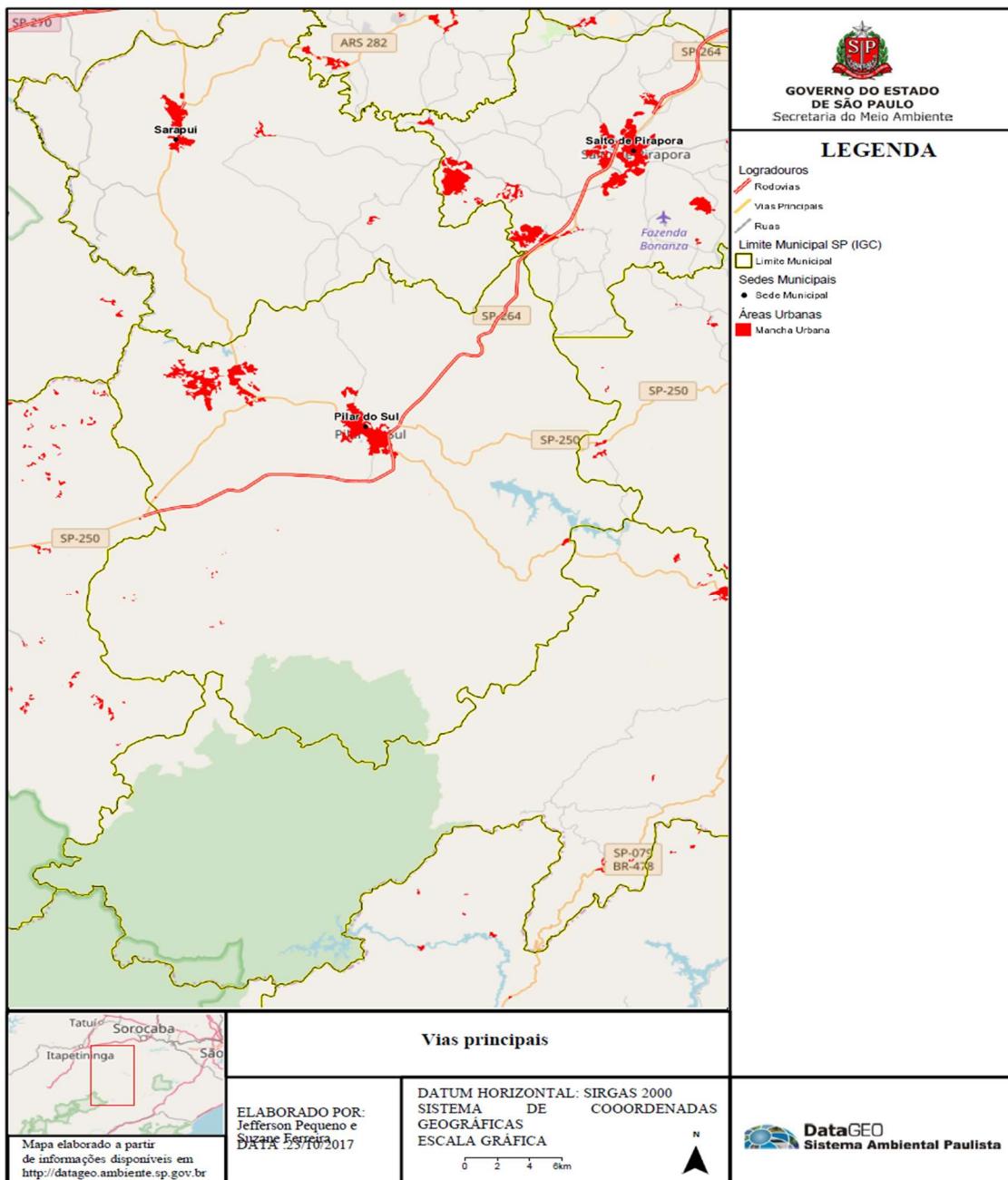


Fonte: DataGeo (2017)

## ACESSOS

A Figura 24 mostra as vias principais de Pilar do Sul. Há quatro principais vias que cortam o município são Rodovia SP-250, Rodovia SP-264, Rodovia Nestor Fogaça e Estrada Vicinal José Waldemar Mazer.

Figura 24 – Vias principais de Pilar do Sul

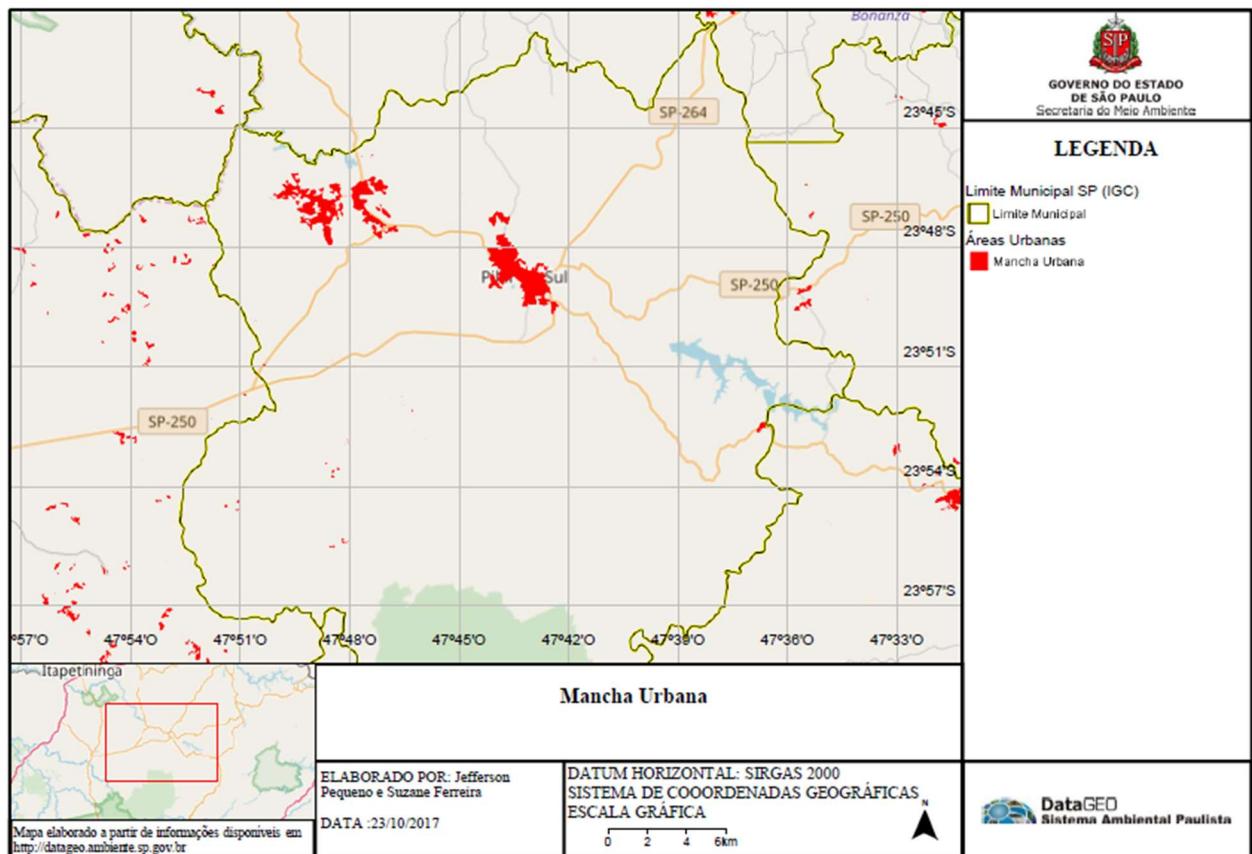


Fonte: DataGeo (2017)

## DISTÂNCIA MÍNIMA A NÚCLEOS POPULACIONAIS

A norma recomenda que a distância mínima do aterro até os núcleos populacionais deve ser de 500 metros. A Figura 25 mostra a mancha urbana de Pilar do Sul.

Figura 25 – Mancha urbana de Pilar do Sul

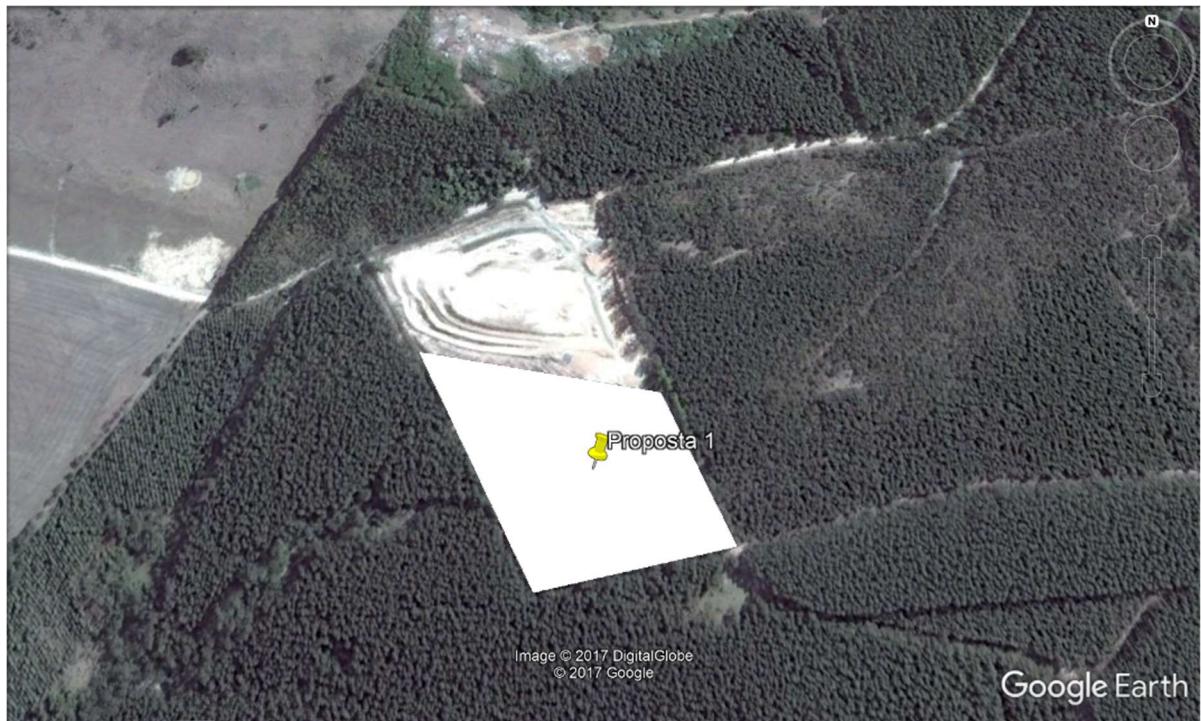


Fonte: DataGeo (2017)

Após agrupar todos os *layers* e adotar os critérios da norma, foi possível sugerir três propostas de área para a implantação do aterro sanitário.

**Proposta 1:** Área localizada ao fundo do aterro existente. Compreende uma área de 28.284 m<sup>2</sup>. (Localização: Latitude: 23°50'15.23"S Longitude: 47°40'29.13"O)

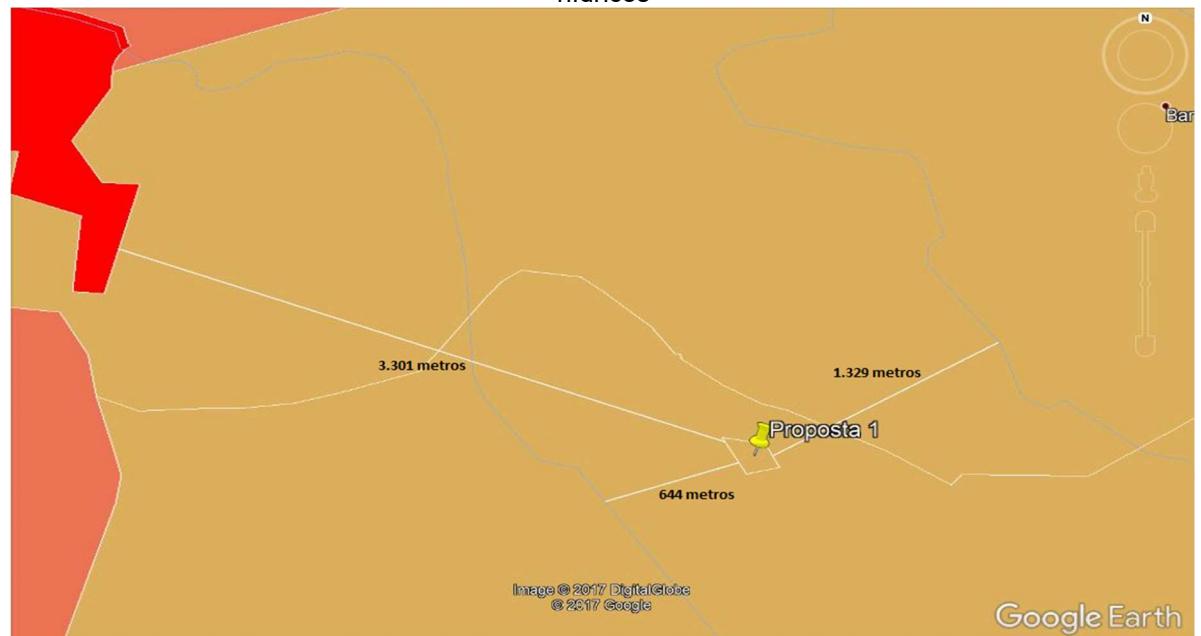
Figura 26 – Proposta 1 da delimitação da área para o novo aterro sanitário



Fonte: Google Earth (2017)

A área delimitada na proposta 1 se localiza a 3.301 metros do núcleo urbano, 644 metros de corpo hídrico a oeste e 1.329 metros de corpo hídrico a leste, conforme mostrado na figura 27.

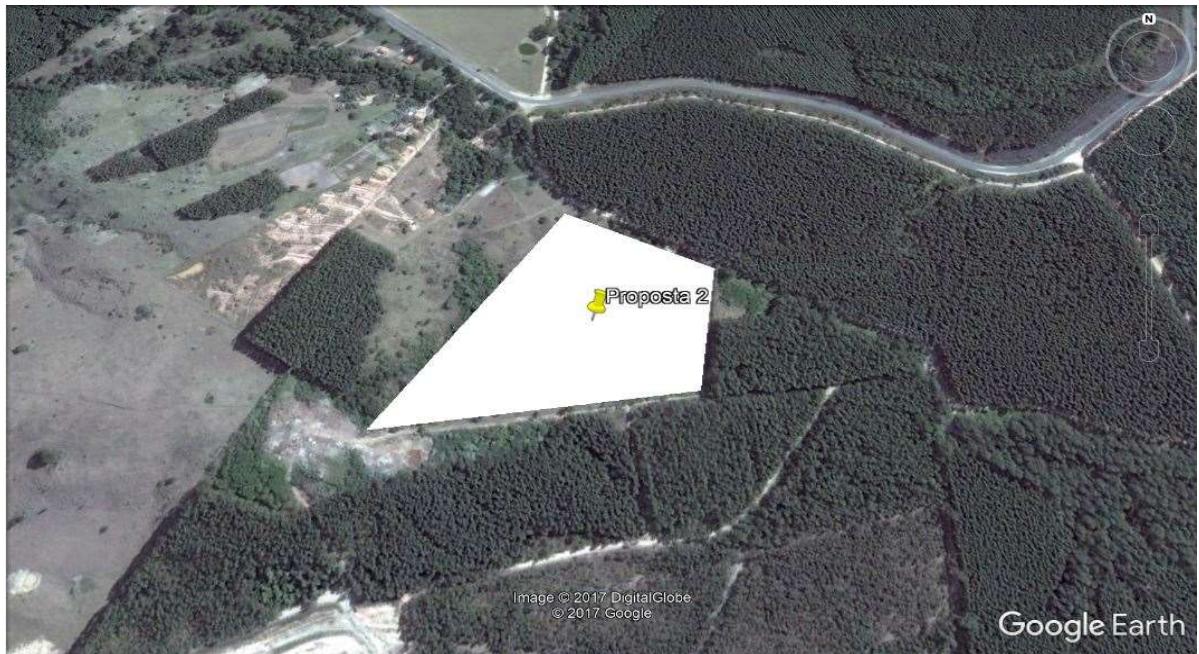
Figura 27 – Localização da área do aterro na proposta 1 em relação a núcleos urbanos e corpos hídricos



Fonte: Google Earth (2017)

**Proposta 2:** Localização: Latitude: 23°49'56.17"S Longitude: 47°40'22.71"O. Área disponível 64.868 m<sup>2</sup>.

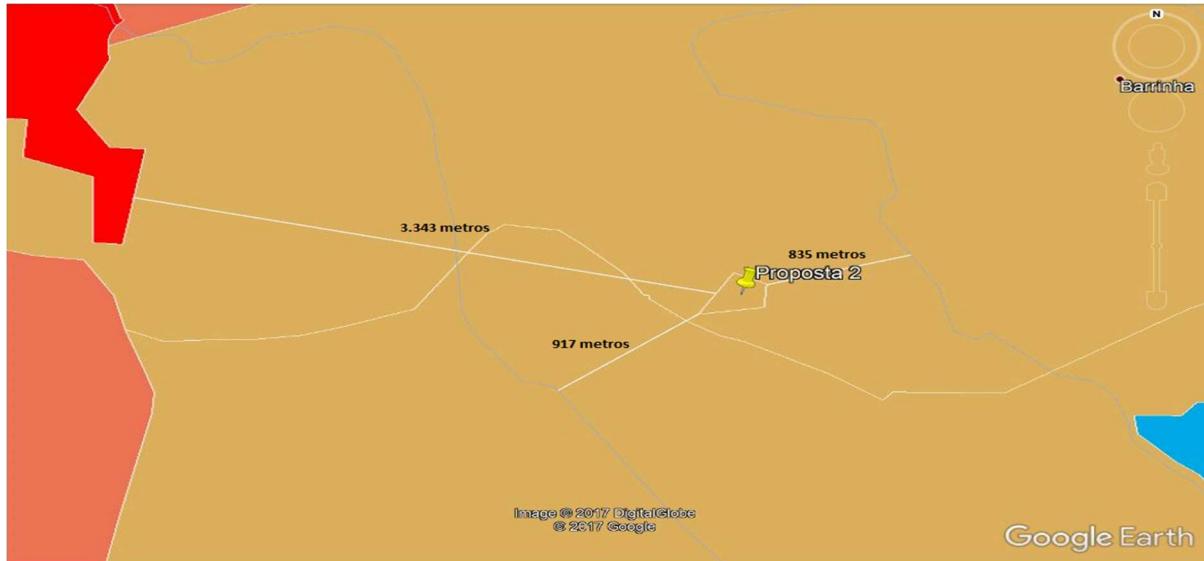
Figura 28 – Proposta 2 da delimitação da área para o novo aterro sanitário



Fonte: Google Earth (2017)

A área delimitada na proposta 2 se localiza a 3.343 metros do núcleo urbano, 917 metros de corpo hídrico a oeste e 835 metros de corpo hídrico a leste, conforme mostrado na figura 29.

Figura 29 – Localização da área do aterro na proposta 2 em relação a núcleos urbanos e corpos hídricos



Fonte: Google Earth (2017)

**Proposta 3:** Localização: Latitude: 23°44'57.75"S Longitude: 47°39'7.87"O.  
Área disponível: 36.245 m<sup>2</sup>.

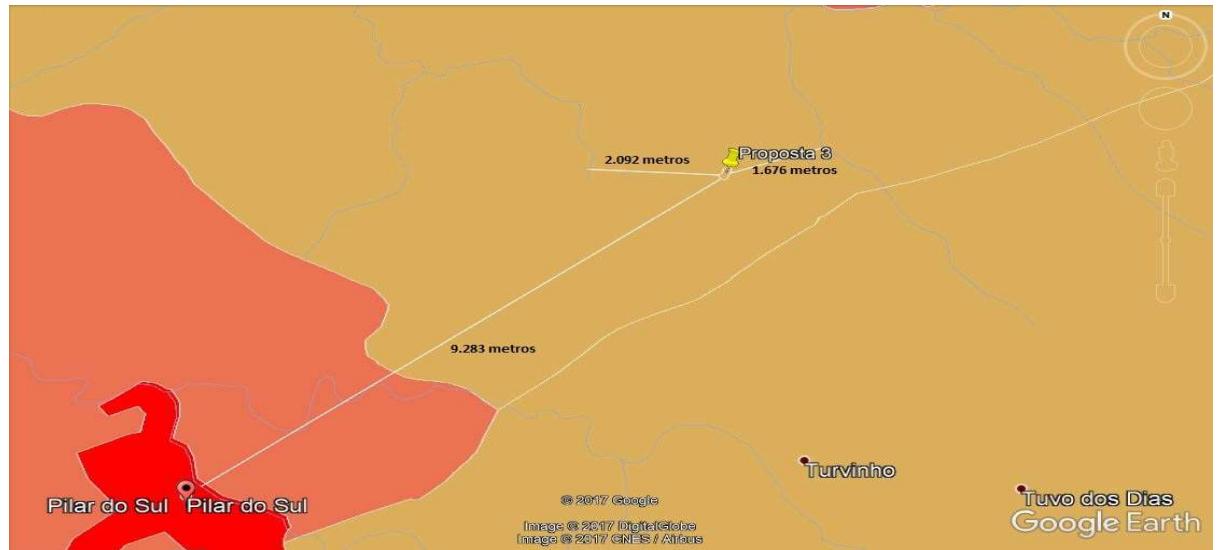
Figura 30 – Proposta 3 da delimitação da área para o novo aterro sanitário



Fonte: Google Earth (2017)

A área delimitada na proposta 3 se localiza a 9.283 metros do núcleo urbano, 2.092 metros de corpo hídrico a oeste e 1.676 metros de corpo hídrico a leste, conforme mostrado na figura 31.

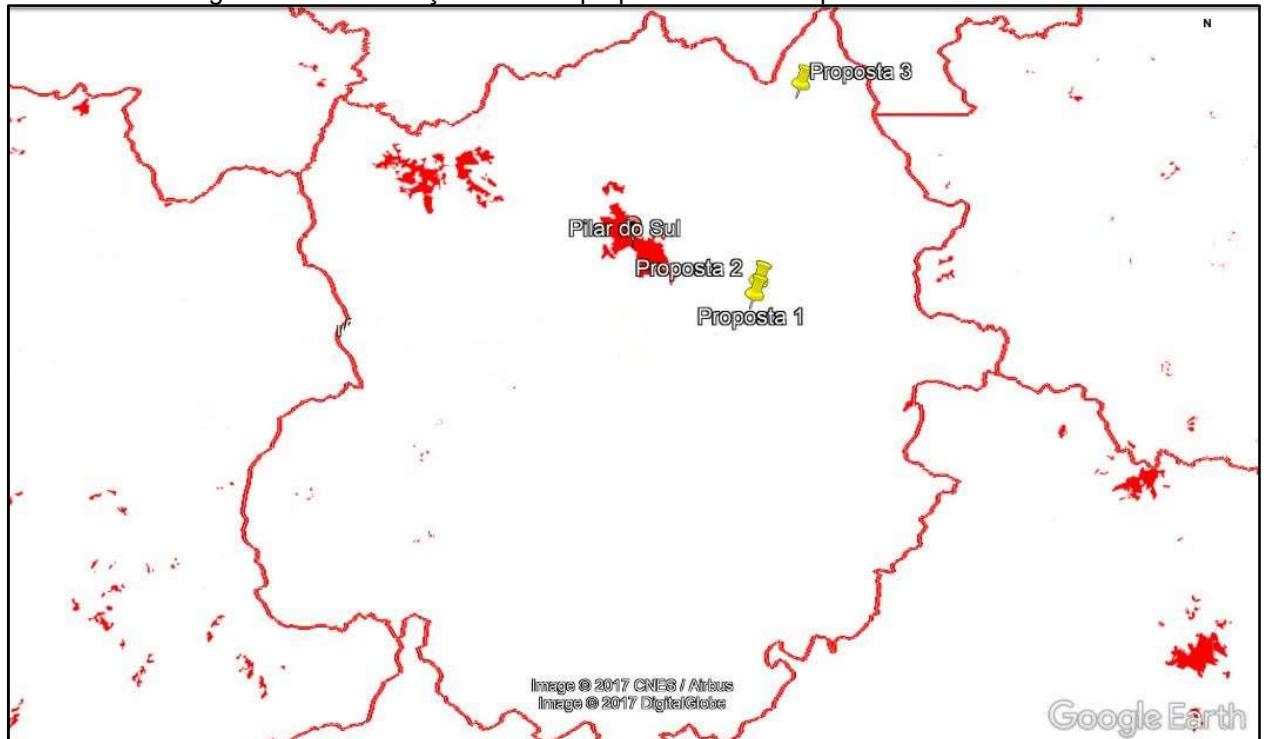
Figura 31 – Localização da área do aterro na proposta 3 em relação a núcleos urbanos e corpos hídricos



Fonte: Google Earth (2017)

A localização das três propostas pode ser visualizada na Figura 32.

