

**ELIZABETE HARUMI HAMAGUCHI  
JÚLIA VANSETTI MIRANDA  
TAMARA BARBOSA GASPAR**

**PROPOSIÇÃO E ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA O TRANSPORTE,  
TRATAMENTO E DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM  
SÃO PAULO**

São Paulo  
2012

**ELIZABETE HARUMI HAMAGUCHI  
JÚLIA VANSETTI MIRANDA  
TAMARA BARBOSA GASPAR**

**PROPOSIÇÃO E ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA O TRANSPORTE,  
TRATAMENTO E DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM  
SÃO PAULO**

Orientador: Prof. Dr. Luís César de Souza Pinto

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

São Paulo  
2012

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Hamaguchi, Elizabete Harumi**  
**Proposição e análise de alternativas para transporte, tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos em São Paulo /**  
**E.H. Hamaguchi, J.V. Miranda, T.B. Gaspar. -- São Paulo, 2012.**  
**133 p.**

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

**1. Resíduos urbanos 2. Hidrovias 3. Incineração de resíduos urbanos I. Miranda, Júlia Vansetti II. Gaspar, Tamara Barbosa III. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental IV. t.**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao orientador Prof. Dr. Luís César de Souza Pinto, pelo tempo, paciência, atenção e orientação a nós concedidos durante todo o trabalho. Seu entusiasmo foi determinante para a qualidade do trabalho.

À Profa. Dra Dione Mari Morita e ao Prof. Dr. Renato Zambon pelo acompanhamento e dedicação na coordenação dos trabalhos de formatura no âmbito da Engenharia Ambiental, 2012.

Ao Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Rui Carlos Botter e Pedro Vitória Júnior, pela atenção e contribuição dispensados a este trabalho de formatura.

Ao Departamento Hidroviário do Estado de São Paulo pela atenção concedida e

fornecimento de dados importantes para a estruturação deste trabalho de formatura.

À Empresa Metropolitana de Água e Energia, em nome do Eng. Carlos Alberto Rodrigues da Silva e da Enga. Regina Alice de Souza Pires, pelas informações e explicações sobre todo o processo de tratamento de resíduos em UREs.

Ao CENBIO, em nome de Dra. Cristiane Lima Cortez e Dra. Suanie Teixeira Coelho, pela atenção, pelas informações e documentos indicados e fornecidos relacionados às emissões e energia produzidos em UREs.

Ao IPT, em nome de Nestor Kenji Yoshikawa, Maria Aparecida Padilha Gandara Mendes e Cláudia Echevenguá Teixeira, pela atenção e pelas informações.

Às nossas famílias pelo apoio e carinho durante toda a nossa vida. Este trabalho e toda esta etapa de formação não seria possível sem vocês.

A Fábio Cunha Lofrano e Victor Meireles de Sá e Silva pelo apoio e compreensão nos momentos de dificuldade. Pelas sugestões, opiniões e mimos quando mais precisamos deles.

Aos amigos pela paciência e por ainda gostarem de nós mesmo após tantas recusas a convites sociais.

À Carlota, por nos alegrar com o seu bom dia peculiar.

## ÍNDICE

RESUMO EXECUTIVO .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xi
1 INTRODUÇÃO, OBJETIVO E IMPORTÂNCIA DO TEMA .....	1
2 LEVANTAMENTO DOS DADOS .....	3
2.1 SITUAÇÃO ATUAL DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM SÃO PAULO .....	3
2.1.1 COLETA DOMICILIAR E SELETIVA .....	5
2.1.2 ECOPONTOS.....	6
2.1.3 ESTAÇÃOES DE