Figura 32 – Localização das três propostas no município de Pilar do Sul



Fonte: Google Earth (2017)

## 5.2. Tratamento de Resíduos Orgânicos

Os resíduos orgânicos são constituídos basicamente por restos de animais ou vegetais. Podem ter diversas origens, como doméstica ou urbana (restos de alimentos e podas), agrícola ou industrial (resíduos de agroindústria alimentícia, indústria madeireira, frigoríficos etc.), de saneamento básico (lodos de estações de tratamento de esgotos), entre outras. A disposição inadequada de resíduos orgânicos gera chorume (lixiviado), emissão de metano (e outros gases) na atmosfera e favorece a proliferação de vetores de doenças. Assim, faz-se necessária a adoção de métodos adequados de gestão e tratamento destes grandes volumes de resíduos, para que a matéria orgânica presente seja estabilizada.

### 5.2.1. Biodigestores

O biodigestor anaeróbio é um sistema fechado onde é feita a degradação da matéria orgânica por ação microbiológica, que geralmente conta com um sistema de entrada de matéria orgânica, um tanque onde ocorre a digestão e um mecanismo para retirada de subprodutos (REIS, 2012).

Encontra-se na literatura classificações de biodigestores sob diversos aspectos, como por exemplo quanto ao teor de sólidos, formas de alimentação e número de estágios, de acordo com suas características físicas e operacionais, como mostrado a seguir.

#### Classificação dos biodigestores

Em relação ao teor de sólidos os biodigestores classificam-se em:

- Baixo teor de sólidos (convencional ou “low-solids” ou “slurry”):
  - Leite et al. (2009) – de 4% a 8% (porcentagem em peso) de sólidos totais (ST)
  - Mata-Alvarez (2003, apud REIS, 2012) – 10 a 15% de ST
  - PROSAB (2003) – menor do que 15% de ST
- Alto teor de sólidos (“high-solids” ou “dry”):
  - Leite et al. (2009) – em torno de 20% de ST
  - Mata-Alvarez (2003, apud REIS, 2012) – 20% a 40% de ST
  - PROSAB (2003) – entre 20% e 40% de ST

De acordo com LEITE *et al.* (2009), a presença de água favorece a condução de enzimas e de outros metabólitos microbianos e, portanto, o metabolismo dos micro-organismos, no processo de biodecomposição. Portanto, a umidade pode ser considerada como um fator de muita importância nos processos de tratamento de resíduos sólidos orgânicos.

Já os tratamentos com baixa umidade que ocorrem nos reatores de digestão anaeróbia seca têm relevância no tratamento de grandes volumes de substratos com pouca umidade, como resíduos sólidos municipais e industriais, além de serem menos sensíveis à presença de impurezas (PROBIOGÁS, 2015).

Em relação ao número de estágios:

- Sistemas de um estágio;
- Sistemas de dois estágios;
- Sistemas multi-estágios.

A biometanização de resíduos orgânicos é realizada por uma série de transformações bioquímicas, que podem ser grosseiramente separadas em duas etapas, onde a primeira tem a ocorrência da hidrólise, da acidificação e da liquefação e a segunda tem a transformação do acetato, do hidrogênio e do óxido de carbono em metano. Em sistemas de um único estágio, todas essas reações ocorrem simultaneamente em um único reator. (VANDEVIVERE *et al.*, 2002).

Em relação à forma de alimentação:

- Contínuo

Nos sistemas de alimentação contínua há introdução de substratos de forma constante e regular nos reatores e ao mesmo tempo que ocorre a alimentação, um volume igual ao de entrada é removido como resíduos tratados, o que resulta numa produção contínua de biogás. Esse sistema apresenta como desvantagem a possibilidade de parte do resíduo, que é removido continuamente do digestor, não se encontrar completamente estabilizado (REIS, 2012).

- Descontínuo

Nos sistemas de alimentação descontínua, ou em batelada, há preenchimento total do biodigestor em uma única vez com os resíduos frescos, podendo ou não ser adicionado um inóculo. A introdução de inóculos no meio tem mostrado resultados satisfatórios, uma vez que promove a diminuição do tempo necessário para a bioestabilização anaeróbia dos resíduos, já que contribui para a melhora da densidade microbiana (PROSAB, 2003).

### 5.2.2. Incineradores

A incineração utiliza-se de processos que geram elevadas temperaturas quando da queima de RSU combustíveis em fornos na presença de oxigênio em excesso. Tem-se a geração de cinzas (materiais inorgânicos), com algum material carbonáceo residual como principal resíduo do processo.

Atualmente, as técnicas de incineração mais utilizadas são o *Mass Burning* e o *Refuse-derived Fuel*. Na modalidade *Mass Burning*, os resíduos são incinerados de forma bruta, sem qualquer pré-tratamento, excetuando a remoção de partes de grandes dimensões. Por outro lado, na modalidade *Refuse-derived Fuel*, os resíduos são previamente processados, de forma a remover materiais recicláveis e minimizar a heterogeneidade da massa a ser efetivamente incinerada. Por não requerer a etapa prévia de processamento, a técnica *Mass Burning* é a mais frequentemente utilizada (MACHADO, 2015).

### 5.2.3. Usina de compostagem

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) previu, no art. 36, inciso V, a necessidade de implantação, pelos titulares dos serviços, “de sistemas de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articulação com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido”. Desta forma, entende-se que a promoção da compostagem da fração orgânica dos resíduos faz parte do rol de obrigações dos municípios instituída pela Lei 12.305/2010.

A compostagem é o processo que faz uso de um princípio natural de decomposição da matéria orgânica na presença de oxigênio. Neste processo, microrganismos atuam quebrando moléculas até transformá-las em gases (gás carbônico e água) e minerais. O produto resultante deste processo é o composto orgânico, que pode ser usado para a agricultura em escala ou doméstica.

A viabilidade econômica deste processo depende do modelo de negócio e da estrutura das usinas de compostagem. Para ter um composto de qualidade, é preciso investir em tecnologia, o que torna o empreendimento mais caro. Em um nível mais empresarial, a geração de receita ocorre basicamente através da venda dos compostos, ou adubo orgânico. Nem sempre essa venda justifica o investimento no projeto. Em muitos casos, o empreendedor cobra uma taxa para tratar os resíduos em um valor tal, que viabilize economicamente o empreendimento.

No aspecto social, existe aqui um grande potencial de se empregar vários catadores que para isso, devem ser devidamente qualificados. Aqui vale o princípio de quanto mais tecnologia houver no empreendimento, melhor a qualidade do

composto e assim melhor o valor agregado dos produtos, porém menor a taxa de emprego.

Para a escolha dessas tecnologias e sua associação com outras (arranjos tecnológicos), deve-se levar em consideração uma série de critérios, tais como:

- **Técnicos:** características quantitativas e qualitativas dos resíduos gerados, geografia da região, geomorfologia, pluviometria, urbanização, distância do centro gerador e aspectos urbanísticos;
- **Ambientais:** disponibilidade de área adequada, emissões de gases, geração de líquidos e outros que devem atender às legislações específicas;
- **Econômicos:** capacidade financeira de investimentos e capacidade de operação e manutenção das tecnologias;
- **Políticos:** de fundamental importância no Brasil, em função da descontinuidade administrativa após a mudança periódica de gestão, que tem trazido cenários negativos na consolidação de tecnologias de tratamento de resíduos, tornando-se uma das maiores anti-políticas públicas existentes no país;
- **Sociais:** geração de emprego e renda e sua relação com a tecnologia a ser utilizada.

### 5.3. Resíduos Recicláveis

A coleta seletiva é citada como uma alternativa para o problema dos resíduos sólidos urbanos, possibilitando melhor reaproveitamento do papel, vidro, metal, plástico e matéria orgânica. Ela diminui o volume de resíduos que vai para os aterros sanitários, aumentando sua vida útil e evitando que as prefeituras tenham de gastar dinheiro com a construção de novos aterros. Outro ganho para a sociedade acontece quando os materiais recicláveis são encaminhados para centrais de triagem, mantidas por cooperativas de catadores. Através da cooperativa, os trabalhadores podem ter

um trabalho mais digno do que se fossem vasculhar materiais recicláveis pelas ruas ou em lixões. A coleta seletiva pode ser considerada também como um processo de educação ambiental, pois sensibiliza a comunidade no que diz respeito ao desperdício e a geração excessiva de resíduo. A coleta seletiva começa dentro das residências, onde há a separação do resíduo, com a posterior coleta no município. É de extrema importância a preocupação e a ação dos municípios no emprego da coleta seletiva, pois é o poder público que é responsável pela coleta dos materiais, que podem ser levados para centros de reciclagem ou cooperativas de coleta de resíduos. A coleta de resíduos urbanos baseia-se em critérios sanitários que impedem o desenvolvimento de vetores transmissores de doenças que encontram alimentos e abrigo nas lixeiras.

### Educação ambiental e conscientização

As campanhas educativas contribuem para mobilizar a comunidade, para sua participação efetiva e ativa na implantação da coleta seletiva de resíduos sólidos, separando os materiais recicláveis e/ou reutilizáveis diretamente na fonte de geração. Mas, cabe ressaltar o papel da sociedade em geral no desenvolvimento de projetos de educação ambiental, levando a ideia de que a reciclagem por si só não pode ser considerada a solução, mas que a mudança de hábitos e atitudes pode levar a sociedade a tomar medidas mais abrangentes, com ações que minimizem a quantidade de resíduos na própria fonte geradora, consumindo menos e reutilizando embalagens descartáveis, por exemplo. Desta forma, acreditando na educação ambiental como processo educativo, permanente e contínuo, que visa desenvolver uma filosofia de vida ética e moral, de maior harmonia e respeito com a natureza e entre os homens, propiciando conhecimentos e o exercício da cidadania para uma atuação crítica e consciente dos indivíduos e grupos, tem-se esta como chave para a implementação de projetos direcionados aos resíduos sólidos. Entendem-se por educação ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade. A educação ambiental é conceituada segundo as Diretrizes Curriculares Nacionais para a educação ambiental

como: “um meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade.”.

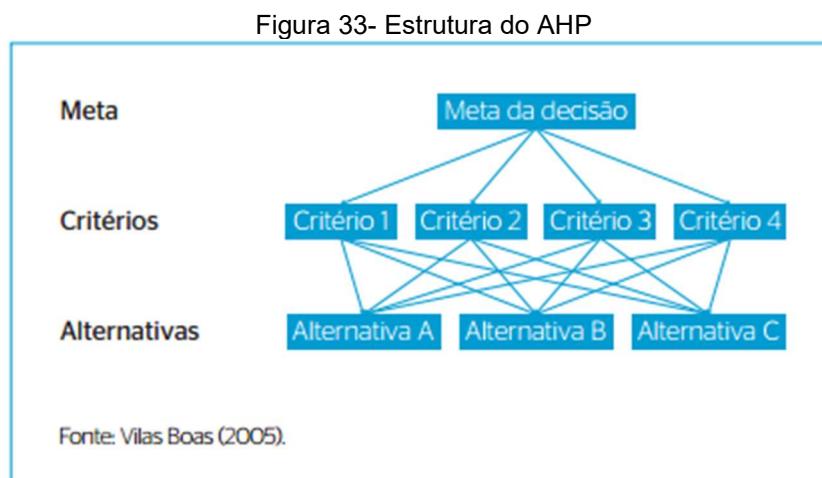
## 6. DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

### 6.1. Tratamento de Resíduos Orgânicos

Em geral, os problemas de decisão envolvem múltiplos objetivos e critérios muitas vezes contraditórios entre si, em que a contribuição de um critério quase sempre apresenta um prejuízo em outro. Nos dias atuais, a problemática da tomada de decisão é caracterizada por um número crescente de alternativas e critérios, posto que os decisores necessitam selecionar, ordenar, classificar ou ainda descrever com detalhes as alternativas tecnológicas disponíveis, considerando múltiplos critérios. Assim, a tomada de decisão requer um grande esforço para resolver o dilema dos objetivos conflitantes que impede a existência da “solução ótima” e conduz para a “solução de melhor acordo”, e por ser uma questão de elevada complexidade, requer um tratamento qualificado e justifica a utilização de métodos de apoio à decisão em diversas circunstâncias. Esses métodos são comumente aplicados em diversas áreas da engenharia, recursos hídricos, urbanismo, gestão de bacias hidrográficas, engenharia de transportes e na gestão e tratamento de resíduos sólidos. Em função dessa complexidade, os métodos multicritérios de apoio à decisão são ferramentas importantes para auxiliar os tomadores de decisão a resolver problemas com objetivos conflitantes, e também dar suporte em toda a análise de escolha de forma mais direta envolvendo todos os elementos e consequências das ações potenciais. Dentre os métodos multicritérios de apoio à decisão, têm-se os métodos da teoria da utilidade multi-atributo, o Analytic Hierarchy Process (AHP).

O AHP foi um dos primeiros métodos de tomada de decisão do tipo multi-atributo, apesar de sua formulação matemática ter sido bastante aprimorada ao longo do tempo. Fundamenta-se na comparação de alternativas de escolha por pares, questionando os elementos que satisfazem a análise e o quanto satisfazem. Tem como propósito organizar os objetivos ou critérios em uma hierarquia representada pela preferência dos decisores, com base na determinação de peso dos critérios por

meio de pesquisa direta com especialistas da área (GOEPEL, 2013). A aplicação do método AHP consiste em seguir ao menos quatro etapas nos níveis descritos na Figura 33.



1. Estruturar os objetivos, atributos e alternativas em hierarquias;
2. Obter os dados do julgamento comparativo de cada par dos fatores de decisão em um determinado nível do grupo, verificando a consistência do julgamento atribuído; Uso de modelos de apoio à decisão para tratamento de RSU na região sul
3. Determinar as prioridades relativas do peso dos atributos de decisão em cada nível ou grupo;
4. Consolidar todos os pesos, propagando o efeito desses pesos na estrutura até o nível das alternativas. A recomendação da decisão é dada pela classificação das alternativas de decisão, ordenadas relativamente ao objetivo global.

A vantagem do método AHP consiste em permitir ao decisor a atribuição de pesos relativos para as múltiplas alternativas e, concomitantemente, realizar uma comparação par a par. Sob a ótica do processo decisório este método pode ser utilizado para:

- (a) auxiliar nas fases de concepção em que os tomadores de decisão analisam os dados;
- (b) determinar e esclarecer questionamentos;
- (c) refinar os critérios de avaliação;

- (d) definir as alternativas, já que permite comparar elementos de decisão quantitativos e qualitativos;
- (e) na fase de escolha, permitir a verificação do impacto dos fatores não quantificáveis;
- (f) selecionar as alternativas mais adequadas.

A Tabela 21 apresenta a matriz de ponderação dos critérios e a Tabela 22 apresenta os resultados referentes à aplicação do modelo relacionado aos critérios ambiental, econômico, político e social. A soma dos critérios é igual a 1.

Tabela 21 – Matriz de ponderação dos critérios

Matrix	C. Ambientais	C. Sociais	C. Econômicos	C. Políticos	5	6	7	8	9	10	normalized principal Eigenvector
C. Ambientais	1	1 1/6	1 2/5	7 1/2	0	0	0	0	0	0	(36,47%)
C. Sociais	2	5/6	5/7	7 1/2	0	0	0	0	0	0	28,43%
C. Econômicos	3	5/7	1 2/5	5 8/9	0	0	0	0	0	0	30,55%
C. Políticos	4	1/8	1/8	1/6	0	0	0	0	0	0	4,55%
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%

Fonte: Autores (2017)

Tabela 22 – Tabela modelo AHP com valores dos critérios

Criterion	Comment	Weights	Rk
1 C. Ambientais		36,5%	1
2 C. Sociais		28,4%	3
3 C. Econômicos		30,6%	2
4 C. Políticos		4,5%	4
5		0,0%	
6		0,0%	
7		0,0%	
8		0,0%	
9	for 9&10 unprotect the input sheets and expand the question section ("+" in row 66)	0,0%	
10		0,0%	

Fonte: Autores (2017)

Utilizando o método AHP foi adotado a seguinte metodologia, 10 para a melhor alternativa no critério, 5 para a segunda e 3 para a pior, em caso de empate escolhe-se uma nota igualitária para dois ou mais critérios.

Tabela 23 – Ponderação das alternativas para tratamento da matéria orgânica

Econômico		Social			Ambiental				Político		Nota Total	
0.306		0.284			0.365				0.045			
Custo Operação	Custo Implantação	Segurança Ocupacional	Geração de Emprego	Perturbação do Entorno	Risco de contaminação do solo e corpos d'água	Risco de redução na qualidade do ar	Risco de gerar odor e proliferação de vetores	Complexidade de operação	Inexistência de problemas com a comunidade local	Acesso à área através de vias com baixa densidade e de ocupação		
Incineradores	3	3	3	10	10	10	3	10	3	10	3	18.4
Biodigestores	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	14.5
Composteiras	10	10	10	5	3	3	10	3	10	5	10	21.4

Fonte: Autores (2017)

Aplicada a metodologia é possível classificar a melhor metodologia segundo critérios adotados pelos autores, tendo em vista que a maior nota representa a alternativa que se destacou em aspectos mais relevantes. A alternativa escolhida a compostagem simples.

## 6.2. Aterro Sanitário

A escolha de um local para a implantação de um aterro sanitário não é tarefa simples. O alto grau de urbanização das cidades, associado a uma ocupação intensiva do solo, restringe a disponibilidade de áreas próximas aos locais de geração de lixo e com as dimensões requeridas para se implantar um aterro sanitário que atenda às necessidades dos municípios.

Além desse aspecto, deve-se levar em consideração outros fatores, como os parâmetros técnicos das normas e diretrizes federais, estaduais e municipais, os aspectos legais das três instâncias governamentais, planos diretores dos municípios envolvidos, pólos de desenvolvimento locais e regionais, distâncias de transporte, vias

de acesso e os aspectos político-sociais relacionados com a aceitação do empreendimento pela comunidade.

A estratégia a ser adotada para a seleção da área do novo aterro consiste nos seguintes passos:

- determinação preliminar da área necessária para a implantação do aterro, tendo como base a estimativa de geração de resíduo (em volume) e adoção de requisitos técnicos de projeto;
- estabelecimento do conjunto de critérios de seleção;
- definição de prioridades para o atendimento aos critérios estabelecidos;
- análise crítica de cada uma das áreas levantadas frente aos critérios estabelecidos e priorizados, selecionando-se aquela que atenda à maior parte das restrições através de seus atributos naturais.

Segundo a NBR 13896 (ABNT, 1997), para assegurar o projeto, instalação e operação adequados de um aterro de resíduos não perigosos são estabelecidas exigências relativas à localização, segregação e análise de resíduos, monitoramento, inspeção, fechamento da instalação e treinamento de pessoal.

Um local para ser utilizado para aterros de resíduos não perigosos deve ser tal que:

- a) o impacto ambiental a ser causado pela instalação do aterro seja minimizado;
- b) a aceitação da instalação pela população seja maximizada;
- c) esteja de acordo com o zoneamento da região;
- d) possa ser utilizado por um longo espaço de tempo, necessitando apenas de um mínimo de obras para início da operação.

Além dos critérios mencionados acima, outros critérios utilizados foram divididos em três grandes grupos: técnicos, econômico-financeiros e político-sociais.

#### 6.2.1. Critérios Técnicos

A seleção de uma área para servir de aterro sanitário à disposição final de resíduos sólidos domiciliares deve atender, no mínimo, aos critérios técnicos impostos pela norma da ABNT (NBR 13.896:1997 – Aterros de resíduos não perigosos –

Critérios para projeto, implantação e operação) e pela legislação federal, estadual e municipal.

Todos os condicionantes e restrições relativos à norma da ABNT, assim como os aspectos técnicos da legislação atualmente em vigor, estão considerados nos critérios listados na Tabela 24.

Tabela 24 – Critérios Técnicos

Critérios	Descrição
<b>Topografia</b>	Esta característica é fator determinante na escolha do método construtivo e nas obras de terraplenagem para a construção da instalação. Recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%.
<b>Uso do solo</b>	As áreas têm que se localizar numa região onde o uso do solo seja rural (agrícola) ou industrial e fora de qualquer Unidade de Conservação Ambiental.
<b>Proximidade a cursos d'água</b>	Deve ser avaliada a possível influência do aterro na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas próximas. O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água.
<b>Proximidade a núcleos residenciais urbanos</b>	Deve ser avaliada a distância do limite da área útil do aterro a núcleos populacionais, recomendando-se que esta distância seja superior a 500 m.
<b>Proximidade a aeroportos</b>	As áreas não podem se situar próximas a aeroportos ou aeródromos e devem respeitar a legislação em vigor.
<b>Permeabilidade do solo natural</b>	É desejável que o solo do terreno selecionado tenha uma certa impermeabilidade natural, com vistas a reduzir as possibilidades de contaminação do aquífero. As áreas selecionadas devem ter características argilosas e jamais deverão ser arenosas.
<b>Facilidade de acesso a veículos pesados</b>	O acesso ao terreno deve ter pavimentação de boa qualidade, sem rampas íngremes e sem curvas acentuadas, de forma a minimizar o desgaste dos veículos coletores e permitir seu livre acesso ao aterro mesmo na época de chuvas muito intensas.
<b>Distância do lençol freático</b>	Entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,50 m de solo insaturado. O nível do lençol freático deve ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região.

Fonte: MGIRS (2001)

### 6.2.2. Critérios Econômico-financeiros

Tabela 25 – Critérios Econômico-financeiros

Critérios	Descrição
<b>Distância ao centro geométrico de coleta</b>	É desejável que o percurso de ida (ou de volta) que os veículos de coleta fazem até o aterro, através das ruas e estradas existentes, seja o menor possível, com vistas a reduzir o seu desgaste e o custo de transporte do lixo.
<b>Custo de aquisição do terreno</b>	Se o terreno não for de propriedade da prefeitura, deverá estar, preferencialmente, em área rural, uma vez que o seu custo de aquisição será menor do que o de terrenos situados em áreas industriais.
<b>Custo de investimento em construção e infraestrutura</b>	É importante que a área escolhida disponha de infraestrutura completa, reduzindo os gastos de investimento em abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, drenagem de águas pluviais, distribuição de energia elétrica e telefonia.
<b>Custos com a manutenção do sistema de drenagem</b>	A área escolhida deve ter um relevo suave, de modo a minimizar a erosão do solo e reduzir os gastos com a limpeza e manutenção dos componentes do sistema de drenagem.

Fonte: MGIRS (2001)

### 6.2.3. Critérios Político-sociais

Tabela 26 – Critérios Político-sociais

Critérios	Descrição
<b>Acesso à área através de vias com baixa densidade de ocupação</b>	O tráfego de veículos transportando lixo é um transtorno para os moradores das ruas por onde estes veículos passam, sendo desejável que o acesso à área do aterro passe por locais de baixa densidade demográfica.
<b>Inexistência de problemas com a comunidade local</b>	É desejável que, nas proximidades da área selecionada, não tenha havido nenhum tipo de problema da prefeitura com a comunidade local, com organizações não-governamentais (ONG's) e com a mídia, pois esta indisposição com o poder público irá gerar reações negativas à instalação do aterro.

Fonte: MGIRS (2001)

## Priorização dos Critérios de Seleção

Tabela 27 – Hierarquização dos Critérios

Critérios	Prioridade
Atendimento à legislação ambiental em vigor	1
Atendimento aos condicionantes político-sociais	2
Atendimento aos condicionantes econômicos	3
Atendimento aos condicionantes técnicos	4

Fonte: MGIRS (2001)

## Análise das Áreas Selecionadas Frente aos Critérios Utilizados

O local selecionado para se implantar um aterro sanitário deve ser aquele que atenda ao maior número de critérios, dando-se ênfase aos critérios de maior prioridade.

A seleção da melhor área para implantação do aterro sanitário deve ser precedida de uma análise individual de cada área selecionada com relação a cada um dos diversos critérios apresentados, fornecendo-se a justificativa que permita considerar o critério que “mais atende”, “atende parcialmente” ou que “menos atende”.

Para que se possa efetuar a escolha da melhor área, é necessário que se fixem pesos, tanto para as prioridades, quanto para o atendimento aos critérios selecionados, como se mostra na Tabela 28.

Tabela 28 – Pesos dos critérios e do tipo de atendimento

Prioridade dos Critérios	Peso
1	10
2	6
3	4
4	3
Tipo de Atendimento	Peso
Mais atende	100%
Atende parcialmente	50%
Menos atende	0%

Fonte: MGIRS (2001)

## 7. ESCOLHA DA SOLUÇÃO

### 7.1. Aterro Sanitário

#### 7.1.1. Escolha da Melhor Área

Será considerada melhor área aquela que obtiver o maior número de pontos após a aplicação dos pesos às prioridades e ao atendimento dos critérios.

Tabela 29 – Características das Áreas

Critérios	Prioridade	Atendimento		
		Área 1	Área 2	Área 3
Proximidade a cursos d'água	1	A	A	A
Proximidade a núcleos residenciais urbanos	1	A	A	A
Proximidade a aeroportos	1	A	A	A
Distância do lençol freático	1	SD	SD	SD
Vias de Acesso com baixa ocupação	2	P	A	N
Problemas com a comunidade local	2	SD	SD	SD
Custo de aquisição do terreno	3	A	P	N
Construção e infraestrutura	3	A	N	N
Manutenção do sistema de drenagem	3	A	A	A
Distância ao centro de coleta	3	A	A	N
Uso do solo	4	A	A	A
Permeabilidade do solo natural	4	A	A	A
Topografia	4	A	A	A
Acesso a veículos pesados	4	N	P	A

Nota: A – mais atende; P – atende parcialmente; N – menos atende; SD – Sem dados.

Fonte: MGIRS (2001)

Aplicando-se os pesos definidos na Tabela 28, as áreas selecionadas chegarão à pontuação calculada na Tabela 30, a seguir.

Tabela 30 – Pontuação das Áreas

Critérios	Pontos da Prioridade	Pontos do Atendimento (%)			Pontos das Áreas		
		Área 1	Área 2	Área 3	Área 1	Área 2	Área 3
Proximidade a cursos d'água	10	100	100	100	10	10	10
Proximidade a núcleos residenciais	10	100	100	100	10	10	10
Proximidade a aeroportos	10	100	100	100	10	10	10
Distância do lençol freático	10	-	-	-	-	-	-
Vias de Acesso com baixa ocupação	6	50	100	0	3	6	0
Problemas com a comunidade local	6	-	-	-	-	-	-
Custo de aquisição do terreno	4	100	50	0	4	2	0
Construção e infraestrutura	4	100	0	0	4	0	0
Manutenção do sistema de drenagem	4	100	100	100	4	4	4
Distância ao centro de coleta	4	100	100	0	4	4	0
Uso do solo	3	100	100	100	3	3	3
Permeabilidade do solo natural	3	100	100	100	3	3	3
Topografia	3	100	100	100	3	3	3
Acesso a veículos pesados	3	0	50	100	0	1,5	3
<b>PONTUAÇÃO FINAL</b>	-	-	-	-	<b>58</b>	<b>56,5</b>	<b>46</b>

Fonte: Autores (2017)

Vê-se, portanto, que a área 1 (Proposta 1) é a que apresenta maiores vantagens no cômputo geral (obteve 58 pontos). A proposta 1 é a área que já se localiza dentro do aterro encerrado em Pilar do Sul. A área já possui a infraestrutura necessária para a operação do novo aterro.

## 7.2. Tratamento de Resíduos Orgânicos

### 7.2.1. Usina de Compostagem

Dentre as técnicas de tratamento disponíveis para a fração de resíduos orgânicos oriunda da coleta urbana, uma que se destaca pelo grande alcance, em vista da sua simplicidade, praticidade e dos resultados atingidos é a compostagem. A compostagem possibilita a transformação de resíduos orgânicos em um composto de grande valor fertilizante para as plantas e solo. Trata-se de um processo que permite a reciclagem dos resíduos orgânicos, possibilitando seu reaproveitamento em detrimento da mera disposição final, que no geral implica em impactos ambientais negativos. Neste contexto, a questão da adubação orgânica é praticada desde que os

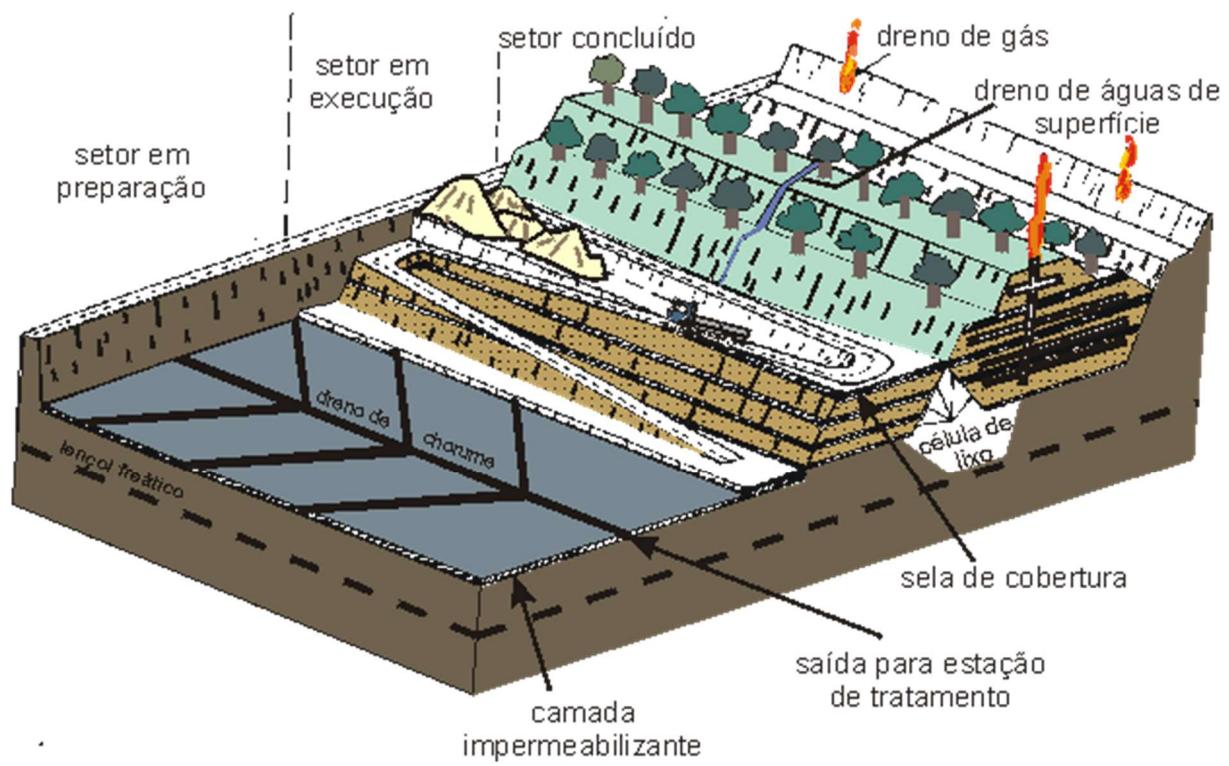
solos começaram a ser mobilizados para a produção agrícola, e foi, tradicionalmente, o principal meio de restaurar o balanço de nutrientes no solo. Portanto, a reciclagem dos resíduos orgânicos é uma das mais antigas práticas utilizadas por agricultores para favorecer o desenvolvimento das culturas agrícolas. A compostagem é considerada uma forma eficiente de biodegradação controlada da matéria orgânica, principalmente quando comparada aos sistemas atualmente vigentes, como os aterros sanitários e os lixões. Nestes locais não há controle do processo de biodegradação da matéria orgânica e por consequência são gerados gases e líquidos (chorume) indesejáveis, os quais devem ser tratados posteriormente. O processo de compostagem apresenta-se relevante aos municípios brasileiros pelas características dos resíduos produzidos, nos quais em média 51,4% são orgânicos (IBGE, 2010). Desta forma, a compostagem aliada à reciclagem gera ganhos ambientais aos municípios devido à redução de resíduos encaminhados aos aterros, seu consequente aumento de vida útil, à geração de emprego e renda aos catadores de materiais recicláveis e, por fim, à otimização de fluxos de materiais com a geração de materiais reutilizáveis. Segundo MASSUKADO (2008), no Brasil, cerca de 50% a 60% dos resíduos sólidos domiciliares produzidos são constituídos de material compostável que, por não ser coletado separadamente, acaba sendo encaminhado para um destino final inadequado, juntamente com os resíduos perigosos, rejeitos e com os recicláveis que deixaram de ser coletados seletivamente. Essa forma de destinação gera, para a maioria dos municípios, despesas que poderiam ser evitadas caso o material compostável fosse separado na fonte e encaminhado para um tratamento específico. Evitar a disposição da fração orgânica nos aterros sanitários torna possível aumentar a vida útil do mesmo. Do ponto de vista econômico, podem-se reduzir os gastos com transporte (caso a compostagem seja realizada em local mais próximo aos geradores), disposição final e com o tratamento de chorume (MASSUKADO, 2008).

## 8. ESPECIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO

### 8.1. Aterro Sanitário

Visto que a área escolhida para a implantação do novo aterro sanitário se encontra dentro da área do aterro sanitário existente e encerrado, não será necessária a construção de unidades de apoio (cerca e barreira vegetal, estradas de acesso e de serviço, balança rodoviária e sistema de controle de resíduos, guarita de entrada e prédio administrativo). O único projeto necessário é o da construção das células: impermeabilização do fundo, sistema de coleta e tratamento de percolados, sistema de coleta e queima de biogás, e sistema de drenagem de águas pluviais (Figura 34).

Figura 34 - Figura esquemática de um aterro sanitário

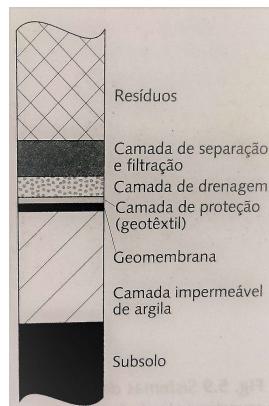


Fonte: UNESP (sem data)

### 8.1.1. Revestimento de fundo

O revestimento de fundo de aterros de resíduos é composto basicamente por camadas de impermeabilização, drenagem e transição. A Figura 35 apresenta um esquema ilustrativo de um revestimento de fundo.

Figura 35 - Esquema ilustrativo do revestimento de fundo



Fonte: BOSCOV (2008)

O revestimento da base da figura acima é composto das seguintes camadas, de baixo para cima:

- camada de argila compactada com coeficiente de permeabilidade menor ou igual a  $1 \times 10^{-9}$  m/s;
- geomembrana;
- camada de proteção da geomembrana, de geotêxtil;
- camada drenante de percolado, de material granular;
- camada de separação e filtração, de solo de granulometria intermediária entre a dos resíduos e a da camada drenante.

Para a impermeabilização deve ser obtida de uma combinação de camada argilosa com a geomembrana. Sobre a geomembrana deve ser colocada uma camada de proteção de geotêxtil contra danos causados pela instalação da camada de drenagem e pelas solicitações decorrentes do peso dos resíduos, principalmente punção e rasgos. No Estado de São Paulo, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) tem requisitado uma camada de solo argiloso compactado com 0,6 m de espessura e coeficiente de permeabilidade inferior a  $1 \times 10^{-9}$  m/s sobreposta por

uma geomembrana de PEAD (polietileno de alta densidade) de 2 mm de espessura e coeficiente de permeabilidade de cerca de  $10^{-14}$  m/s.

### 8.1.2. Sistema de Coleta e Tratamento de Percolado

O percolado gerado pelos resíduos depositados em um aterro deve ser coletado e tratado, para evitar a contaminação do subsolo e águas subterrâneas por infiltração no terreno sob o aterro, assim como de corpos d'água a jusante do aterro por escoamento superficial. Ademais, a drenagem de percolado diminui as pressões neutras na massa de resíduos, melhorando sua estabilidade geotécnica.

O sistema de drenagem de percolação geralmente consiste em uma camada de material granular de alta permeabilidade, como brita, protegida por uma camada de filtração, geralmente de areia ou geotêxtil. Dentro da camada de material granular é colocada uma tubulação perfurada, de material física e quimicamente resistente ao tipo de resíduo disposto, como, por exemplo, PEAD. As tubulações conduzem o percolado a um reservatório ou trincheira, de onde é removido por bombeamento para tratamento. No caso do aterro de Pilar do Sul, o percolado será retirado do reservatório e levado à estação de tratamento por caminhões-pipa.

#### **Estimativa de Percolado**

Para a estimativa da geração de lixiviado admitiu-se que este será proveniente da precipitação incidente sobre a área superficial do aterro. Desconsiderou-se a parcela do escoamento superficial externo ao aterro ao longo de sua operação, atenuado pela implantação de sistema de drenagem de águas pluviais. A estimativa da geração de lixiviado foi realizada pelo Método do Balanço Hídrico. O Método do Balanço Hídrico permite estimar o lixiviado com base no princípio da conservação de massa, utilizando dados de precipitação, evapotranspiração e das características de transmissão e retenção da cobertura do solo. A Tabela 31 mostra os parâmetros utilizados no método do balanço hídrico.

Tabela 31 – Parâmetros do método do balanço hídrico

PARÂMETROS		MODO DE OBTENÇÃO
Precipitação (P)		Boletins Pluviométricos.
Evaporação Potencial (EP)		Boletins Hidrometeorológicos.
Escoamento Superficial (ES)		Valores empíricos tabelados que dependem do tipo de solo e sua declividade ( $ES = C' \times P$ ).
Infiltração (I)		Obtido através da subtração da Precipitação pelo Escoamento Superficial.
I – EP	(1)	Diferença entre a água que infiltra e a que evapora.
S (NEG (I – EP))	(2)	Calculado somando os valores negativos de (I – EP).
Armazenamento de Água no Solo de cobertura (AS) (3)		Multiplicando-se o valor disponível da água p/ cada solo pela espessura deste, quando $(I-EP) > 0$ . Quando o solo estiver abaixo da capacidade de campo, $(I-EP) < 0$ , obtém-se AS empiricamente.
Variação no armazenamento de água no solo ( $\Delta AS$ )		Diferença entre a água armazenada no solo, de um mês para o outro ( $\Delta AS = AS_n - AS_{n-1}$ ).
Evaporação real (ER)		Quando $(I - EP) > 0$ , então $ER = EP$ e quando $(I - EP) < 0$ , então $ER = [EP + (I - EP) - D AS]$ .
Percolação em mm (PER)		$PER = P - ES - AS - ER$ .
Vazão mensal em L/s (QM)		$QM = (PER \times \text{ÁREA DO ATERRO}) / 2592000$
Observações:		
(1) Um valor negativo deste item indica perda potencial de água no solo e um valor positivo indica uma recarga de água no solo de cobertura. Quando a capacidade de campo do solo é atingida, esta água passará a percolar através da massa de lixo.		
(2) São adicionados os valores negativos de (I-EP) a partir do ultimo mês que apresente valor positivo deste parâmetro.		
(3) Quantidade de água que pode ser retida no solo e que influencia no fluxo de percolado. Depende basicamente do tipo, estrutura, capacidade de campo e profundidade do solo.		

Fonte: Adaptado de FENN *et al*, 1975, apud NETO *et al*, 1999

Tabela 32 - Coeficiente de escoamento superficial ( $C'$ )

Tipo de Solo	Declividade	Coeficiente $C'$	
		Estação Seca	Estação Úmida
Arenoso	0 a 2%	0,05	0,10
	2 a 7%	0,10	0,15
Argiloso	0 a 2%	0,18	0,17
	2 a 7%	0,18	0,22

Fonte: Adaptado de FENN *et al*, 1975, apud NETO *et al*, 1999

Tabela 33 - Água disponível do solo (mm de água/m de profundidade de solo)

Tipo de Solo	Capacidade de Campo (mm/m)	Ponto de Murchamento (mm/m)	Água Disponível (mm/m)
Arenoso	200	50	150
Siltoso	300	100	200
Argiloso	375	125	250

Fonte: Adaptado de FENN *et al*, 1975, apud NETO *et al*, 1999

Tabela 34 – Memória de cálculo do método do balanço hídrico

Mês	PER (mm)	QM (m <sup>3</sup> /mês)	P (mm)	EP (mm)	ES (mm)	C'	I (mm)	I-EP (mm)	ΣNEG(I-EP)	AS (mm)	AsExp (mm)	ΔAS (mm)
jan	54.5	1540.3	207	107	45.5	0.22	161.5	54.5		408	408	0
fev	36.6	1035.2	170	96	37.4	0.22	132.6	36.6		408	408	0
mar	16.6	470.6	138	91	30.4	0.22	107.6	16.6		408	408	0
abr	0	0.0	65	61	14.3	0.22	50.7	-10.3	-10.3	408	408	0
mai	0	0.0	62	51	13.6	0.22	48.4	-2.6	-12.9	408	408	0
jun	0	0.0	53	47	11.7	0.22	41.3	-5.7	-18.6	408	408	0
jul	0	0.0	52	49	11.4	0.22	40.6	-8.4	-27.0	408	408	0
ago	0	0.0	53	54	11.7	0.22	41.3	-12.7	-39.7	399	408	-9
set	5.9	168.0	73	61	16.1	0.22	56.9	-4.1	-43.8	398	408	-10
out	25.2	712.2	131	86	28.8	0.22	102.2	16.2	-43.8	399	408	-9
nov	35.9	1016.0	164	101	36.1	0.22	127.9	26.9	-43.8	399	408	-9
dez	38.9	1099.7	196	115	43.1	0.22	152.9	37.9	-43.8	407	408	-1

**Área do aterro: 28.284 m<sup>2</sup>**

Fonte: Autores (2017)

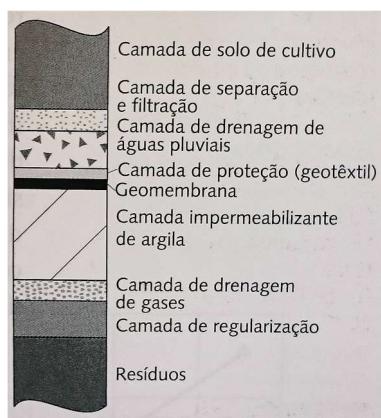
O mês de maior geração de lixiviado é janeiro, para o qual a vazão calculada pelo Método do Balanço Hídrico foi de 1.540,3 m<sup>3</sup> /mês. A vazão média diária é de 51,3 m<sup>3</sup>/dia. Será necessário a construção de um reservatório com um volume de 52 m<sup>3</sup>.

#### 8.1.3. Revestimento de Cobertura

O revestimento impermeável superior ou de cobertura de aterros de resíduos, executado sobre a última camada de resíduos disposta, tem como funções principais: isolar os resíduos do meio ambiente ao redor, controlar a entrada ou saída de gases e limitar a infiltração de água na massa de resíduos para diminuir a quantidade de percolado gerada.

A cobertura é geralmente composta pelas seguintes camadas: de solo de cultivo; de separação e filtração; de drenagem de águas pluviais; de proteção da geomembrana; de impermeabilização composta por geomembrana ou argila; de drenagem de gases; e de regularização, conforme ilustrado na Figura 36.

Figura 36 - Esquema ilustrativo da cobertura ou revestimento impermeável superior



Fonte: BOSCOV (2008)

O revestimento impermeável superior da figura acima é composto das seguintes camadas, de baixo para cima:

- camada de regularização de solo não nobre;
- se houver formação de gases, camada de drenagem para gás, de material granular;
- camada de argila compactada com coeficiente de permeabilidade menor ou igual a  $1 \times 10^{-9}$  m/s;
- geomembrana com limitação de declividade transversal e longitudinal após recalques;
- camada de proteção da geomembrana de geotêxtil;
- camada drenante de águas pluviais, de material granular;
- camada de separação e filtração, de solo de granulometria intermediária entre a de solo para cultivo e a da camada drenante;
- camada de solo para cultivo.

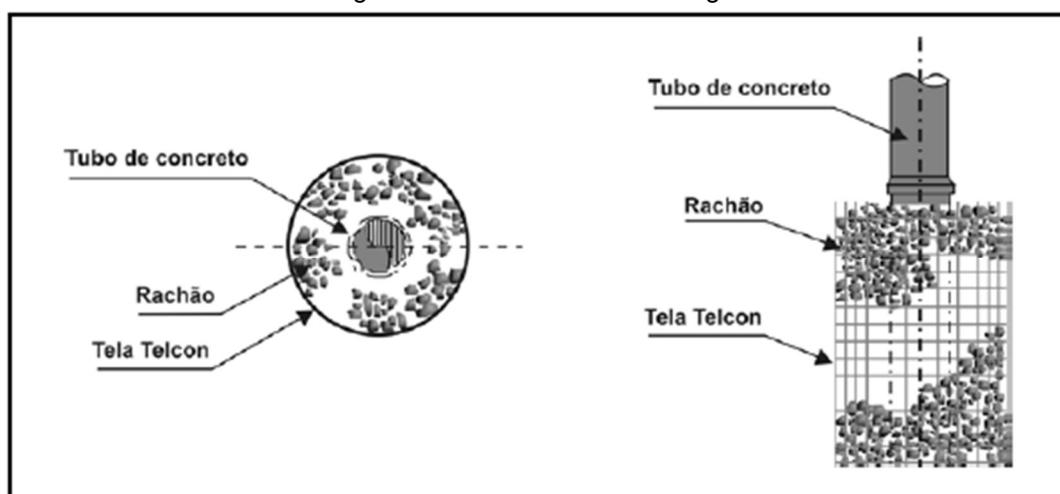
#### 8.1.4. Sistema de Coleta e Tratamento de Biogás

A função do sistema de drenagem de biogás é drenar o gás gerado na decomposição da matéria orgânica, evitando sua migração através de meios porosos que constituem o subsolo, podendo se acumular em redes de esgoto, fossas, poços e edificações (FILHO, 2005). O sistema é formado pelos drenos verticais e camadas horizontais interligados (BOSCOV, 2008):

- Camadas horizontais: fazem parte da cobertura e são constituídas de areia, geotêxteis espessos, geomalhas e geocompostos
- Drenos verticais: atravessam o perfil do aterro desde o revestimento de fundo até a superfície e são construídos com tubos de concreto envolto por materiais granulares

A Figura 37 mostra os detalhes do tubo de concreto perfurado.

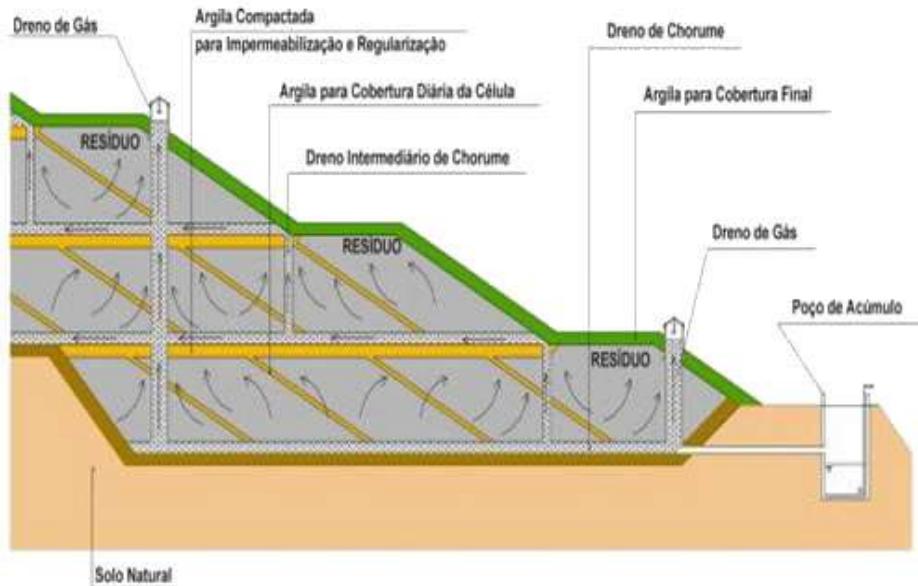
Figura 37 - Detalhes drenos de gás



Fonte: ITURRI (2006)

Os gases mais leves que o ar, como o metano, fluem pela camada de drenagem até os drenos verticais e sobem por estes até a superfície. Os gases mais pesados que o ar migram para o fundo das células e são coletados junto com o percolado. Ao atingir a superfície, os gases podem ser queimados ou utilizados para geração de energia. A Figura 38 mostra a interligação do sistema de gases com o sistema de lixiviado.

Figura 38 – Interligação do sistema de gases com o sistema de lixiviado



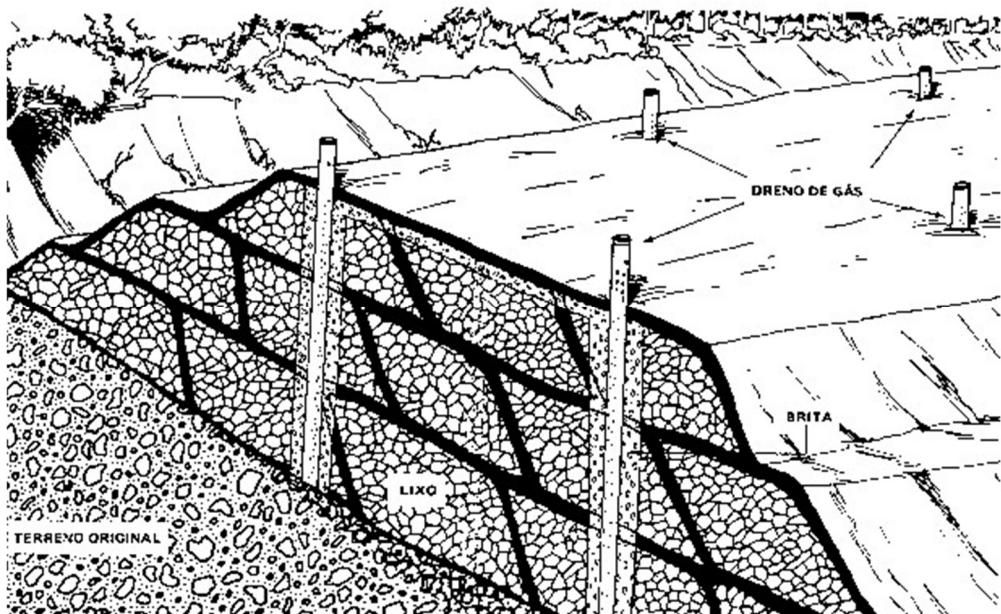
Fonte: CONDER (sem data)

### Disposição dos drenos verticais do biogás e o raio de influência

Os drenos verticais de um aterro sanitário normalmente têm 0,60 m de diâmetro (TIVERON et al., 1995). No Brasil, segundo a NBR 15849/2010 para aterros de pequeno porte o espaçamento deve ser de no máximo 30 m. Para aterros de grandes dimensões utiliza-se de 50 a 100 metros (SANTOS, 2004).

O raio de influência é definido como a distância entre o centro do poço até um ponto no aterro sanitário onde o gradiente de pressão aplicada pelo soprador se aproxima de zero (ROBERTSON e DUNBAR, 2005). A Figura 39 mostra a vista geral da superposição de células sanitárias e da distribuição de drenos de gases em aterros sanitários.

Figura 39 – Vista geral da superposição de células sanitárias e da distribuição dos drenos de gases em aterros sanitários



Fonte: FIPAI (2008)

### **Estimativa de emissão de biogás**

Existem diversos métodos de cálculo de estimativa de geração de biogás em aterros sanitários. Os mais conhecidos e empregados são os modelos recomendados pelo Banco Mundial, pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA) e pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). A seguir é feita uma breve descrição sobre os referidos modelos (ELK, 2007):

#### Modelo recomendado pelo Banco Mundial

Conhecido como Scholl-Canyon, é recomendado pelo Banco Mundial por ser simples, de fácil aplicação e o mais empregado pelas agências reguladoras e instituições financeiras que apóiam os projetos de aproveitamento do biogás de aterros na América do Sul. Esse modelo baseia-se na premissa de que há uma fração constante de material biodegradável no aterro sanitário por unidade de tempo, o que se expressa a partir da seguinte equação de primeira ordem:

$$Q_{CH4} = k \cdot L_0 \cdot m_i \cdot e^{-kt}$$

Em que:

$Q_{CH4}$  = metano produzido no ano “i” (m<sup>3</sup>/ano)

$k$  = taxa de geração de metano

$L_0$  = potencial de geração de metano em peso de lixo (m<sup>3</sup>/ton)

$m_i$  = massa de resíduos depositados no ano “i”, (t/ano)

$t$  = anos após o encerramento do aterro (anos)

### Modelo desenvolvido pela EPA

Também chamado de Landfill Gas Emission Model (Landgem), foi desenvolvido pela EPA e consta na legislação federal dos EUA sobre diretrizes e regras finais para aterros sanitários novos e velhos. É bastante empregado no mundo, tendo sido utilizado inclusive no estudo do potencial de geração de energia nos municípios brasileiros realizado pelo Ministério do Meio Ambiente. Esse método contabiliza quantidades e variações de gases na vida de um aterro e é expresso pela seguinte equação cinética de primeira ordem:

$$Q_{CH4} = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt})$$

Em que:

$Q_{CH4}$  = quantidade de gás gerado durante um ano (m<sup>3</sup>/ano)

$L_0$  = potencial de geração de metano em peso de lixo (m<sup>3</sup>/t)

$R$  = quantidade anual de resíduos depositados no aterro (t/ano)

$k$  = taxa de geração de metano por ano (1/ano)

$t$  = tempo desde o início da disposição do aterro (anos)

$c$  = tempo desde o encerramento do aterro (anos)

### Modelo adotado pelo IPCC

O modelo de cálculo mais simplificado, recomendado pelo IPCC, permite o cálculo da quantidade anual de metano gerada em um aterro sanitário e é expresso pela seguinte equação:

$$Q_{CH4} = (Pop_{urb} \cdot RSU_t \cdot RSU_f \cdot FCM \cdot COU \cdot COUF \cdot 16/12 - R) \cdot (1 - OX)$$

Em que:

$Pop_{urb}$  = população urbana (habitantes)

$RSU_t$  = taxa de geração de resíduos sólidos urbanos por habitante por ano

$RSU_f$  = fração de resíduos sólidos urbanos que é depositada em locais de disposição de resíduos sólidos (%)

$FCM$  = fator de correção de metano (%)

$COU$  = carbono orgânico degradável no resíduo sólido urbano (gC/GRSU)

$COUF$  = fração de  $COU$  que realmente degrada (%)

$F$  = fração de  $CH_4$  no gás de aterro (%)

$16/12$  = taxa de conversão de carbono em metano (adimensional)

$R$  = quantidade de metano recuperado (Gg $CH_4$ /ano)

$OX$  = fator de oxidação (adimensional)

Quando se considera a variável “tempo” o método de cálculo é expresso pela equação:

$$Q_{CH4x} = k \cdot R_x \cdot L_0 \cdot e^{-k(T-x)}$$

Em que:

$Q_{CH4x}$  = vazão de biogás (ton/ano)

$K$  = constante de geração de metano (ano-1)

$R_x$  = quantidade de resíduo aterrado no ano (t)

$X$  = ano de aterrramento do resíduo (ano)

$L_0$  = potencial de geração de metano ( $m^3/t$  de resíduo)

$T$  = ano de realização do inventário (ano)

Os parâmetros  $L_0$  e  $k$  são comuns a todos os modelos e considerados os mais importantes, pois refletem variações de acordo com o local, o clima e a composição dos resíduos, entre outros. A constante, taxa de geração de metano ( $k$ ), representa a velocidade de decomposição biológica dos resíduos após a disposição no aterro sanitário e é influenciada pelo teor de umidade, pela disponibilidade de nutrientes,

pelo pH e pela temperatura. Os valores de  $k$  variam de 0,003, para aterros secos, a 0,21, para aterros úmidos. Estima-se que essa margem reflita as diferentes características geográficas do país e certas condições do aterro. O parâmetro  $L_0$ , que é o potencial de geração de metano, está associado à quantidade de matéria orgânica presente na massa de resíduos. O  $L_0$  pode variar de 1 m<sup>3</sup>, para aterros com resíduos com baixa quantidade de matéria orgânica, a 312 m<sup>3</sup>, para aterros com grande quantidade de matéria orgânica por tonelada de resíduos.

Os modelos matemáticos são uma ferramenta útil e econômica para avaliar o potencial de geração de gás nos aterros. O êxito de qualquer modelo depende, na maior parte, do grau de certeza necessário, na confiabilidade dos dados de insumo, na experiência do indivíduo que analisa os dados, e no grau de semelhança entre o local em questão e outros locais que possam ter sido modelados com sucesso.

A eficiência de captação do biogás do aterro dependerá de vários fatores, como o projeto do aterro, a forma de operação e o clima da região. Na estimativa teórica da quantidade de gás produzido em um aterro devem ser computadas algumas perdas, como, por exemplo, o escape do gás pela camada de cobertura do aterro, as perdas no trajeto do biogás ao longo da rede de drenagem, e as perdas devido a interfaces operacionais e ao nível de chorume. De acordo com o relatório do Banco Mundial, um sistema de recuperação do biogás bem projetado, construído e operado pode coletar 75% ou mais do biogás produzido em um aterro. O valor da quantidade de metano calculado através dos modelos teóricos, depois de descontados as perdas pela eficiência do sistema de captação, devem ser multiplicados por 28 vezes, que é o valor do carbono equivalente.

#### 8.1.5. Sistema de Drenagem de Águas Pluviais

O sistema de drenagem superficial tem a função de coletar o escoamento superficial das águas pluviais, evitando sua infiltração na massa de resíduos, bem como a ocorrência de eventuais focos de erosão.

Os elementos de drenagem superficial de um aterro de resíduos são constituídos de canaletas de concreto, escadas hidráulicas, tubulações, canais e estruturas de amortecimento de energia.

### 8.1.6. Estabilidade de Talude

Existem vários métodos para a análise da estabilidade de talude. A norma ABNT NBR 11682 (2009), trata da estabilidade de taludes incluindo as condições para estudo, projeto, execução, controle e observação de obras de estabilização. Nesta norma são definidos valores de fator de segurança mínimos a serem adotados em projetos de taludes e encostas, de acordo com o grau de segurança definido para o local de implementação da obra. É definido fator de segurança mínimo de 1,50 para projetos executados em locais com grau de segurança alto, 1,30 para projetos executados em locais com grau de segurança médio e 1,15 para projetos executados em locais com grau de segurança alto, sendo considerados:

- Locais com necessidade de alto grau de segurança: aqueles onde há proximidade imediata de edificações habitacionais, instalações industriais, obras de arte, condutos, linhas de transmissão de energia, torres de sistemas de comunicação, obras hidráulicas de grande porte, estações de tratamento de água de abastecimento urbano ou esgoto sanitário, rodovias e ferrovias dentro do perímetro urbano de cidades de grande porte, vias urbanas e rios e canalizações pluviais em áreas urbanas densamente ocupadas e situações similares;
- Locais com necessidade de médio grau de segurança: referentes a todos os casos citados anteriormente quando houver, entre o talude e o local a ser ocupado, espaço de utilização não permanente considerado como área de segurança. Também no caso de haver proximidade de leito de ferrovias e de rodovias fora do perímetro urbano, corpo de diques de reservatórios de águas pluviais com habitações próximas e rios em áreas imediatamente a jusante do perímetro urbano de cidades de grande porte sujeitas a inundações; e
- Locais com necessidade de baixo grau de segurança, referentes a locais onde sejam instituídos procedimentos capazes de prevenir acidentes em rodovias, túneis em fase de escavação, minas, bacias de acumulação de barragens e canteiros de obras em geral.

Segundo MASSAD (2003), os métodos de equilíbrio limite partem das seguintes hipóteses simplificadoras:

- O solo se comporta como material rígido-plástico, ou seja, rompe bruscamente sem se deformar;
- As equações de equilíbrio estático são válidas até a iminência da ruptura, quando o processo passa a ser dinâmico; e
- O coeficiente de segurança é constante ao longo da superfície de ruptura.

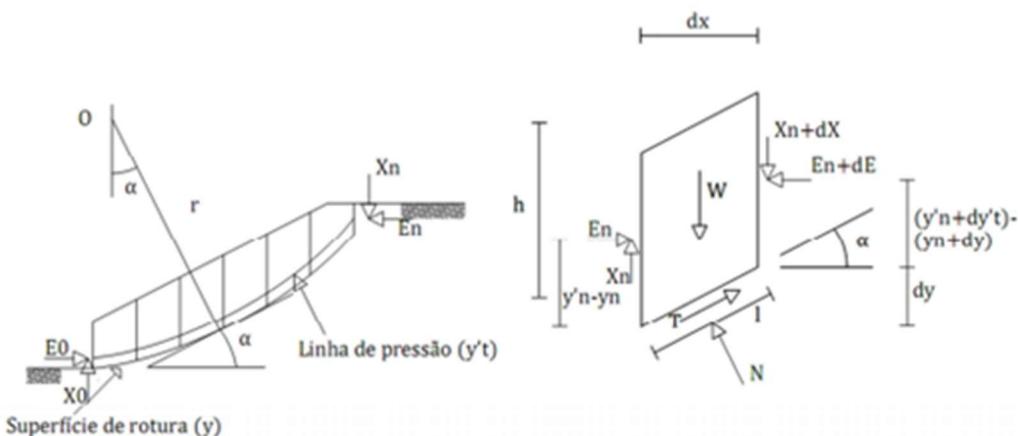
A partir do conceito de fator de segurança e equilíbrio limite, foram desenvolvidas diversas técnicas analíticas para determinação do fator de segurança, entre as quais, os métodos baseados no equilíbrio limite, que assumem o rompimento do maciço por uma superfície de ruptura circular, poligonal ou de outra geometria qualquer (GERSCOVICH, 2012).

A análise da estabilidade de taludes foi feita utilizando dois métodos: Método de Morgenstern-Price e Método de Bishop.

### Morgenstern-Price

Apresentado em 1965, consiste num método de análise de estabilidade de taludes no qual todas as condições de equilíbrio e de fronteira são satisfeitas e a superfície de rotura poderá tomar qualquer forma. É também uma aplicação do método das fatias, e exige cálculo computacional derivado do complexo processo iterativo.

Figura 40 - Método de Morgenstern e Price – Forças aplicadas a uma fatia de solo

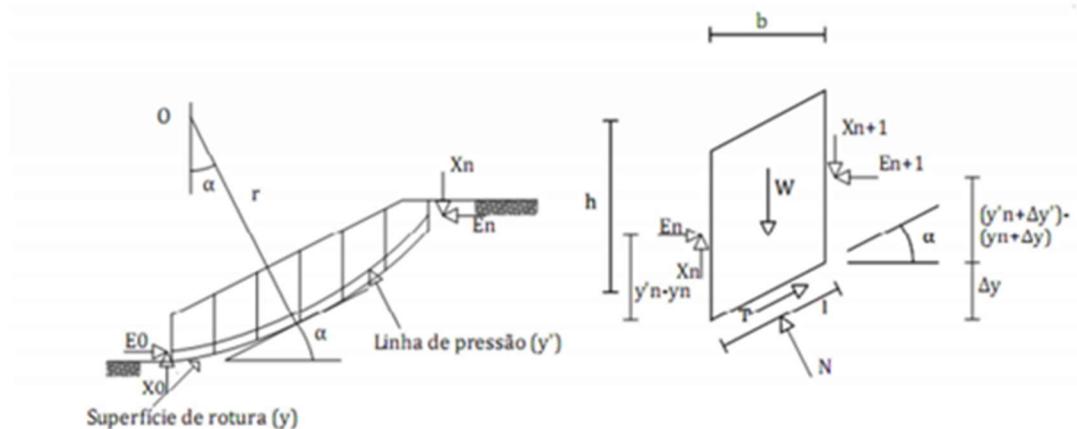


Fonte: FREITAS (2011)

## Bishop

Este método, apresentado por Bishop em 1955, é o primeiro método rigoroso, na altura, a ser capaz de analisar superfícies de ruptura circulares em solos friccionais e coesivos. Baseado no método das fatias, o equilíbrio completo em termos de forças e momentos é verificado. As forças em cada fatia, consideradas neste método, estão representadas na seguinte figura:

Figura 41 - Método de Bishop – Forças aplicadas a uma fatia de solo



Fonte: FREITAS (2011)

Para a aplicação dos dois métodos foi utilizado o *software* GeoStudio 2018 (GeoSlope/W), disponível em <<https://www.geoslope.com/support/downloads/>>.

A resistência ao cisalhamento do RSU é usualmente definida, usando o critério de ruptura de Mohr-Coulomb, conforme equação:

$$\tau = c' + (\sigma - u) \tan \varphi , \text{ em que:}$$

$\tau$  = tensão cisalhante no plano de ruptura, por ocasião da ruptura;

$c'$  = coesão efetiva ou intercepto coesivo efetivo;

$\sigma$  = tensão normal total no plano de ruptura, por ocasião da ruptura;

$u$  = poro-pressão;

$\varphi$  = ângulo de atrito efetivo.

Os parâmetros de resistência que definem a envoltória de ruptura são o ângulo de atrito ( $\varphi$ ) e o intercepto coesivo ( $c'$ ). Para simular a estabilidade de talude foi necessária a entrada desses dados e do peso específico do resíduo sólido que está disposto nas camadas.

A coesão  $c'$  e ângulo de atrito ( $\varphi$ ) encontrados na literatura estão demonstrados na Tabela 35.

Tabela 35 - Valores de ângulo de atrito e coesão

Característica	$\varphi(^{\circ})$	$c' (kPa)$
Resíduo antigo	22,0	13,5
Resíduo disposto há mais de dois anos	16,0	22,0
Resíduo disposto há menos de dois anos	16,0	28,0

Fonte: KAIOMOTO e CEPOLLINA (1996)

Os valores adotados para a simulação da estabilidade de talude estão mostrados na Tabela 36.

Tabela 36 - Valores de peso específico, coesão e ângulo de atrito adotados

Camadas	$\varphi(^{\circ})$	$c' (kPa)$	$\gamma(kN/m^3)$
1	22,0	13,5	10
2 e 3	16,0	22,0	9
4	16,0	28,0	8

Fonte: KAIOMOTO e CEPOLLINA (1996)

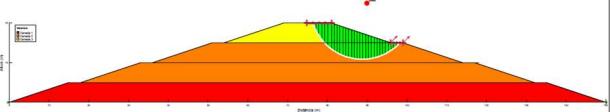
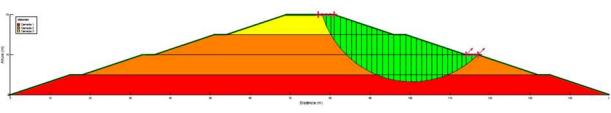
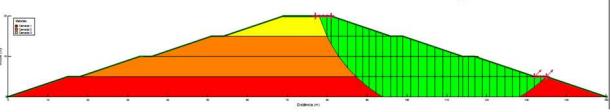
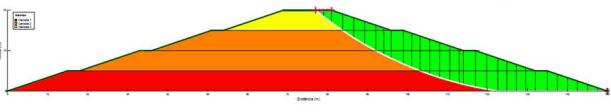
A seguir estão mostrados os dados das superfícies de pesquisa para a simulação dos dois métodos de estabilidade de talude. A primeira superfície de pesquisa tem como entrada a camada 4 (superior) e a berma localizada na superfície superior da camada 3. A segunda superfície de pesquisa tem como entrada a camada 4 (superior) e a berma localizada na superfície superior da camada 2. A terceira camada de pesquisa tem como entrada a camada 4 (superior) e a berma localizada na superfície superior da camada 1. A quarta e última camada de pesquisa tem como entrada a camada 4 (superior) e a camada 1 inferior.

## Resultados

### Morgenstern-Price

A Tabela 37 mostra os resultados do fator de segurança para cada camada do aterro usando o método de Morgenstern-Price.

Tabela 37 - Resultados do fator de segurança pelo método Morgenstern-Price

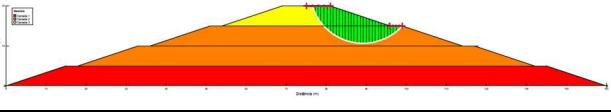
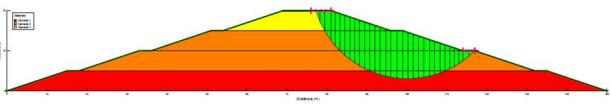
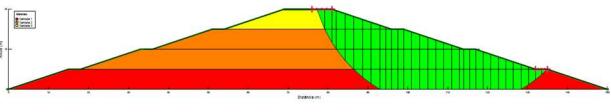
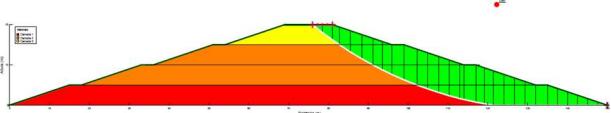
Estabilidade	Desenho	FS
Camada superior 4		5,565
Camada intermediária 3		3,798
Camada intermediária 2		3,274
Camada inferior 1		2,908

Fonte: GeoStudio Slope/W (2017)

### Bishop

A Tabela 38 mostra os resultados do fator de segurança para cada camada do aterro usando o método de Bishop.

Tabela 38 - Resultados do fator de segurança pelo método Bishop

Estabilidade	Desenho	FS
Camada superior 4		5,548
Camada intermediária 3		3,791
Camada intermediária 2		3,360
Camada inferior 1		2,867

Fonte: GeoStudio Slope/W (2017)

Conforme calculado pelo software, tanto pelo método de Morgenstern-Price quanto pelo de Bishop, o aterro possui um fator de segurança maior do que 1,5 (requerido pela norma da ABNT para estabilidade de talude).

#### 8.1.7. Custos

Segundo RODRIGUES (2008), o total dos custos de um aterro sanitário é dividido em três fases: o custo de investimento, onde são calculadas todas as obras para que o aterro sanitário possa ser operado de maneira adequada; o custo de transporte dos resíduos para o local de disposição final; e o custo de disposição final, que é composto pelas etapas de operação e manutenção do aterro sanitário.

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

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

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

O custo de operação de um aterro sanitário é função do volume de resíduos gerados em uma área urbana e, em consequência, depende do tamanho da população

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

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

Os custos de investimento de um projeto de disposição final dos resíduos sólidos urbanos são determinados pela seguinte equação:

$$I = CT + CIA + CE + CC + CDR + CST$$

Onde:

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

CT – Custo do terreno (R\$);

CIA – Custo dos isolamentos e acessos (R\$);

CE – Custo dos equipamentos (R\$);

CC – Custo das células de aterramento dos resíduos (R\$);

CDR – Custo de drenagem (R\$); e

CST – Custo do sistema de tratamento (R\$).

Segundo a tese de mestrado de RODRIGUES (2008), para cada custo citado acima há outras equações embutidas, o que torna a estimativa do custo total de investimento muito complexo para este trabalho de formatura. Portanto, o custo total de investimento não será estimado.

## 8.2. Usina de Compostagem

### 8.2.1. Fatores que afetam o processo de compostagem

Os principais fatores que afetam a compostagem estão relacionados à atividade microbiológica do processo, destacando-se:

- Umidade
- Aeração
- Temperatura
- Concentração de nutrientes
- Tamanho das partículas o pH

## Umidade

A presença de água é condição essencial para qualquer forma de vida, e os microrganismos que atuam no processo de compostagem não fogem a essa regra. Na ausência de água, entram em estado de dormência e o processo de compostagem é paralisado, o que pode ser observado pela redução da temperatura da leira quando esta se resseca, indicando que o processo foi interrompido sem que o material estivesse completamente degradado. Isto pode causar a interpretação errônea de que o composto está pronto, levando à utilização de um material 18 fisicamente estável, mas biologicamente ativo (bastando para isso aumentar a umidade), o que poderá acarretar prejuízos ao solo e às plantas quando de sua utilização. Por outro lado, o excesso de água também é prejudicial, pois impede a passagem de ar para o interior da leira. Seus efeitos serão descritos na próxima seção, aeração, por estarem totalmente vinculados a mesma. O teor de umidade nas leiras de compostagem é limitado pela configuração geométrica e pela manutenção da porosidade adequada. Baixos teores de umidade (<40%) restringem a atividade microbiológica, enquanto teores elevados (>65%) causam anaerobiose. O teor de umidade considerado ótimo encontra-se na faixa entre 45 a 55%. A correção do teor de umidade deve ser realizada durante os reviramentos ou sempre que o material se apresentar muito seco. Em épocas chuvosas, é conveniente que o processo seja conduzido em áreas cobertas, evitando dessa forma o encharcamento do material. Quando isso não for possível, deve-se optar por artifícios como a cobertura da leira com uma camada de composto maduro (10 a 15 cm) ou a cobertura da camada superior (topo) com um cone de lona plástica (“chapéu chinês”). Estes artifícios fazem com que a água de chuva incidente escorra superficialmente à leira, fazendo com que esta não fique saturada de água.

Uma forma prática de avaliar o teor de umidade é apertar uma pequena porção de composto na mão (não se esquecendo de usar luvas de proteção). Quando o material está excessivamente úmido, a água escorre entre os dedos, mas, quando está seco, a palma da mão permanece seca. O ideal é que apenas pequenas gotas de água surjam entre os dedos, o que pode corresponder a um teor de umidade em torno de 50%, considerado ótimo.

## Aeração

A aeração tem por finalidade suprir a demanda de oxigênio requerida pela atividade microbólica e atuar como agente de controle da temperatura. Pode ser obtida através dos seguintes processos:

- Naturais (reviramento/revolvimento)
- Artificiais (aeração mecânica)

Para os processos simplificados de compostagem, a aeração é efetuada em função das características da matéria-prima, por meio de ciclos de reviramento pré-determinados, como será visto adiante. A presença de material estruturante na leira de composto, tal como cavacos de madeira, gravetos, sabugos de milho ou vagens de árvores auxilia no processo de aeração, pois melhora a porosidade. O uso desses materiais favorece a circulação de ar no interior da leira, possibilitando a renovação do ar saturado de gás carbônico e pobre em oxigênio (presente no interior da massa de compostagem) pelo ar atmosférico (rico em oxigênio) além de evitar a compactação da leira. Estes materiais, quando não se apresentam totalmente degradados após o período normal da compostagem, deverão ser retornados às leiras novas, pois podem atuar como inoculantes de microrganismos já aclimatados ao processo. Quando não há circulação de ar adequada, o processo de compostagem sofre uma interrupção, sendo substituído pelo processo de fermentação anaeróbia, ou seja, sem a presença de oxigênio. Este processo gera subprodutos como o chorume e gases fétidos, atraindo insetos e animais indesejáveis.

## Temperatura

A temperatura é considerada o principal parâmetro indicativo do processo de compostagem. Na decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos, por se tratar de um processo em que ocorrem, essencialmente, reações exotérmicas há geração de calor. Como a matéria orgânica tem natureza isolante térmica, o calor gerado no processo de compostagem fica parcialmente retido, elevando a temperatura no interior da massa de compostagem. Para que isto ocorra, as leiras deverão possuir um volume mínimo de aproximadamente 1 m<sup>3</sup>, assim não há perda de calor por irradiação. Altas temperaturas, sob o ponto de vista sanitário, são vantajosas, pois eliminam microrganismos patogênicos, larvas de insetos e sementes de ervas daninhas. Para que todo o material seja higienizado pela ação da

temperatura é importante que, durante os revolvimentos, o material localizado na camada externa da leira (submetidos a temperaturas próximas a ambiente), passe a fazer parte do núcleo do novo monte formado. A manutenção de temperaturas termófilas controladas (45 a 65°C) pelo maior período de tempo durante a compostagem aumenta a eficiência do processo, pelo aumento da velocidade de degradação, e promove a eliminação dos patógenos. Por outro lado, em temperaturas elevadas (superiores a 65°C), a velocidade de decomposição de muitos organismos é reduzida. Dessa forma, temperaturas excessivas devem ser controladas através de revolvimentos periódicos. Salienta-se que a adição de água (por aspersão) não deverá ocorrer para o controle de temperatura da leira, mas somente quando o teor de umidade estiver muito baixo. O bom “desenvolvimento” da temperatura durante a compostagem é influenciado pelos principais fatores listados a seguir:

- Características da matéria-prima;
- Tipo de sistema utilizado (dimensionamento das leiras, do pátio de compostagem, etc.);
- Controle operacional do processo (umidade, ciclo de reviramento, temperatura). Se o "ambiente ecológico" da leira estiver satisfatório (teor de umidade, aeração, nutrientes, etc.), esta passará a apresentar temperaturas termófilas ( $> 45^{\circ}\text{C}$ ) em até 24hs após a sua montagem. A temperatura deverá ser controlada na faixa considerada ótima (45 a 65°C) durante toda a primeira fase do processo de degradação ativa. O registro de temperaturas controladas inferiores a 45°C, desde que os demais parâmetros estejam sob controle, indicam o término da fase de degradação ativa e o início da fase de maturação.

### **Concentração de Nutrientes**

Quanto mais diversificados forem os resíduos orgânicos que compõem a massa de compostagem, mais diversificados serão os nutrientes e, consequentemente, a população microbiológica, propiciando assim uma maior eficiência do processo e uma melhor qualidade do composto produzido. Os principais nutrientes utilizados pelos microrganismos são:

- Carbono (C): fonte básica de energia para as atividades vitais dos microrganismos;

- Nitrogênio (N): fonte básica para a reprodução celular dos microrganismos.

Para preparar o composto são necessários dois tipos de materiais: os que se decompõem facilmente, como restos de comida e esterco, e os materiais que se decompõem de forma mais lenta, como palhas e folhas. Os microrganismos necessitam de uma mistura de matéria rica em carbono e material rico em nitrogênio (restos de comida, lodos, estercos, etc.). Ao preparar os materiais para compostar, deve-se considerar a relação entre os materiais ricos em carbono (C) e materiais ricos em nitrogênio (N) no composto. Para se obter uma alta eficiência do processo, é importante que a relação carbono nitrogênio (relação C/N) seja criteriosamente balanceada, devendo apresentar, no início do processo, valores da ordem de 30 a 40/1, ou seja, 30 a 40 partes de carbono para uma parte de nitrogênio. A leira deve conter maior proporção de material que se desfaz lentamente, como as palhas e folhas, ou seja, as partes ríjas e fibrosas das plantas. Uma mistura com relação C/N muito superior a 40/1 levará mais tempo para se decompor. Por outro lado, se a relação C/N é muito baixa a leira provavelmente irá liberar o excesso de nitrogênio na forma de gás amônia, provocando mau cheiro. Nestes casos, há necessidade de adicionar material carbonácea, a fim de elevar esta relação para níveis satisfatórios. Na compostagem de resíduos heterogêneos, a exemplo da fração orgânica do lixo urbano, não há grande necessidade de adicionar materiais auxiliares ao processo, porém sua adição, na maioria dos casos, auxilia o processo. A relação C/N não precisa ser exata, mesmo porque é difícil avaliá-la de forma precisa. Mais relevante do que isto é o manejo adequado da leira, pois o conhecimento sobre a mistura mais adequada para os resíduos disponíveis é adquirido com a prática na condução do processo. Além disso, é preferível colocar um pequeno excesso de material rico em nitrogênio, mesmo que ocorra pequena perda desse nutriente, a fim de garantir o seu suprimento durante a decomposição.

### **Tamanho das Partículas**

O tamanho ideal das partículas da massa de compostagem deve situar-se entre 2 a 5 cm, favorecendo:

- Homogeneização da massa de compostagem;
- Melhoria da porosidade;

- Redução na compactação;
- Aumento da capacidade de aeração.

A redução de partículas de maior dimensão para a faixa considerada como ideal poderá ser obtida mediante a utilização de trituradores ou do simples corte manual, quando da preparação da matéria prima, e até mesmo durante as ações de revolvimento do material, com a utilização de pás e enxadas.

## pH

O processo de compostagem pode ser desenvolvido sob uma ampla faixa de pH, entre 4,5 e 9,5, sendo que a ocorrência de valores extremos é ajustada pelos próprios microrganismos ativos no processo (fenômeno da auto-regulação). O composto apresenta um pH final ligeiramente alcalino (situado entre 7,5 e 9,0), apresentando excelente aplicação para a correção de solos ácidos.

### 8.2.2. Processos Operacionais

#### **Pré-compostagem**

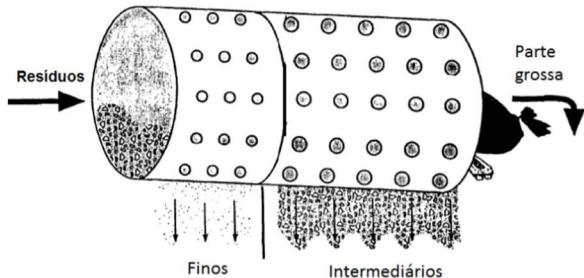
Quando necessária, a etapa de pré-compostagem pode conferir um aumento de custo significativo para a compostagem. Essa etapa pode melhorar a eficiência da compostagem, a velocidade da decomposição e a qualidade do composto final. Por isso, diversas tecnologias foram desenvolvidas para transformar o resíduo sólido bruto em uma matéria-prima compostável. Três procedimentos são tipicamente realizados durante a pré-compostagem: triagem, redução do tamanho das partículas e tratamento de matéria-prima para aperfeiçoar as condições de compostagem.

#### **Triagem**

A dificuldade da etapa de triagem está totalmente relacionada à diversidade dos resíduos sólidos, à tecnologia que será empregada na compostagem (que demanda qualidades diferentes da matéria-prima) e o uso do composto final. Com a utilização de resíduos sólidos urbanos, a triagem passa a ser responsável por grande parte das despesas nos processos modernos de tratamento por compostagem (RICHARD, 1992). Pode ser feita manual ou mecanicamente e serve para remover os materiais indesejados ou classificar os orgânicos que servirão como matéria-prima.

Os materiais que devem ser removidos são aqueles que podem interferir nas operações de compostagem mecânica, inibir o processo de decomposição, causar problemas de segurança para aqueles que trabalham ou utilizam o composto, ou gerar um dano estético ao produto. (USEPA, 1994). Os sacos de plástico são um problema muito comum na triagem de usinas de compostagem. As técnicas mecânicas de triagem são baseadas nas propriedades físicas dos resíduos (tamanho, peso) e sua atração magnética. Seguem as técnicas de triagem mecânica mais comuns: Peneiramento - São usadas para controlar o tamanho máximo dos resíduos que serão utilizados para alimentar a composteira. Classificam os materiais pelo tamanho e densidade. O tipo de peneira usado depende do teor de umidade, coesão, heterogeneidade, forma das partículas e densidade da matéria-prima a ser segregada. Tambores rotativos de separação são os equipamentos de peneiramento mais comumente utilizados e seu esquema está ilustrado na Figura 42.

Figura 42 – Tambor de separação



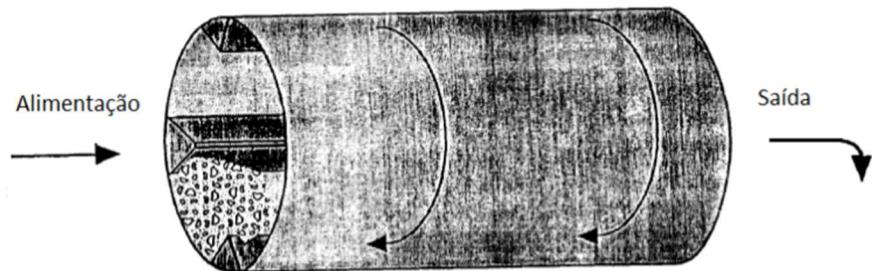
Fonte: RICHARD (1992)

### Redução do tamanho das partículas

A principal razão para fazer a redução de tamanho das partículas é aumentar a área de superfície em relação ao volume dos resíduos. Isto aumenta a taxa de decomposição, já que a área em que os micro-organismos podem atuar na decomposição fica maior. Sabe-se, no entanto, que as partículas não podem ser muito pequenas a ponto de compactar e gerar um ambiente com poucos vazios causando anaerobiose na pilha.

Tambores rotativos: usam a gravidade para quebrar os materiais em um cilindro rotativo. O material é erguido por prateleiras ao longo dos lados do tambor e cai dentro do tambor repetidas vezes.

Figura 43 – Tambor rotativo



Fonte: RICHARD (1992)

### Pré-Tratamento de matéria-prima

O pré-tratamento da matéria-prima da compostagem consiste em corrigir os parâmetros mais importantes para garantir condições mais próximas das ideais. Para isso, pode ser necessário misturar diferentes resíduos para atingir boa umidade, granulometria e nutrientes (razão de C/N); adicionar água nos montes; incorporar microrganismo ao processo a fim de acelerar a decomposição. A Tabela 39, a seguir, ajuda a dimensionar as misturas que podem ser feitas durante a fase de tratamento.

Tabela 39 - Características de cada tipo de resíduo

Matéria-prima	Possibilidade de auxiliar na mistura	Porosidade	Potencial de odor	Liberação de energia	Teor de umidade
Cama de animais	Potencial	Possível	Moderado	Moderado	Variável
Biossólidos	Não	Não	Moderado	Moderado	Moderado
Resíduos de cervejaria	Não	Não	Alto	Alto	Alto
Tanque séptico doméstico	Não	Não	Alto	Variável	Alto
Resíduos de peixe	Não	Não	Alto	Alto	Alto
Resíduos de alimento	Não	Não	Alto	Alto	Alto
Resíduos de incubadora	Não	Não	Alto	Alto	Alto
Estrume	Não	Não	Alto	Alto	Variável
Resíduos de Laticínios	Não	Não	Alto	Alto	Alto
Vegetal	Não	Variável	Alto	Alto	Alto
Aves	Não	Não	Alto	Alto	Moderado-alto
Resíduos de madeira	Sim	Sim	Baixo	Baixo	Moderado
Soro de leite	Não	Não	Alto	Alto	Alto
Fração de madeira do jardim	Sim	Sim	Baixo	Moderado	Moderado
Fração de grama do jardim	Não	Não	Alto	Alto	Alto

Fonte: Adaptado de FORGIE *et al* (2004)

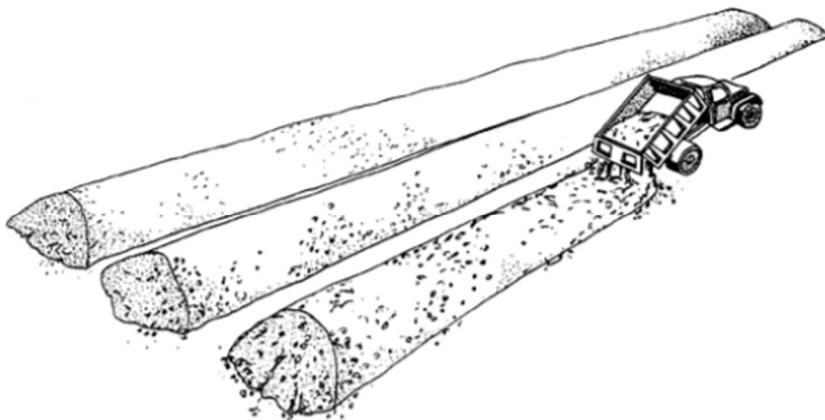
## Sistemas de Baixa Tecnologia

Ideais para pequenas usinas de compostagem, essas técnicas podem gerar odores se forem mal operadas, mas demandam um investimento inicial modesto e sua operação e manutenção é a mais barata. As técnicas mais utilizadas são:

- Leiras sem sistema de aeração: alternativa de baixíssimo custo, que consiste em simplesmente deixar as leiras atuarem sem revolvidos. Teoricamente, qualquer resíduo orgânico pode ser compostado por este método, mas são grandes as chances de ocorrer anaerobiose com geração de odor e proliferação de vetores.

- Leiras revolvidas manualmente: também chamado de método *windowrow*, as leiras possuem formato prismático com seção triangular, trapezoidal ou semicircular, e a introdução do oxigênio nelas é feito através de revolvimentos periódicos com equipamentos de pequeno porte, de trato manual, como pás. O local deve passar por um tratamento de impermeabilização anterior a implantação, com um sistema de drenagem de águas superficiais quando necessário. É necessário que as leiras contem com um reservatório impermeabilizado, para contenção dos líquidos que entraram em contato com as leiras, e que possa servir como fonte de água para repor a umidade nas leiras. Este método pode ser alimentado com resíduos orgânicos que passaram pelas fases de pré-compostagem para garantir a qualidade da matéria-prima. A Figura 44 ilustra a tecnologia *windowrow*, o mais conhecido e utilizado método de compostagem.

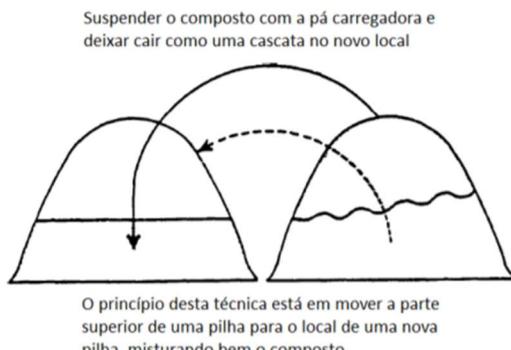
Figura 44 - Formação das leiras tipo *windowrow*



Fonte: On-Farm Composting Handbook (NRAES-54) (1992)

O revolvimento das pilhas deve ser feito conforme a Figura 45 ilustra, sempre mantendo em mente a preocupação com os fatores que afetam a compostagem citados anteriormente.

Figura 45 - Revolvimento das leiras



Fonte: UConn CES, (1989)

## Maturação

Na fase de maturação, as leiras já reduziram significativamente o seu tamanho e precisam ficar completamente estáveis para o uso final. Durante a maturação o composto torna-se biologicamente estável, com atividade microbiana ocorrendo em um ritmo mais lento do que durante a compostagem. (USEPA, 1995). Para esse processo a aeração pode ser forçada por tubos, pode ser passiva por tubos ou sem eles, e pode ser auxiliada com revolvimento ocasional. Nesta fase o calor no interior das pilhas deve diminuir, mas nem sempre o resfriamento da pilha significa sua estabilização. A maturação pode demorar de alguns dias a vários meses (USEPA, 1995), a maturação pode levar de 30 a 60 dias.

## Serviços públicos no local de operação

Deve-se observar se o local de implantação possui acesso aos seguintes tipos serviços públicos: Eletricidade, telefonia, tratamento de esgoto doméstico e água encanada. Eletricidade é necessária para operação adequada de determinados equipamentos como sopradores de leiras aeradas, esteiras transportadoras, misturadores, etc. As instalações da usina podem precisar de alguma fonte de água, apesar de que muitas vezes a matéria-prima não precisa ser umedecida. Contudo, durante estações quentes, água pode ser necessária para controle de poeiras, proteção contra incêndio e lavagem dos equipamentos. Tal fonte pode ser tanto do sistema de distribuição municipal, quanto de um eventual poço artesiano no local. Como parte de um programa de economia de água, o reuso das águas de *runoff* ou *runon* pode ser estabelecido. Algum tipo de reaproveitamento do lixiviado também pode ser aplicado tomadas as devidas precauções.

### **Proteção contra incêndio**

As instalações devem ter um sistema de proteção a incêndios, uma vez que a matéria-prima a ser decomposta é seca e que já houve casos reportados de incêndio em usinas de compostagem.

### **Acesso de veículos**

O acesso de veículos deve ser planejado e executado de forma a atender todos os tipos e tamanhos de veículos que possivelmente acessem a usina. Tal programa deve ser executado seguindo, mas não se limitando, à:

- Construir arruamentos específicos para veículos grandes comerciais e veículos pequenos domésticos;
- Fornecer espaço adequado e suficiente para manobras e saídas dos veículos sem que isso interfira nos equipamentos de compostagem.

### **Descrição do potencial local para o pátio de compostagem**

A Tabela 40 mostra a descrição do potencial local para o pátio de compostagem, totalizando uma área de 848 m<sup>2</sup>.

Tabela 40 – Descrição do potencial local

Área da leira (m <sup>2</sup> )	78
Área ocupada pelas leiras (m <sup>2</sup> )	388
Área útil (m <sup>2</sup> )	678
Área de Circulação (m <sup>2</sup> )	170
Maturação (m <sup>2</sup> )	291
Área Total (m <sup>2</sup> )	848

Fonte: Autores (2017)

### **Equipamentos**

Para a coleta e transporte dos resíduos serão utilizados os seguintes equipamentos:

- Tratores com carretas - marca: John Deere - modelo 5055E (50hp), Massey Fergusson - modelo 50X (50hp) e Valmet (55hp);
- Retroescavadeira - marca Massey Fergusson - modelo MF86 (80hp);
- Picadora trituradora - marca Bearcat (24hp).

Algumas dessas máquinas já são utilizadas atualmente nas operações de coleta, transporte interno e carregamento de containers. Todas elas são movidas a óleo diesel, e são abastecidas dentro da AELG, em tanque de 3000 litros instalado dentro das normas da ABNT e autorizado pela CETESB. A máquina picadora e trituradora foi comprada exclusivamente para o projeto que compostagem, com a finalidade de reduzir o tamanho de alguns resíduos originados principalmente de podas ou quedas de árvores. Alguns dos maquinários estão ilustrados nas Figuras 46, 47 e 48.

Figura 46 – Modelo de trator



Fonte: DEERE (2017)

Figura 47 - Retroescavadeira



Fonte: GONSALEZ (2015)

Figura 48 – Picadora trituradora



Fonte: GONSALEZ (2015)

### 8.2.3. Dimensionamento

#### Layout

O layout do pátio de compostagem foi definido com base no volume médio diário recebido de resíduos.

Estabeleceu-se conservadoramente o tempo de compostagem da matéria orgânica em 90 dias, compreendendo as fases ativa e de maturação. Pela multiplicação do volume diário com o tempo de maturação, estabeleceu-se o volume máximo de composto presente no pátio.

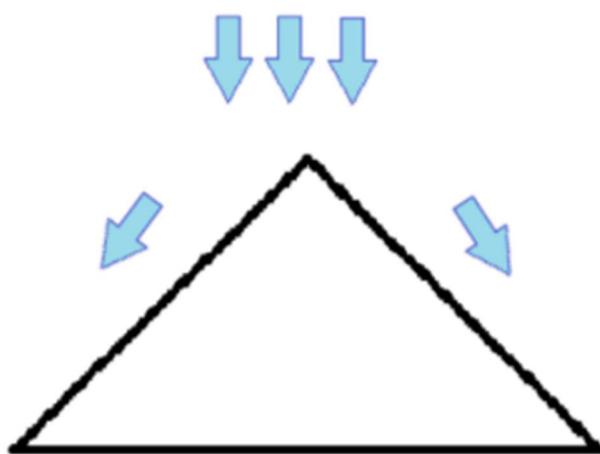
O pátio terá estrutura de cobertura, semelhante a um galpão, em toda a extensão de sua área, com o objetivo de evitar o contato das águas pluviais com as leiras, evitando a geração de efluente a ser tratado.

Para a área útil do pátio, soma-se as áreas das 5 leiras projetadas com a área para maturação e os corredores, que se assumiram como 75% da área das leiras. Tal premissa define espaçamentos de 31 metros de comprimento, por 2,5 metros de largura. Por fim, estima-se a área de circulação de equipamento e pessoas como 25% da área útil. Dessa forma, a composição da área útil do pátio com a área de circulação totaliza 848 m<sup>2</sup> de área total.

## Plano de operação

A geometria das leiras colabora com o controle de umidade do processo e influencia, também, na sua temperatura. Elas costumam ter formato triangular ou trapezoidal, conforme Figura 49. As leiras triangulares tendem a reter menos água da chuva, pois contribuem com o sentido de escoamento. Portanto, adotaram-se leiras triangulares para o projeto.

Figura 49 - Geometria das leiras e absorção de água



Fonte: GONSALEZ *et al* (2015)

Tabela 41 - Estimativa de quantidade de resíduos orgânicos em início de projeto

Início de Projeto	30 DIAS	60 DIAS	90 DIAS
Toneladas	108	215	323
Kg	107722	215445	323167
Volume (m <sup>3</sup> )	151	302	453

Fonte: Autores (2017)

Tabela 42 - Dimensão das leiras e quantidade em início de projeto

Leira Triangular	
número de leiras	5
altura da leira (m)	1,5
largura da leira (m)	2,5
Comprimento da leira(m)	24,2

Fonte: Autores (2017)

Tabela 43 - Estimativa de quantidade de resíduos orgânicos em final de projeto

Final de Projeto	15 DIAS	30 DIAS	45 DIAS	60 DIAS	75 DIAS	90 DIAS
Toneladas	69	138	207	276	345	414
Kg	68976	137952	206928	275903	344879	413855
Volume (m <sup>3</sup> )	97	193	290	387	483	580

Fonte: Autores (2017)

Tabela 44 - Dimensão das leiras e quantidade em final de projeto

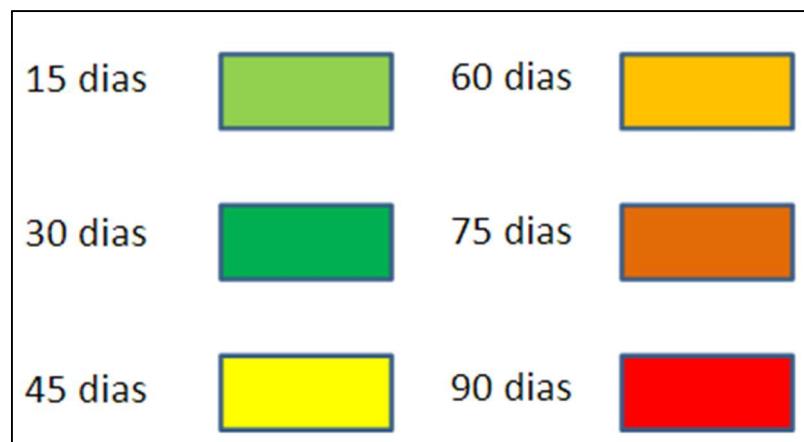
Leira Triangular	
número de leiras	5
altura da leira (m)	1.5
largura da leira (m)	2.5
Comprimento da leira(m)	31.0

Fonte: Autores (2017)

Tabela 45 - Ocupação de resíduos orgânicos de cada leira

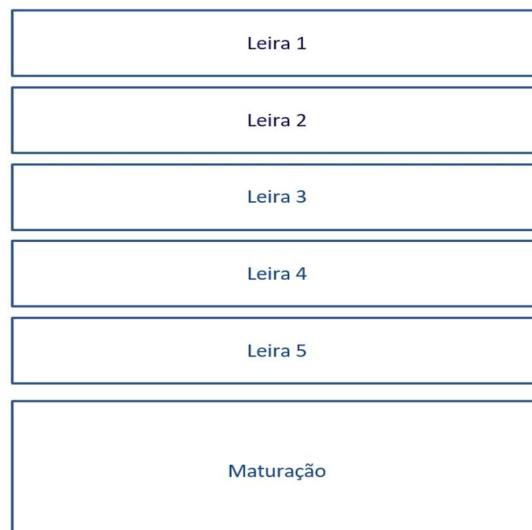
Volume de cada leira (m <sup>3</sup> )	116.25	15 DIAS	30 DIAS	45 DIAS	60 DIAS	75 DIAS	90 DIAS
		0.8	1.7	2.5	3.3	4.2	5.0

Figura 50 - Idade do resíduo orgânico



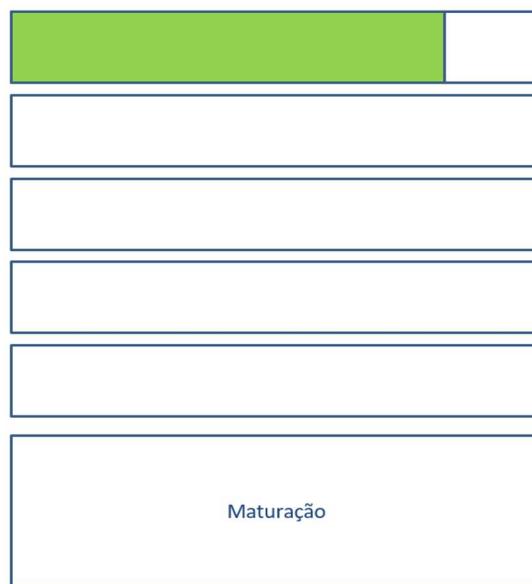
Fonte: Autores (2017)

Figura 51 - Layout para início de operação das leiras



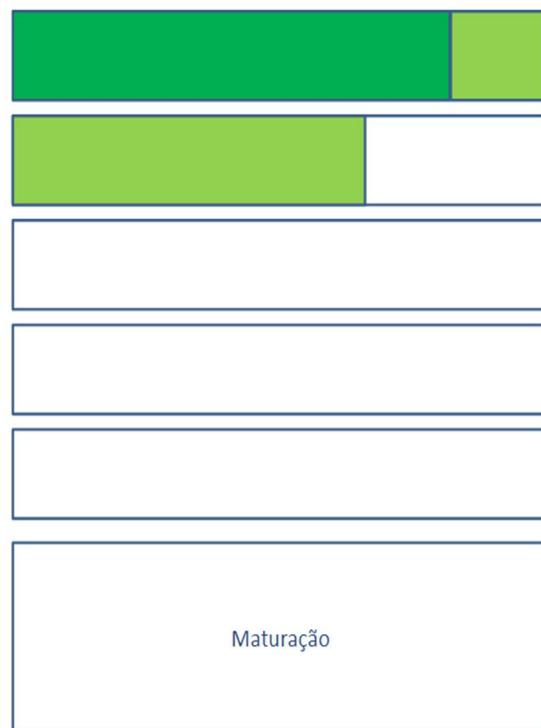
Fonte: Autores (2017)

Figura 52 - Plano de operação das leiras em 15 dias



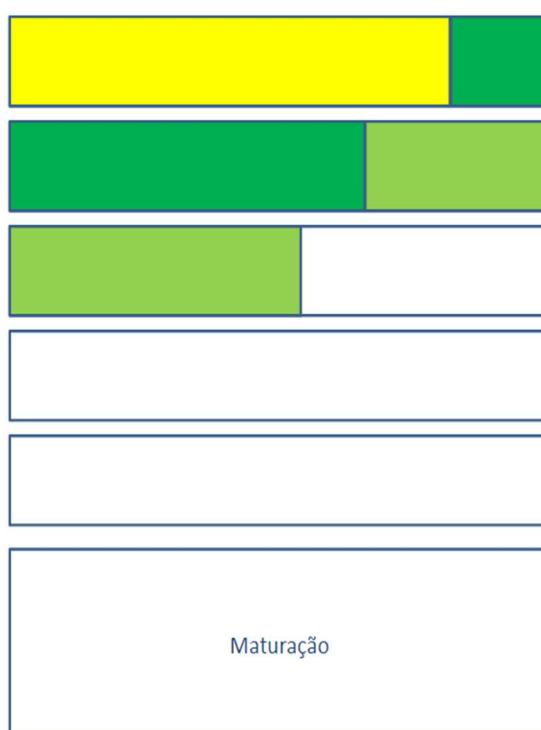
Fonte: Autores (2017)

Figura 53 - Plano de operação das leiras em 30 dias



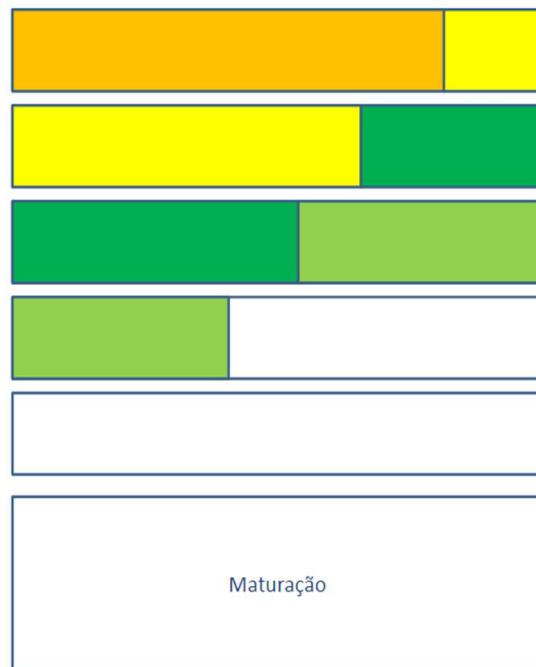
Fonte: Autores (2017)

Figura 54 - Plano de operação das leiras em 45 dias



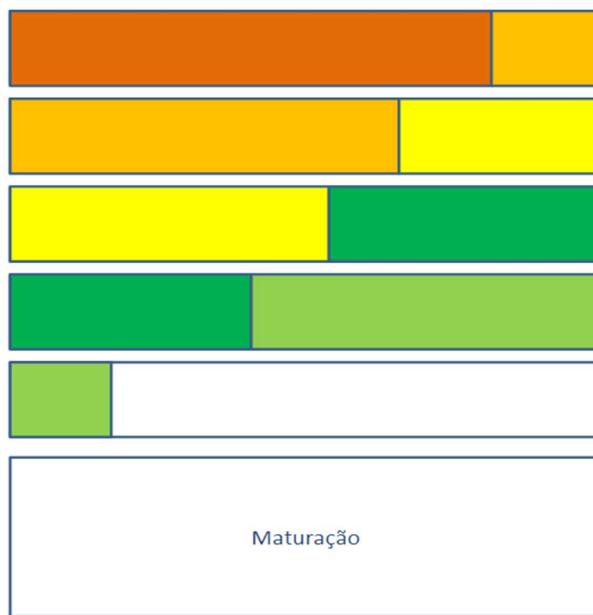
Fonte: Autores (2017)

Figura 55 - Plano de operação das leiras em 60 dias



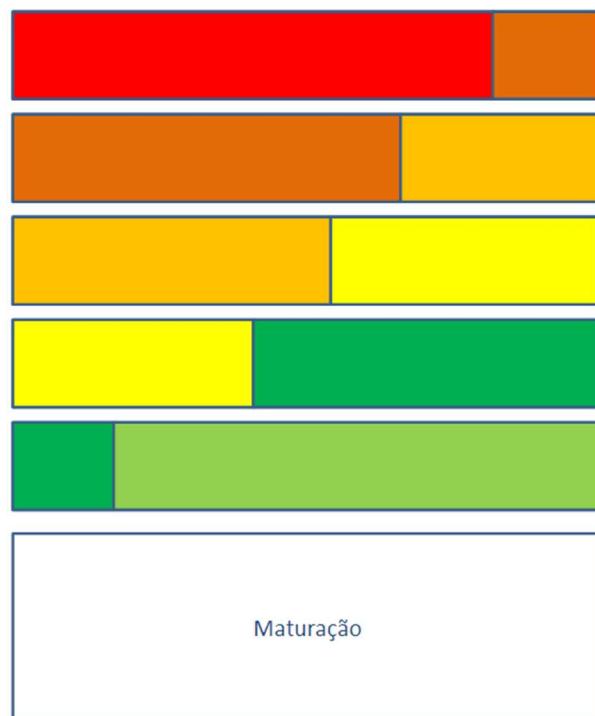
Fonte: Autores (2017)

Figura 56 - Plano de operação das leiras em 75 dias



Fonte: Autores (2017)

Figura 57 - Plano de operação das leiras em 90 dias



Fonte: Autores (2017)

#### 8.2.4. Custo de operação

As tabelas a seguir mostram os custos com funcionários sem considerar os encargos trabalhistas, com utensílios, com equipamentos, e outros custos totalizando R\$ 63.100,00. A Tabela 50 mostra os parâmetros utilizados para as estimativas de custo da usina de compostagem.

Tabela 46 – Custos com funcionário

Itens	Valores de Referência	
	Quantidade	Valor Unitário(R\$)
<b>Funcionários</b>	<b>19</b>	
Encarregado	1	1800
Auxiliar administrativo	1	1500
Montador de leira	5	1500
Revirador de leira	10	1500
Auxiliar de pátio	2	1500
<b>TOTAL (R\$)</b>		<b>28.800</b>

Fonte: Autores (2017)

Tabela 47 – Custos com utensílios

Itens	Valores de Referência	
	Quantidade	Valor Unitário(R\$)
<b>Utensílios</b>	<b>78</b>	
Termômetro de solo	6	200
Peneira Manual	8	20
Carro de mão	8	90
Garfo	8	30
Pá	8	40
Enxada	8	30
Mangueira	8	100
Regador	3	10
Tambor	15	200
Rastelo	1	10
Vassoura	1	20
Balde	4	30
<b>TOTAL (R\$)</b>		<b>6.860</b>

Fonte: Autores (2017)

Tabela 48 – Custos com equipamentos

Itens	Valores de Referência	
	Quantidade	Valor Unitário(R\$)
<b>Equipamentos</b>	<b>32</b>	
Motoserra	1	2500
Triturador de galhos	1	1750
Balança	1	3000
Computador	10	1500
Impressora	2	300
Mesa	4	200
Cadeira	8	50
Armário	1	300
Arquivo de Aço	1	300
Microondas	1	400
Geladeira	1	900
Fogão	1	300
<b>TOTAL (R\$)</b>		<b>26.250</b>

Fonte: Autores (2017)

Tabela 49 – Outros custos

Itens	Valores de Referência(R\$)
	Custo
<b>Outros Custos</b>	
Energia	500
Telefonia	90
Internet	100
Material de escritório	300
Sacos para composto	200
<b>TOTAL (R\$)</b>	<b>1.190</b>

Fonte: Autores (2017)

Tabela 50 – Parâmetros para as estimativas de custo

Item	Parâmetro
Água e esgoto	100L/pessoa/dia
	1000L/dia/limpeza
Energia elétrica	Geladeira 30W-24h/d
	Microondas 20w-5min/pessoa/d
	Computador com impressora 8h/d
	lâmpadas 10w/10h/d
	prensa 33kW/t
Internet	assinatura mensal
Telefone	assinatura mensal
Manutenção predial	25% do valor ao longo da vida útil, 30 anos de vida útil
Manutenção equipamentos	85% do valor ao longo da vida útil, 10 anos de vida útil
Utensílios de cozinha	1 prato, 1 xícara, 1 caneca, 1 copo e 1 talher completo por pessoa. Durabilidade: 24 meses
Material de copa e de limpeza	Kit para 40 pessoas (café, açúcar, adoçante, água em galão, papel higiênico, papel toalha, sabonete, água sanitária, vassoura, rodo, mangueira, balde, sabão em pó, panos, detergente, esponja)
Material escritório	Papel, cartucho para impressora, lápis, caneta, borracha, grampeador, tesoura, cola
Big bags	1/m <sup>3</sup> /ano
Bomba	1 por triador. Durabilidade de 2 anos
Vassoura	2/galpão/3 meses
Pá	2/galpão/3 meses
Caçamba	1/galpão/5 anos
Uniforme	3/pessoa/ano

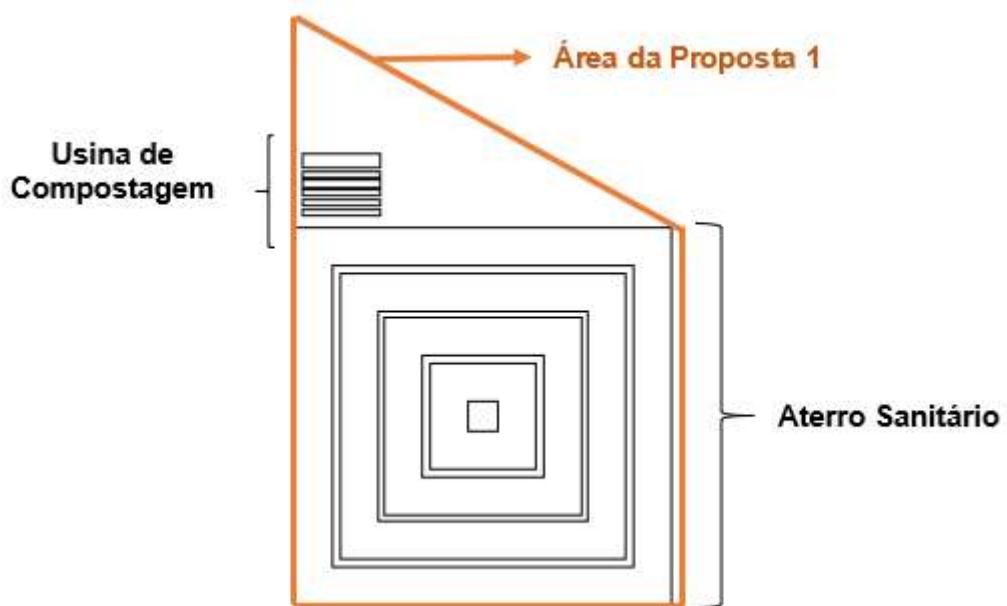
Tabela 50 – Parâmetros para as estimativas de custo (Continuação)

Item	Parâmetro
Bota	2 pares/pessoa/ano
Luva	4 pares/pessoa/ano
Protetor auricular	4 pares/pessoa/ano
Pá	2/galpão
Crachá	1/pessoa/ano

Fonte: Autores (2017)

O aterro sanitário e a usina de compostagem foram dispostos na área da proposta 1 conforme demonstrado na Figura 58.

Figura 58 – Layout da usina de compostagem e aterro sanitário na proposta 1 de área



Fonte: Autores (2017)

### 8.3. Estratégias para melhoria da coleta seletiva, reciclagem e educação ambiental

Os princípios e as diretrizes do Plano Estadual de Coleta Seletiva buscam consolidar as determinações da Lei Federal nº 12.305, de 2-8-2010, sobre Resíduos Sólidos, no que se refere à implantação e manutenção da coleta seletiva.

**Diretriz 1** - Estímulo à instituição de financiamentos, recursos não reembolsáveis e incentivos fiscais para a promoção da sustentabilidade econômica da coleta seletiva: aprovisionamento de recursos de origem fiscal e financeira; instituição de linhas de crédito especiais; isenção ou redução de tributos; estímulo à

publicação de editais para apoio ao setor; apoio às gestões municipais e regionais para acesso aos editais, formalização de instrumentos de contratação de acesso a crédito e prestação de contas. Estratégias: vincular expressamente a coleta seletiva realizada por meio de cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis ao critério de distribuição do ICMS Ecológico”; propor incentivo fiscal para instituir no Estado a redução de alíquota para produtos elaborados a partir de matéria-prima reciclada;

Diretriz 2 - Valorização das iniciativas de inclusão sócio-produtiva de catadores de materiais recicláveis: estimular o reconhecimento e a incorporação das organizações de catadores de materiais recicláveis – associações ou cooperativas - na operação de unidades de triagem e reciclagem, bem como nas ações que envolvam o fluxo da coleta seletiva, como forma de garantir condições dignas de trabalho e renda. Estratégias: apoiar as ações para inclusão sócio produtiva dos catadores de materiais recicláveis; apoiar o processo de organização dos catadores em associações ou cooperativas devidamente legalizadas;

Diretriz 3 – Estímulo à melhoria do desempenho das unidades de destinação final de resíduos sólidos urbanos: incentivar os municípios a adotar boas práticas de gestão e remuneração das associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis que atuam no serviço de coleta seletiva. Estratégias: orientar os municípios na regularização ambiental

Diretriz 4 – Apoio à melhoria da infraestrutura dos serviços de coleta seletiva: buscar mecanismos para implantação e melhoria da infraestrutura necessária aos serviços de coleta seletiva. Estratégias: criar fonte de informação técnica referencial de acesso público para apoiar a instrumentalização dos serviços de coleta seletiva; criar mecanismos de padronização dos materiais recicláveis visando otimizar o valor agregado e melhor acesso ao mercado; propor e manter a especificação padronizada para os equipamentos de coleta seletiva como referência para aquisição pelas Prefeituras; propor a padronização dos materiais recicláveis como referência para comercialização; apoiar a criação e operacionalização de centrais de comercialização de materiais recicláveis.

Diretriz 5 – Estímulo à mobilização da sociedade: incentivar a participação cidadã desde o planejamento até o monitoramento do desempenho dos serviços da coleta seletiva. Estratégias: apoiar mecanismos de sensibilização da sociedade para

o descarte de recicláveis de forma adequada para seu melhor aproveitamento; apoiar a criação de instrumentos de mobilização que incentivem o diálogo a participação e a mobilização da sociedade com vistas promover a sustentabilidade socioeconômica da coleta seletiva; promover a composição de grupos de discussão que incorporem representações da sociedade civil, as organizações de catadores e poder público local na gestão dos serviços de coleta seletiva

**Diretriz 6 - Alinhamento dos serviços de coleta seletiva à legislação:** estimular Programas de coleta seletiva que integrem as áreas de meio ambiente, saúde e educação, e promovam a erradicação do trabalho infantil. **Estratégias:** fomentar a inserção da temática da coleta seletiva nas redes de ensino estadual, municipal e particular; promover a inclusão dos catadores de materiais recicláveis como participantes das discussões das políticas públicas sobre resíduos; estimular a instituição de legislação específica para a coleta seletiva no âmbito dos municípios; orientar a formatação de instrumentos para a realização de contratos de coleta seletiva como serviço público a ser prestado pelas organizações de catadores de materiais recicláveis.

**Diretriz 7 – Incentivo à criação e adoção de mecanismos de regulação do comércio de recicláveis:** fortalecer mecanismos de comércio com o intuito de minimizar disparidades de preços e estabelecer procedimentos de segregação, padronização, acondicionamento e comercialização de materiais recicláveis; estudar instrumentos e incentivos para minimizar as diferenças regionais na gestão e comercialização dos materiais recicláveis no Estado. **Estratégias:** viabilizar e operacionalizar a Central Virtual de Comercialização de Materiais Recicláveis; incentivar a criação de redes intermunicipais para a comercialização dos materiais recicláveis, preferencialmente, em consonância com o Plano Estadual de Regionalização da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos; promover parcerias entre governo e iniciativa privada (grandes geradores, venda direta e doações de recursos) para comercialização de recicláveis; disponibilizar assistência técnica às cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis, com o objetivo de aprimorar o processo de coleta seletiva; conhecer o mercado existente e atrair novos mercados por meio de pesquisas e estudos sobre o potencial de comercialização de materiais recicláveis; incentivar o apoio à instalação de indústrias recicladoras de materiais em municípios que praticam a gestão integrada de resíduos.

Diretriz 8 – Incentivo à gestão integrada de resíduos sólidos: promover o apoio técnico aos municípios na elaboração e implantação de Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos e seus mecanismos. Estratégias: viabilizar meios para apoiar tecnicamente os municípios na elaboração, implantação e monitoramento dos Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS), segundo as diretrizes das políticas nacional e estadual de resíduos;

## Metas

As metas mostradas nas tabelas abaixo são as que se esperam alcançar durante a implementação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos. As metas foram projetadas tendo como base as disposições da Lei 12.305/10, as diretrizes e estratégias do Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Cabe destacar que o alcance das metas não depende apenas de um cenário econômico favorável, estando atrelado também ao envolvimento e atuação dos três níveis de governo, da sociedade e da iniciativa privada. A Tabela 51 indica a situação esperada para Pilar do Sul em relação à disposição de secos em aterros. A Tabela 52 indica a situação esperada para Pilar do Sul em relação à disposição de úmidos em aterros. A Tabela 53 indica a situação esperada para Pilar do Sul em relação à coleta de recicláveis em áreas urbanas tomando por base uma melhoria de 5% por período e que até o início do projeto a situação será a mesma que a adotada inicialmente. A Tabela 54 indica a situação esperada para Pilar do Sul em relação à coleta de recicláveis em áreas rurais tomando por base uma melhoria de 5% por período e que até o início do projeto a situação será a mesma que a adotada inicialmente. A Tabela 55 indica a situação hipotética prevista na PNRS para Pilar do Sul em relação à disposição ambientalmente correta e que no início do projeto a situação já deveria ser atendida pelo município, porém diferente da adotada inicialmente (que é o motivo pelo qual o trabalho foi feito).

Tabela 51 – Meta 1 - Redução dos resíduos recicláveis secos dispostos em aterro (%)

Meta 1					
Redução dos resíduos recicláveis secos dispostos em aterro. (%)					
Anos	2015	2020	2025	2030	2040
(%)	22	28	34	40	45

Fonte: Autores (2017)

Tabela 52 – Meta 2 - Redução do percentual de resíduos úmidos disposto em aterros (%)

Meta 2					
Redução do percentual de resíduos úmidos disposto em aterros. (%)					
Anos	2015	2020	2025	2030	2040
(%)	19	28	39	46	49

Fonte: Autores (2017)

Tabela 53 – Meta 3 - Abrangência da Reciclagem em área urbana de Pilar do Sul

Meta 3					
Abrangência da Reciclagem em área urbana de Pilar do Sul					
Anos	2018	2020	2025	2030	2040
(%)	50	55	60	65	70

Fonte: Autores (2017)

Tabela 54 – Meta 4 – Abrangência da Reciclagem em área rural de Pilar do Sul

Meta 4					
Abrangência da Reciclagem em área rural de Pilar do Sul					
Anos	2018	2020	2025	2030	2040
(%)	20	25	30	35	40

Fonte: Autores (2017)

Tabela 55 – Meta 5 - Disposição Final ambientalmente adequada de RSS (segundo a PNRS)

Meta 5					
Disposição Final ambientalmente adequada de RSS (segundo a PNRS)					
Anos	2018	2020	2025	2030	2040
(%)	100	100	100	100	100

Fonte: Autores (2017)

## 9. CONCLUSÕES

Este trabalho de formatura analisou o município de Pilar do Sul, localizado no Estado de São Paulo, quanto à adequação ambiental tendo como base a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Verificou-se que para se adequar à PNRS é necessário que apenas os rejeitos (resíduos sólidos que se esgotaram todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis) sejam dispostos em aterro sanitário. Para isso, o município precisa tratar os resíduos orgânicos, melhorar a coleta seletiva existente na cidade e implantar um novo aterro sanitário, visto que o existente está fechado pela CETESB por operação inadequada. O aterro sanitário foi projetado para um horizonte de 20 anos e terá uma área de 26.786 m<sup>2</sup>, sendo 16% para a área de infraestrutura auxiliar. A melhor área escolhida foi aquela que se localiza no aterro existente em Pilar do Sul, pois esta já possui infraestrutura necessária para o aterro, levando à alternativa mais viável econômica, social e ambientalmente. O fator de segurança calculado para esta área foi maior do que 1,5 – o que é considerado excelente segundo a recomendação da norma da ABNT NBR 11682 (2009). Para os resíduos orgânicos, o tratamento mais viável foi a usina de compostagem, que terá uma área de 848 m<sup>2</sup>. Além do aterro sanitário e da usina de compostagem, foram propostas neste projeto estratégias para melhoria da coleta seletiva, reciclagem e educação ambiental do município de Pilar do Sul, bem como metas para reduzir a quantidade de resíduos recicláveis dispostos no aterro de Pilar do Sul nos anos subsequentes à implantação do aterro.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- \_\_\_\_\_. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11682: Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro, 2009.
- ABREU, R. L. Localização de Pilar do Sul. 22 de agosto 2006. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Pilar\\_do\\_Sul#/media/File:SaoPaulo\\_Municip\\_PilardoSul.svg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Pilar_do_Sul#/media/File:SaoPaulo_Municip_PilardoSul.svg)>. Acesso em 06 outubro 2017.
- BORGATTO, A. V. A. Estudo das Propriedades Geomecânicas de Resíduos Sólidos Urbanos Pré-Tratados. Rio de Janeiro. 2010
- BOSCOV, M.E.G. Geotecnica Ambiental. Oficina de Textos, 2008.
- CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. Clima de Pilar do Sul. Disponível em: <[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_429.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_429.html)> Acesso em: 13 junho 2017.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos 2016. Disponível em: <<http://solo.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/18/2013/12/inventario-residuos-solidos-2016.pdf>>. Acesso em: 06 outubro 2017.
- \_\_\_\_\_. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Aterro sanitário. 2017. Disponível em: <<http://biogas.cetesb.sp.gov.br/aterro-sanitario/>> Acesso em: 13 junho 2017.
- COMARPS. 2013. Cooperativa de Materiais Recicláveis de Pilar do Sul. Disponível em: <<http://reciclapilar.blogspot.com.br/p/blog-page.html>> Acesso em: 13 junho 2017.
- CONDER. Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia. Manual de Operação de Aterros Sanitários. Sem data.
- CURTY, E. B. Escolha de Uma Área para a Disposição Final dos Resíduos Sólidos Urbanos e Dimensionamento de Um Aterro Sanitário para a Cidade de Campos dos Goytacazes/RJ. 2005.
- DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Banco de Dados Hidrológicos. 2017. Disponível em: <<http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>> Acesso em: 13 junho 2017.
- ELK, Ana Ghislane Henriques Pereira van. Redução de emissões na disposição final. Rio de Janeiro: IBAM, 2007.
- EMPLASA. Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano. Região Metropolitana de Sorocaba. 2017. Disponível em: <<https://www.emplasa.sp.gov.br/RMS>>. Acesso em: 13 junho 2017.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Orientações básicas para a operação de aterro sanitário / Fundação Estadual do Meio Ambiente. —Belo Horizonte: FEAM, 2006.

FIPAI. Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial. Projeto Básico do Aterro Sanitário e Estimativa de Custos para sua Implantação. São Carlos. 2008.

FREITAS, Marco António Coelho. Análise de Estabilidade de Talude pelos Métodos de Morgenstern-Price e Correia. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2011. 178 p

FORGIE, D.J.L.; SASSER, L.W.; NEGER, M.K. Compost Facility Requirements Guideline: How to Comply with Part 5 of the Organic Matter Recycling Regulation; Ministry of Water Land and Air Protection: British Columbia, Canada, 2004.

GEORSCOVICH, Denise M. S.. 1. Engenharia de estruturas 2. Geotécnica 3. Geotêxteis 4. Mecânica dos solos I.1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 166 p.

GOEPEL, K. D. (2013). Implementing the Analytic Hierarchy Process as a Standard Method for Multi-Criteria Decision Making In Corporate Enterprises – A New AHP Excel Template with Multiple Inputs, Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. População de Pilar do Sul. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/pilar-do-sul/panorama>>. Acesso em: 06 outubro 2017.

\_\_\_\_\_.Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Território e Ambiente. 2016. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/pilar-do-sul/panorama>>. Acesso em: 06 outubro 2017.

\_\_\_\_\_.Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 06 outubro 2017.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, 1981. 1 mapa. Escala 1:250.000.

ITURRI, E. A. Z. Uma proposta para a base de apoio dos drenos de gás. Trabalho apresentado no Simpósio Internacional de Tecnologias e Tratamentos de Resíduos Sólidos, Rio de Janeiro, 2006.

KAIMOTO, L.S.A., CEPOLLINA, M., "Considerações sobre alguns condicionantes e critérios geotécnicos de projeto executivo de aterros sanitários" In: Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, Porto Alegre, RS, Brasil, 16-18 Setembro, 1996.

MACHADO, C. F. Incineração: Uma Análise do Tratamento Térmico dos Resíduos Sólidos Urbanos de Bauru-SP. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015.

MASSAD, Faiçal. Obras de terra. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2003, 170 p.

MASSUKADO, L.M. Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares. 2008. 182p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

METCALF, L.; EDDY, H. P. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse. 3rd Edition, McGraw-Hill, Inc., Singapore. 1991.

MGIRS. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos / José Henrique Penido Monteiro. Coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MSPC. Volume de Sólidos Comuns. 2009. Disponível em: <[http://www.mspc.eng.br/matm/curv\\_sup22.shtml](http://www.mspc.eng.br/matm/curv_sup22.shtml)>. Acesso em: 18 outubro 2017.

OLIVEIRA, J. B.; ROSSI, M. O mapa pedológico do Estado de São Paulo. Campinas: IAC/Embrapa, 1999. Mapa, escala 1:500.000.

Parecer Técnico da CETESB nº 124-15-IPSR. 2015. Disponível em: <[http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/consema/2016/01/Parecer\\_T%C3%A9cnico\\_CETESB-124-15-IPSR.pdf](http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/consema/2016/01/Parecer_T%C3%A9cnico_CETESB-124-15-IPSR.pdf)>. Acesso em: 18 outubro 2017.

PMISB. Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico do Município de Pilar do Sul - SP (2014). Disponível em: <[http://saneamento.sp.gov.br/PMS/UGRHI%2014/Pilar\\_do\\_Sul.pdf](http://saneamento.sp.gov.br/PMS/UGRHI%2014/Pilar_do_Sul.pdf)>. Acesso em: 22 junho 2017.

Plano Estadual de Coleta Seletiva de Minas Gerais. Fundação Estadual do Meio Ambiente. FEAM. 2011. Disponível em <[http://www.feam.br/images/stories/2015/RESIDUOS\\_SOLIDOS/plano\\_estadual\\_coleta\\_seletiva\\_pecs.pdf](http://www.feam.br/images/stories/2015/RESIDUOS_SOLIDOS/plano_estadual_coleta_seletiva_pecs.pdf)>. Acesso em 11 dezembro 2017.

Plano Nacional de Resíduos Sólidos. 2012. Disponível em <[http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS\\_Revisao\\_Decreto\\_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657](http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657)>. Acesso em 11 dezembro de 2017

PNRS. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305. Brasília, 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 06 outubro 2017.

PROBIOGÁS, Projeto Brasil – Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil. Ministério das Cidades, Brasília, 2015.

PROSAB: Programa de Pesquisas em Saneamento Básico; Rede Cooperativa de Pesquisas/ Digestão Anaeróbia de Resíduos Orgânicos e Aproveitamento de Biogás. Coordenador: Cassini, S. T., 2003.

PRSESP. Plano de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo. 2014. Disponível em <<http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/2017/04/25/plano-de-residuos-solidos-do-estado-de-sao-paulo/>>. Acesso em 13 novembro 2017.

REIS, A. S. Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2012.

RICHARD, T.L. The Key to Successful MSW Compost Marketing, BioCycle.1992.

ROBERTSON, T. DUNBAR, J. Guidance for evaluating landfill gas emissions from closed or Abandoned facilities. U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development. EPA-600/R-05/123<sup>a</sup>, Washington: 2005.

RODRIGUES, P. S. H. Análise de viabilidade econômica de um aterro sanitário para cidade de pequeno porte. Tese de Mestrado UNESP: 2008.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: DG-FFLCH-USP/IPT/Fapesp, 1997. 2 v. Escala 1:500.000.

SAAD, A.R. Estratigrafia do Subgrupo Itararé no centro e sul do Estado de São Paulo. São Paulo. 1977. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências/USP.

SANEX Soluções Ltda. Avaliação, Diagnóstico e Proposição de Soluções visando à elaboração do Plano Municipal de Resíduos Inertes e Recicláveis do Município de Sorocaba. Sorocaba: dezembro de 2011, 352 p.

SANTOS, P. C. V. Estudo da Degradação e dos Recalques em Células Experimentais de Resíduos Sólidos no Aterro do Jockey Club/DF. Tese de Doutorado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2004.

SEADE. 2015. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados Memória das Estatísticas Demográficas. Disponível em: <<http://produtos.seade.gov.br/produtos/500anos/index.php?tip=esta>>. Acesso em: 13 junho 2017.

\_\_\_\_\_. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados Memória das Estatísticas Demográficas. Índice Paulista de Responsabilidade Social (IPRS). 2012. Disponível em: <<http://indices-ilp.al.sp.gov.br/view/index.php?prodCod=1>>. Acesso em: 13 junho 2017.

SEDRUMA. Secretaria de Desenvolvimento Rural e Meio Ambiente de Pilar do Sul. Gestão Atual de Resíduos Sólidos de Pilar do Sul. 2017.

SILVEIRA, A. M. M. Estudo do Peso Específico de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro. 2004

SUZUKI, D. K. Verticalização de Aterros Sanitários por meio de Reforço com Geogrelhas e Diques Periféricos Alteados pelo Método de Montante. São Paulo. 2012.

TIVERON, V.P.M. et al. (1995)- Disposição de resíduos sólidos no município de São Paulo: aterros sanitários. I Seminário Luso-Brasileiro de Geotecnica Ambiental, Lisboa,15p.

UNESP. Formas de Disposição de Resíduos. Aterro Sanitário. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res13.html>>. Acesso em 09 dezembro 2017.

VANDEVIVERE P. et. al. Types of anaerobic digesters for solid wastes in biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes. V. 4, p. 111-147, London, IWA Publishing. 2002.

ZAINA, J. E. Geologia da Formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP). Rio Claro – SP. 1994. (Dissertação de Mestrado - UNESP).

## ANEXO A – Política Nacional de Resíduos Sólidos

### LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010.

Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

**O PRESIDENTE DA REPÚBLICA** Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

#### TÍTULO I

##### DISPOSIÇÕES GERAIS

###### CAPÍTULO I

###### DO OBJETO E DO CAMPO DE APLICAÇÃO

Art. 1º Esta Lei institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

§ 1º Estão sujeitas à observância desta Lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos.

§ 2º Esta Lei não se aplica aos rejeitos radioativos, que são regulados por legislação específica.

Art. 2º Aplicam-se aos resíduos sólidos, além do disposto nesta [Lei, nas Leis nos 11.445, de 5 de janeiro de 2007, 9.974, de 6 de junho de 2000, e 9.966, de 28 de abril de 2000](#), as normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa) e do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro).

###### CAPÍTULO II

##### DEFINIÇÕES

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

I - acordo setorial: ato de natureza contratual firmado entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto;

II - área contaminada: local onde há contaminação causada pela disposição, regular ou irregular, de quaisquer substâncias ou resíduos;

III - área órfã contaminada: área contaminada cujos responsáveis pela disposição não sejam identificáveis ou individualizáveis;

IV - ciclo de vida do produto: série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final;

V - coleta seletiva: coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição;

VI - controle social: conjunto de mecanismos e procedimentos que garantam à sociedade informações e participação nos processos de formulação, implementação e avaliação das políticas públicas relacionadas aos resíduos sólidos;

VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

VIII - disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

IX - geradores de resíduos sólidos: pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo;

X - gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei;

XI - gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável;

XII - logística reversa: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada;

XIII - padrões sustentáveis de produção e consumo: produção e consumo de bens e serviços de forma a atender as necessidades das atuais gerações e permitir melhores condições de vida, sem comprometer a qualidade ambiental e o atendimento das necessidades das gerações futuras;

XIV - reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa;

XV - rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;

XVII - responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos: conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei;

XVIII - reutilização: processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa;

XIX - serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades previstas no [art. 7º da Lei nº 11.445, de 2007.](#)

## TÍTULO II

### DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

#### CAPÍTULO I

##### DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 4º A Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.

Art. 5º A Política Nacional de Resíduos Sólidos integra a Política Nacional do Meio Ambiente e articula-se com a Política Nacional de Educação Ambiental, regulada pela [Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999](#), com a Política Federal de Saneamento Básico, regulada pela [Lei nº 11.445, de 2007](#), e com a [Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005](#).

#### CAPÍTULO II

##### DOS PRINCÍPIOS E OBJETIVOS

Art. 6º São princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - a prevenção e a precaução;

II - o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;

III - a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;

IV - o desenvolvimento sustentável;

V - a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;

VI - a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;

VII - a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

VIII - o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;

IX - o respeito às diversidades locais e regionais;

X - o direito da sociedade à informação e ao controle social;

XI - a razoabilidade e a proporcionalidade.

Art. 7º São objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;

II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

III - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;

IV - adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;

V - redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;

VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;

VII - gestão integrada de resíduos sólidos;

VIII - articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;

IX - capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;

X - regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a [Lei nº 11.445, de 2007](#);

XI - prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:

a) produtos reciclados e recicláveis;

b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;

XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

XIII - estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;

XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;

XV - estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

### CAPÍTULO III

#### DOS INSTRUMENTOS

Art. 8º São instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, entre outros:

I - os planos de resíduos sólidos;

II - os inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos;

III - a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

IV - o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;

V - o monitoramento e a fiscalização ambiental, sanitária e agropecuária;

VI - a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos;

VII - a pesquisa científica e tecnológica;

VIII - a educação ambiental;

IX - os incentivos fiscais, financeiros e creditícios;

X - o Fundo Nacional do Meio Ambiente e o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico;

XI - o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir);

XII - o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (Sinisa);

XIII - os conselhos de meio ambiente e, no que couber, os de saúde;

XIV - os órgãos colegiados municipais destinados ao controle social dos serviços de resíduos sólidos urbanos;

XV - o Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos;

XVI - os acordos setoriais;

XVII - no que couber, os instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente, entre eles: a) os padrões de qualidade ambiental;

b) o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais;

c) o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;

d) a avaliação de impactos ambientais;

e) o Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente (Sinima);

f) o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras;

XVIII - os termos de compromisso e os termos de ajustamento de conduta; XIX - o incentivo à adoção de consórcios ou de outras formas de cooperação entre os entes federados, com vistas à elevação das escalas de aproveitamento e à redução dos custos envolvidos.

## TÍTULO III

### DAS DIRETRIZES APLICÁVEIS AOS RESÍDUOS SÓLIDOS

#### CAPÍTULO I

##### DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

Art. 9º Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

§ 1º Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental.

§ 2º A Política Nacional de Resíduos Sólidos e as Políticas de Resíduos Sólidos dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios serão compatíveis com o disposto no **caput** e no § 1º deste artigo e com as demais diretrizes estabelecidas nesta Lei.

Art. 10. Incumbe ao Distrito Federal e aos Municípios a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados nos respectivos territórios, sem prejuízo das competências de controle e fiscalização dos órgãos federais e estaduais do Sisnama, do SNVS e do Suasa, bem como da responsabilidade do gerador pelo gerenciamento de resíduos, consoante o estabelecido nesta Lei.

Art. 11. Observadas as diretrizes e demais determinações estabelecidas nesta Lei e em seu regulamento, incumbe aos Estados:

I - promover a integração da organização, do planejamento e da execução das funções públicas de interesse comum relacionadas à gestão dos resíduos sólidos nas regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões, nos termos da lei complementar estadual prevista no § 3º do art. 25 da Constituição Federal;

II - controlar e fiscalizar as atividades dos geradores sujeitas a licenciamento ambiental pelo órgão estadual do Sisnama.

Parágrafo único. A atuação do Estado na forma do **caput** deve apoiar e priorizar as iniciativas do Município de soluções consorciadas ou compartilhadas entre 2 (dois) ou mais Municípios.

Art. 12. A União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios organizarão e manterão, de forma conjunta, o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir), articulado com o Sinisa e o Sinima.

Parágrafo único. Incumbe aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios fornecer ao órgão federal responsável pela coordenação do Sinir todas as informações necessárias sobre os resíduos sob sua esfera de competência, na forma e na periodicidade estabelecidas em regulamento.

Art. 13. Para os efeitos desta Lei, os resíduos sólidos têm a seguinte classificação:

I - quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas "a" e "b";
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas "b", "e", "g", "h" e "j";
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea "c";
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

II - quanto à periculosidade:

- a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
- b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea "a".

Parágrafo único. Respeitado o disposto no art. 20, os resíduos referidos na alínea "d" do inciso I do **caput**, se caracterizados como não perigosos, podem, em razão de sua natureza, composição ou volume, ser equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal.

## CAPÍTULO II

### DOS PLANOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

#### Seção I

##### Disposições Gerais

Art. 14. São planos de resíduos sólidos:

I - o Plano Nacional de Resíduos Sólidos;

II - os planos estaduais de resíduos sólidos;

III - os planos microrregionais de resíduos sólidos e os planos de resíduos sólidos de regiões metropolitanas ou aglorações urbanas;

IV - os planos intermunicipais de resíduos sólidos;

V - os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos;

VI - os planos de gerenciamento de resíduos sólidos.

Parágrafo único. É assegurada ampla publicidade ao conteúdo dos planos de resíduos sólidos, bem como controle social em sua formulação, implementação e operacionalização, observado o disposto na [Lei nº 10.650, de 16 de abril de 2003](#), e no [art. 47 da Lei nº 11.445, de 2007.](#)

#### Seção II

##### Do Plano Nacional de Resíduos Sólidos

Art. 15. A União elaborará, sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, com vigência por prazo indeterminado e horizonte de 20 (vinte) anos, a ser atualizado a cada 4 (quatro) anos, tendo como conteúdo mínimo:

I - diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos;

II - proposição de cenários, incluindo tendências internacionais e macroeconômicas;

III - metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;

IV - metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos;

V - metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;

VI - programas, projetos e ações para o atendimento das metas previstas;

VII - normas e condicionantes técnicas para o acesso a recursos da União, para a obtenção de seu aval ou para o acesso a recursos administrados, direta ou indiretamente, por entidade federal, quando destinados a ações e programas de interesse dos resíduos sólidos;

VIII - medidas para incentivar e viabilizar a gestão regionalizada dos resíduos sólidos;

IX - diretrizes para o planejamento e demais atividades de gestão de resíduos sólidos das regiões integradas de desenvolvimento instituídas por lei complementar, bem como para as áreas de especial interesse turístico;

X - normas e diretrizes para a disposição final de rejeitos e, quando couber, de resíduos;

XI - meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito nacional, de sua implementação e operacionalização, assegurado o controle social.

Parágrafo único. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos será elaborado mediante processo de mobilização e participação social, incluindo a realização de audiências e consultas públicas.

### Seção III

#### Dos Planos Estaduais de Resíduos Sólidos

Art. 16. A elaboração de plano estadual de resíduos sólidos, nos termos previstos por esta Lei, é condição para os Estados terem acesso a recursos da União, ou por ela controlados, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à gestão de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade. [\(Vigência\)](#)

§ 1º Serão priorizados no acesso aos recursos da União referidos no **caput** os Estados que instituírem microrregiões, consoante o [§ 3º do art. 25 da Constituição Federal](#), para integrar a organização, o planejamento e a execução das ações a cargo de Municípios limítrofes na gestão dos resíduos sólidos.

§ 2º Serão estabelecidas em regulamento normas complementares sobre o acesso aos recursos da União na forma deste artigo.

§ 3º Respeitada a responsabilidade dos geradores nos termos desta Lei, as microrregiões instituídas conforme previsto no § 1º abrangem atividades de coleta seletiva, recuperação e reciclagem, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos, a gestão de resíduos de construção civil, de serviços de transporte, de serviços de saúde, agrossilvopastoris ou outros resíduos, de acordo com as peculiaridades microrregionais.

Art. 17. O plano estadual de resíduos sólidos será elaborado para vigência por prazo indeterminado, abrangendo todo o território do Estado, com horizonte de atuação de 20 (vinte) anos e revisões a cada 4 (quatro) anos, e tendo como conteúdo mínimo:

I - diagnóstico, incluída a identificação dos principais fluxos de resíduos no Estado e seus impactos socioeconômicos e ambientais;

II - proposição de cenários;

III - metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;

IV - metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos;

V - metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;

VI - programas, projetos e ações para o atendimento das metas previstas;

VII - normas e condicionantes técnicas para o acesso a recursos do Estado, para a obtenção de seu aval ou para o acesso de recursos administrados, direta ou indiretamente, por entidade estadual, quando destinados às ações e programas de interesse dos resíduos sólidos;

VIII - medidas para incentivar e viabilizar a gestão consorciada ou compartilhada dos resíduos sólidos;

IX - diretrizes para o planejamento e demais atividades de gestão de resíduos sólidos de regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões;

X - normas e diretrizes para a disposição final de rejeitos e, quando couber, de resíduos, respeitadas as disposições estabelecidas em âmbito nacional;

XI - previsão, em conformidade com os demais instrumentos de planejamento territorial, especialmente o zoneamento ecológico-econômico e o zoneamento costeiro, de:

a) zonas favoráveis para a localização de unidades de tratamento de resíduos sólidos ou de disposição final de rejeitos;

b) áreas degradadas em razão de disposição inadequada de resíduos sólidos ou rejeitos a serem objeto de recuperação ambiental;

XII - meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito estadual, de sua implementação e operacionalização, assegurado o controle social.

§ 1º Além do plano estadual de resíduos sólidos, os Estados poderão elaborar planos microrregionais de resíduos sólidos, bem como planos específicos direcionados às regiões metropolitanas ou às aglomerações urbanas.

§ 2º A elaboração e a implementação pelos Estados de planos microrregionais de resíduos sólidos, ou de planos de regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas, em consonância com o previsto no § 1º, dar-se-ão obrigatoriamente com a participação dos Municípios envolvidos e não excluem nem substituem qualquer das prerrogativas a cargo dos Municípios previstas por esta Lei.

§ 3º Respeitada a responsabilidade dos geradores nos termos desta Lei, o plano microrregional de resíduos sólidos deve atender ao previsto para o plano estadual e estabelecer soluções integradas para a coleta seletiva, a recuperação e a reciclagem, o tratamento e a destinação final dos resíduos sólidos urbanos e, consideradas as peculiaridades microrregionais, outros tipos de resíduos.

#### Seção IV

##### Dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

Art. 18. A elaboração de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, nos termos previstos por esta Lei, é condição para o Distrito Federal e os Municípios terem acesso a recursos da União, ou por ela controlados, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade. ([Vigência](#))

§ 1º Serão priorizados no acesso aos recursos da União referidos no **caput** os Municípios que:

I - optarem por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão dos resíduos sólidos, incluída a elaboração e implementação de plano intermunicipal, ou que se inserirem de forma voluntária nos planos microrregionais de resíduos sólidos referidos no § 1º do art. 16;

II - implantarem a coleta seletiva com a participação de cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda.

§ 2º Serão estabelecidas em regulamento normas complementares sobre o acesso aos recursos da União na forma deste artigo.

Art. 19. O plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos tem o seguinte conteúdo mínimo:

I - diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, contendo a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final adotadas;

II - identificação de áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, observado o plano diretor de que trata o [§ 1º do art. 182 da Constituição Federal](#) e o zoneamento ambiental, se houver;

III - identificação das possibilidades de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros Municípios, considerando, nos critérios de economia de escala, a proximidade dos locais estabelecidos e as formas de prevenção dos riscos ambientais;

IV - identificação dos resíduos sólidos e dos geradores sujeitos a plano de gerenciamento específico nos termos do art. 20 ou a sistema de logística reversa na forma do art. 33, observadas as disposições desta Lei e de seu regulamento, bem como as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;

V - procedimentos operacionais e especificações mínimas a serem adotados nos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, incluída a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos e observada a [Lei nº 11.445, de 2007](#);

VI - indicadores de desempenho operacional e ambiental dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos;

VII - regras para o transporte e outras etapas do gerenciamento de resíduos sólidos de que trata o art. 20, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS e demais disposições pertinentes da legislação federal e estadual;

VIII - definição das responsabilidades quanto à sua implementação e operacionalização, incluídas as etapas do plano de gerenciamento de resíduos sólidos a que se refere o art. 20 a cargo do poder público;

IX - programas e ações de capacitação técnica voltados para sua implementação e operacionalização;

X - programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos;

XI - programas e ações para a participação dos grupos interessados, em especial das cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, se houver;

XII - mecanismos para a criação de fontes de negócios, emprego e renda, mediante a valorização dos resíduos sólidos;

XIII - sistema de cálculo dos custos da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, bem como a forma de cobrança desses serviços, observada a [Lei nº 11.445, de 2007](#):

XIV - metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;

XV - descrição das formas e dos limites da participação do poder público local na coleta seletiva e na logística reversa, respeitado o disposto no art. 33, e de outras ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

XVI - meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito local, da implementação e operacionalização dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos de que trata o art. 20 e dos sistemas de logística reversa previstos no art. 33;

XVII - ações preventivas e corretivas a serem praticadas, incluindo programa de monitoramento;

XVIII - identificação dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos, incluindo áreas contaminadas, e respectivas medidas saneadoras;

XIX - periodicidade de sua revisão, observado prioritariamente o período de vigência do plano plurianual municipal.

§ 1º O plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos pode estar inserido no plano de saneamento básico previsto no [art. 19 da Lei nº 11.445, de 2007](#), respeitado o conteúdo mínimo previsto nos incisos do **caput** e observado o disposto no § 2º, todos deste artigo.

§ 2º Para Municípios com menos de 20.000 (vinte mil) habitantes, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos terá conteúdo simplificado, na forma do regulamento.

§ 3º O disposto no § 2º não se aplica a Municípios:

I - integrantes de áreas de especial interesse turístico;

II - inseridos na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional;

III - cujo território abranja, total ou parcialmente, Unidades de Conservação.

§ 4º A existência de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos não exime o Município ou o Distrito Federal do licenciamento ambiental de aterros sanitários e de outras infraestruturas e instalações operacionais integrantes do serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos pelo órgão competente do Sisnama.

§ 5º Na definição de responsabilidades na forma do inciso VIII do **caput** deste artigo, é vedado atribuir ao serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos a realização de etapas do gerenciamento dos resíduos a que se refere o art. 20 em desacordo com a respectiva licença ambiental ou com normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e, se couber, do SNVS.

§ 6º Além do disposto nos incisos I a XIX do **caput** deste artigo, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos contemplará ações específicas a serem desenvolvidas no âmbito dos

órgãos da administração pública, com vistas à utilização racional dos recursos ambientais, ao combate a todas as formas de desperdício e à minimização da geração de resíduos sólidos.

§ 7º O conteúdo do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos será disponibilizado para o Sinir, na forma do regulamento.

§ 8º A inexistência do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos não pode ser utilizada para impedir a instalação ou a operação de empreendimentos ou atividades devidamente licenciados pelos órgãos competentes.

§ 9º Nos termos do regulamento, o Município que optar por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão dos resíduos sólidos, assegurado que o plano intermunicipal preencha os requisitos estabelecidos nos incisos I a XIX do **caput** deste artigo, pode ser dispensado da elaboração de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos.

## Seção V

### Do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

Art. 20. Estão sujeitos à elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos:

I - os geradores de resíduos sólidos previstos nas alíneas “e”, “f”, “g” e “k” do inciso I do art. 13;

II - os estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços que:

a) gerem resíduos perigosos;

b) gerem resíduos que, mesmo caracterizados como não perigosos, por sua natureza, composição ou volume, não sejam equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal;

III - as empresas de construção civil, nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama;

IV - os responsáveis pelos terminais e outras instalações referidas na alínea “j” do inciso I do art. 13 e, nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e, se couber, do SNVS, as empresas de transporte;

V - os responsáveis por atividades agrossilvopastorais, se exigido pelo órgão competente do Sisnama, do SNVS ou do Suasa.

Parágrafo único. Observado o disposto no Capítulo IV deste Título, serão estabelecidas por regulamento exigências específicas relativas ao plano de gerenciamento de resíduos perigosos.

Art. 21. O plano de gerenciamento de resíduos sólidos tem o seguinte conteúdo mínimo:

I - descrição do empreendimento ou atividade;

II - diagnóstico dos resíduos sólidos gerados ou administrados, contendo a origem, o volume e a caracterização dos resíduos, incluindo os passivos ambientais a eles relacionados;

III - observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa e, se houver, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos:

a) explicitação dos responsáveis por cada etapa do gerenciamento de resíduos sólidos;

b) definição dos procedimentos operacionais relativos às etapas do gerenciamento de resíduos sólidos sob responsabilidade do gerador;

IV - identificação das soluções consorciadas ou compartilhadas com outros geradores;

V - ações preventivas e corretivas a serem executadas em situações de gerenciamento incorreto ou acidentes;

VI - metas e procedimentos relacionados à minimização da geração de resíduos sólidos e, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, à reutilização e reciclagem;

VII - se couber, ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, na forma do art. 31;

VIII - medidas saneadoras dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos;

IX - periodicidade de sua revisão, observado, se couber, o prazo de vigência da respectiva licença de operação a cargo dos órgãos do Sisnama.

§ 1º O plano de gerenciamento de resíduos sólidos atenderá ao disposto no plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos do respectivo Município, sem prejuízo das normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa.

§ 2º A inexistência do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos não obsta a elaboração, a implementação ou a operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos sólidos.

§ 3º Serão estabelecidos em regulamento:

I - normas sobre a exigibilidade e o conteúdo do plano de gerenciamento de resíduos sólidos relativo à atuação de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;

II - critérios e procedimentos simplificados para apresentação dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos para microempresas e empresas de pequeno porte, assim consideradas as definidas nos [incisos I e II do art. 3º da Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006](#), desde que as atividades por elas desenvolvidas não gerem resíduos perigosos.

Art. 22. Para a elaboração, implementação, operacionalização e monitoramento de todas as etapas do plano de gerenciamento de resíduos sólidos, nelas incluído o controle da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, será designado responsável técnico devidamente habilitado.

Art. 23. Os responsáveis por plano de gerenciamento de resíduos sólidos manterão atualizadas e disponíveis ao órgão municipal competente, ao órgão licenciador do Sisnama e a outras autoridades, informações completas sobre a implementação e a operacionalização do plano sob sua responsabilidade.

§ 1º Para a consecução do disposto no **caput**, sem prejuízo de outras exigências cabíveis por parte das autoridades, será implementado sistema declaratório com periodicidade, no mínimo, anual, na forma do regulamento.

§ 2º As informações referidas no **caput** serão repassadas pelos órgãos públicos ao Sinir, na forma do regulamento.

Art. 24. O plano de gerenciamento de resíduos sólidos é parte integrante do processo de licenciamento ambiental do empreendimento ou atividade pelo órgão competente do Sisnama.

§ 1º Nos empreendimentos e atividades não sujeitos a licenciamento ambiental, a aprovação do plano de gerenciamento de resíduos sólidos cabe à autoridade municipal competente.

§ 2º No processo de licenciamento ambiental referido no § 1º a cargo de órgão federal ou estadual do Sisnama, será assegurada oitiva do órgão municipal competente, em especial quanto à disposição final ambientalmente adequada de rejeitos.

## CAPÍTULO III

### DAS RESPONSABILIDADES DOS GERADORES E DO PODER PÚBLICO

#### Seção I

##### Disposições Gerais

Art. 25. O poder público, o setor empresarial e a coletividade são responsáveis pela efetividade das ações voltadas para assegurar a observância da Política Nacional de Resíduos Sólidos e das diretrizes e demais determinações estabelecidas nesta Lei e em seu regulamento.

Art. 26. O titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos é responsável pela organização e prestação direta ou indireta desses serviços, observados o respectivo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, a [Lei nº 11.445, de 2007](#), e as disposições desta Lei e seu regulamento.

Art. 27. As pessoas físicas ou jurídicas referidas no art. 20 são responsáveis pela implementação e operacionalização integral do plano de gerenciamento de resíduos sólidos aprovado pelo órgão competente na forma do art. 24.

§ 1º A contratação de serviços de coleta, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento ou destinação final de resíduos sólidos, ou de disposição final de rejeitos, não isenta as pessoas físicas ou jurídicas referidas no art. 20 da responsabilidade por danos que vierem a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos ou rejeitos.

§ 2º Nos casos abrangidos pelo art. 20, as etapas sob responsabilidade do gerador que forem realizadas pelo poder público serão devidamente remuneradas pelas pessoas físicas ou jurídicas responsáveis, observado o disposto no § 5º do art. 19.

Art. 28. O gerador de resíduos sólidos domiciliares tem cessada sua responsabilidade pelos resíduos com a disponibilização adequada para a coleta ou, nos casos abrangidos pelo art. 33, com a devolução.

Art. 29. Cabe ao poder público atuar, subsidiariamente, com vistas a minimizar ou cessar o dano, logo que tome conhecimento de evento lesivo ao meio ambiente ou à saúde pública relacionado ao gerenciamento de resíduos sólidos.

Parágrafo único. Os responsáveis pelo dano resarcirão integralmente o poder público pelos gastos decorrentes das ações empreendidas na forma do **caput**.

#### Seção II

### Da Responsabilidade Compartilhada

Art. 30. É instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, consoante as atribuições e procedimentos previstos nesta Seção.

Parágrafo único. A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos tem por objetivo:

I - compatibilizar interesses entre os agentes econômicos e sociais e os processos de gestão empresarial e mercadológica com os de gestão ambiental, desenvolvendo estratégias sustentáveis;

II - promover o aproveitamento de resíduos sólidos, direcionando-os para a sua cadeia produtiva ou para outras cadeias produtivas;

III - reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais;

IV - incentivar a utilização de insumos de menor agressividade ao meio ambiente e de maior sustentabilidade;

V - estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis;

VI - propiciar que as atividades produtivas alcancem eficiência e sustentabilidade;

VII - incentivar as boas práticas de responsabilidade socioambiental.

Art. 31. Sem prejuízo das obrigações estabelecidas no plano de gerenciamento de resíduos sólidos e com vistas a fortalecer a responsabilidade compartilhada e seus objetivos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes têm responsabilidade que abrange:

I - investimento no desenvolvimento, na fabricação e na colocação no mercado de produtos:

a) que sejam aptos, após o uso pelo consumidor, à reutilização, à reciclagem ou a outra forma de destinação ambientalmente adequada;

b) cuja fabricação e uso gerem a menor quantidade de resíduos sólidos possível;

II - divulgação de informações relativas às formas de evitar, reciclar e eliminar os resíduos sólidos associados a seus respectivos produtos;

III - recolhimento dos produtos e dos resíduos remanescentes após o uso, assim como sua subsequente destinação final ambientalmente adequada, no caso de produtos objeto de sistema de logística reversa na forma do art. 33;

IV - compromisso de, quando firmados acordos ou termos de compromisso com o Município, participar das ações previstas no plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, no caso de produtos ainda não inclusos no sistema de logística reversa.

Art. 32. As embalagens devem ser fabricadas com materiais que propiciem a reutilização ou a reciclagem.

§ 1º Cabe aos respectivos responsáveis assegurar que as embalagens sejam:

- I - restritas em volume e peso às dimensões requeridas à proteção do conteúdo e à comercialização do produto;
- II - projetadas de forma a serem reutilizadas de maneira tecnicamente viável e compatível com as exigências aplicáveis ao produto que contêm;
- III - recicladas, se a reutilização não for possível.

§ 2º O regulamento disporá sobre os casos em que, por razões de ordem técnica ou econômica, não seja viável a aplicação do disposto no **caput**.

§ 3º É responsável pelo atendimento do disposto neste artigo todo aquele que:

- I - manufatura embalagens ou fornece materiais para a fabricação de embalagens;
- II - coloca em circulação embalagens, materiais para a fabricação de embalagens ou produtos embalados, em qualquer fase da cadeia de comércio.

Art. 33. São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:

- I - agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, ou em normas técnicas;
- II - pilhas e baterias;
- III - pneus;
- IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;
- V - lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;
- VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

§ 1º Na forma do disposto em regulamento ou em acordos setoriais e termos de compromisso firmados entre o poder público e o setor empresarial, os sistemas previstos no **caput** serão estendidos a produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, e aos demais produtos e embalagens, considerando, prioritariamente, o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados.

§ 2º A definição dos produtos e embalagens a que se refere o § 1º considerará a viabilidade técnica e econômica da logística reversa, bem como o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados.

§ 3º Sem prejuízo de exigências específicas fixadas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS, ou em acordos setoriais e termos de compromisso firmados entre o poder público e o setor empresarial, cabe aos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes dos produtos a que se referem os incisos II, III, V e VI ou dos produtos e embalagens a que se referem os incisos I e IV do **caput** e o § 1º tomar todas as

medidas necessárias para assegurar a implementação e operacionalização do sistema de logística reversa sob seu encargo, consoante o estabelecido neste artigo, podendo, entre outras medidas:

- I - implantar procedimentos de compra de produtos ou embalagens usados;
- II - disponibilizar postos de entrega de resíduos reutilizáveis e recicláveis;
- III - atuar em parceria com cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, nos casos de que trata o § 1º.

§ 4º Os consumidores deverão efetuar a devolução após o uso, aos comerciantes ou distribuidores, dos produtos e das embalagens a que se referem os incisos I a VI do **caput**, e de outros produtos ou embalagens objeto de logística reversa, na forma do § 1º.

§ 5º Os comerciantes e distribuidores deverão efetuar a devolução aos fabricantes ou aos importadores dos produtos e embalagens reunidos ou devolvidos na forma dos §§ 3º e 4º.

§ 6º Os fabricantes e os importadores darão destinação ambientalmente adequada aos produtos e às embalagens reunidos ou devolvidos, sendo o rejeito encaminhado para a disposição final ambientalmente adequada, na forma estabelecida pelo órgão competente do Sisnama e, se houver, pelo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos.

§ 7º Se o titular do serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, por acordo setorial ou termo de compromisso firmado com o setor empresarial, encarregar-se de atividades de responsabilidade dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes nos sistemas de logística reversa dos produtos e embalagens a que se refere este artigo, as ações do poder público serão devidamente remuneradas, na forma previamente acordada entre as partes.

§ 8º Com exceção dos consumidores, todos os participantes dos sistemas de logística reversa manterão atualizadas e disponíveis ao órgão municipal competente e a outras autoridades informações completas sobre a realização das ações sob sua responsabilidade.

Art. 34. Os acordos setoriais ou termos de compromisso referidos no inciso IV do **caput** do art. 31 e no § 1º do art. 33 podem ter abrangência nacional, regional, estadual ou municipal.

§ 1º Os acordos setoriais e termos de compromisso firmados em âmbito nacional têm prevalência sobre os firmados em âmbito regional ou estadual, e estes sobre os firmados em âmbito municipal.

§ 2º Na aplicação de regras concorrentes consoante o § 1º, os acordos firmados com menor abrangência geográfica podem ampliar, mas não abrandar, as medidas de proteção ambiental constantes nos acordos setoriais e termos de compromisso firmados com maior abrangência geográfica.

Art. 35. Sempre que estabelecido sistema de coleta seletiva pelo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos e na aplicação do art. 33, os consumidores são obrigados a:

- I - acondicionar adequadamente e de forma diferenciada os resíduos sólidos gerados;
- II - disponibilizar adequadamente os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis para coleta ou devolução.

Parágrafo único. O poder público municipal pode instituir incentivos econômicos aos consumidores que participam do sistema de coleta seletiva referido no **caput**, na forma de lei municipal.

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

I - adotar procedimentos para reaproveitar os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis oriundos dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos;

II - estabelecer sistema de coleta seletiva;

III - articular com os agentes econômicos e sociais medidas para viabilizar o retorno ao ciclo produtivo dos resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis oriundos dos serviços de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos;

IV - realizar as atividades definidas por acordo setorial ou termo de compromisso na forma do § 7º do art. 33, mediante a devida remuneração pelo setor empresarial;

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

VI - dar disposição final ambientalmente adequada aos resíduos e rejeitos oriundos dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos.

§ 1º Para o cumprimento do disposto nos incisos I a IV do **caput**, o titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos priorizará a organização e o funcionamento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, bem como sua contratação.

§ 2º A contratação prevista no § 1º é dispensável de licitação, nos termos do [inciso XXVII do art. 24 da Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993](#).

## CAPÍTULO IV

### DOS RESÍDUOS PERIGOSOS

Art. 37. A instalação e o funcionamento de empreendimento ou atividade que gere ou opere com resíduos perigosos somente podem ser autorizados ou licenciados pelas autoridades competentes se o responsável comprovar, no mínimo, capacidade técnica e econômica, além de condições para prover os cuidados necessários ao gerenciamento desses resíduos.

Art. 38. As pessoas jurídicas que operam com resíduos perigosos, em qualquer fase do seu gerenciamento, são obrigadas a se cadastrar no Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos.

§ 1º O cadastro previsto no **caput** será coordenado pelo órgão federal competente do Sisnama e implantado de forma conjunta pelas autoridades federais, estaduais e municipais.

§ 2º Para o cadastramento, as pessoas jurídicas referidas no **caput** necessitam contar com responsável técnico pelo gerenciamento dos resíduos perigosos, de seu próprio quadro de funcionários ou contratado, devidamente habilitado, cujos dados serão mantidos atualizados no cadastro.

§ 3º O cadastro a que se refere o **caput** é parte integrante do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais e do Sistema de Informações previsto no art. 12.

Art. 39. As pessoas jurídicas referidas no art. 38 são obrigadas a elaborar plano de gerenciamento de resíduos perigosos e submetê-lo ao órgão competente do Sisnama e, se couber, do SNVS, observado o conteúdo mínimo estabelecido no art. 21 e demais exigências previstas em regulamento ou em normas técnicas.

§ 1º O plano de gerenciamento de resíduos perigosos a que se refere o **caput** poderá estar inserido no plano de gerenciamento de resíduos a que se refere o art. 20.

§ 2º Cabe às pessoas jurídicas referidas no art. 38:

I - manter registro atualizado e facilmente acessível de todos os procedimentos relacionados à implementação e à operacionalização do plano previsto no **caput**;

II - informar anualmente ao órgão competente do Sisnama e, se couber, do SNVS, sobre a quantidade, a natureza e a destinação temporária ou final dos resíduos sob sua responsabilidade;

III - adotar medidas destinadas a reduzir o volume e a periculosidade dos resíduos sob sua responsabilidade, bem como a aperfeiçoar seu gerenciamento;

IV - informar imediatamente aos órgãos competentes sobre a ocorrência de acidentes ou outros sinistros relacionados aos resíduos perigosos.

§ 3º Sempre que solicitado pelos órgãos competentes do Sisnama e do SNVS, será assegurado acesso para inspeção das instalações e dos procedimentos relacionados à implementação e à operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos perigosos.

§ 4º No caso de controle a cargo de órgão federal ou estadual do Sisnama e do SNVS, as informações sobre o conteúdo, a implementação e a operacionalização do plano previsto no **caput** serão repassadas ao poder público municipal, na forma do regulamento.

Art. 40. No licenciamento ambiental de empreendimentos ou atividades que operem com resíduos perigosos, o órgão licenciador do Sisnama pode exigir a contratação de seguro de responsabilidade civil por danos causados ao meio ambiente ou à saúde pública, observadas as regras sobre cobertura e os limites máximos de contratação fixados em regulamento.

Parágrafo único. O disposto no **caput** considerará o porte da empresa, conforme regulamento.

Art. 41. Sem prejuízo das iniciativas de outras esferas governamentais, o Governo Federal deve estruturar e manter instrumentos e atividades voltados para promover a descontaminação de áreas órfãs.

Parágrafo único. Se, após descontaminação de sítio órfão realizada com recursos do Governo Federal ou de outro ente da Federação, forem identificados os responsáveis pela contaminação, estes ressarcirão integralmente o valor empregado ao poder público.

## CAPÍTULO V

### DOS INSTRUMENTOS ECONÔMICOS

Art. 42. O poder público poderá instituir medidas indutoras e linhas de financiamento para atender, prioritariamente, às iniciativas de:

I - prevenção e redução da geração de resíduos sólidos no processo produtivo;

II - desenvolvimento de produtos com menores impactos à saúde humana e à qualidade ambiental em seu ciclo de vida;

III - implantação de infraestrutura física e aquisição de equipamentos para cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda;

IV - desenvolvimento de projetos de gestão dos resíduos sólidos de caráter intermunicipal ou, nos termos do inciso I do **caput** do art. 11, regional;

V - estruturação de sistemas de coleta seletiva e de logística reversa;

VI - descontaminação de áreas contaminadas, incluindo as áreas órfãs;

VII - desenvolvimento de pesquisas voltadas para tecnologias limpas aplicáveis aos resíduos sólidos;

VIII - desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos.

Art. 43. No fomento ou na concessão de incentivos creditícios destinados a atender diretrizes desta Lei, as instituições oficiais de crédito podem estabelecer critérios diferenciados de acesso dos beneficiários aos créditos do Sistema Financeiro Nacional para investimentos produtivos.

Art. 44. A União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, no âmbito de suas competências, poderão instituir normas com o objetivo de conceder incentivos fiscais, financeiros ou creditícios, respeitadas as limitações da [Lei Complementar nº 101, de 4 de maio de 2000](#) (Lei de Responsabilidade Fiscal), a:

I - indústrias e entidades dedicadas à reutilização, ao tratamento e à reciclagem de resíduos sólidos produzidos no território nacional;

II - projetos relacionados à responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos, prioritariamente em parceria com cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda;

III - empresas dedicadas à limpeza urbana e a atividades a ela relacionadas.

Art. 45. Os consórcios públicos constituídos, nos termos da [Lei nº 11.107, de 2005](#), com o objetivo de viabilizar a descentralização e a prestação de serviços públicos que envolvam resíduos sólidos, têm prioridade na obtenção dos incentivos instituídos pelo Governo Federal.

Art. 46. O atendimento ao disposto neste Capítulo será efetivado em consonância com a [Lei Complementar nº 101, de 2000](#) (Lei de Responsabilidade Fiscal), bem como com as diretrizes e objetivos do respectivo plano plurianual, as metas e as prioridades fixadas pelas leis de diretrizes orçamentárias e no limite das disponibilidades propiciadas pelas leis orçamentárias anuais.

## CAPÍTULO VI

### DAS PROIBIÇÕES

Art. 47. São proibidas as seguintes formas de destinação ou disposição final de resíduos sólidos ou rejeitos:

I - lançamento em praias, no mar ou em quaisquer corpos hídricos;

II - lançamento **in natura** a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração;

III - queima a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para essa finalidade;

IV - outras formas vedadas pelo poder público.

§ 1º Quando decretada emergência sanitária, a queima de resíduos a céu aberto pode ser realizada, desde que autorizada e acompanhada pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e, quando couber, do Suasa.

§ 2º Assegurada a devida impermeabilização, as bacias de decantação de resíduos ou rejeitos industriais ou de mineração, devidamente licenciadas pelo órgão competente do Sisnama, não são consideradas corpos hídricos para efeitos do disposto no inciso I do **caput**.

Art. 48. São proibidas, nas áreas de disposição final de resíduos ou rejeitos, as seguintes atividades:

I - utilização dos rejeitos dispostos como alimentação;

II - catação, observado o disposto no inciso V do art. 17;

III - criação de animais domésticos;

IV - fixação de habitações temporárias ou permanentes;

V - outras atividades vedadas pelo poder público.

Art. 49. É proibida a importação de resíduos sólidos perigosos e rejeitos, bem como de resíduos sólidos cujas características causem dano ao meio ambiente, à saúde pública e animal e à sanidade vegetal, ainda que para tratamento, reforma, reúso, reutilização ou recuperação.

#### TÍTULO IV

#### DISPOSIÇÕES TRANSITÓRIAS E FINAIS

Art. 50. A inexistência do regulamento previsto no § 3º do art. 21 não obsta a atuação, nos termos desta Lei, das cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis.

Art. 51. Sem prejuízo da obrigação de, independentemente da existência de culpa, reparar os danos causados, a ação ou omissão das pessoas físicas ou jurídicas que importe inobservância aos preceitos desta Lei ou de seu regulamento sujeita os infratores às sanções previstas em lei, em especial às fixadas na [Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998](#), que “dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências”, e em seu regulamento.

Art. 52. A observância do disposto no **caput** do art. 23 e no § 2º do art. 39 desta Lei é considerada obrigação de relevante interesse ambiental para efeitos do [art. 68 da Lei nº 9.605, de 1998](#), sem prejuízo da aplicação de outras sanções cabíveis nas esferas penal e administrativa.

Art. 53. O § 1º do art. 56 da Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, passa a vigorar com a seguinte redação:

[“Art. 56. ....”](#)

§ 1º Nas mesmas penas incorre quem:

I - abandona os produtos ou substâncias referidos no **caput** ou os utiliza em desacordo com as normas ambientais ou de segurança;

II - manipula, acondiciona, armazena, coleta, transporta, reutiliza, recicla ou dá destinação final a resíduos perigosos de forma diversa da estabelecida em lei ou regulamento.

....." (NR)

Art. 54. A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, observado o disposto no § 1º do art. 9º, deverá ser implantada em até 4 (quatro) anos após a data de publicação desta Lei.

Art. 55. O disposto nos [arts. 16](#) e [18](#) entra em vigor 2 (dois) anos após a data de publicação desta Lei.

Art. 56. A logística reversa relativa aos produtos de que tratam os incisos V e VI do **caput** do art. 33 será implementada progressivamente segundo cronograma estabelecido em regulamento.

Art. 57. Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 2 de agosto de 2010; 189º da Independência e 122º da República.

LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

*Rafael Thomaz Favetti*

*Guido Mantega*

*José Gomes Temporão*

*Miguel Jorge*

*Izabella Mônica Vieira Teixeira*

*João Reis Santana Filho*

*Marcio Fortes de Almeida*

*Alexandre Rocha Santos Padilha*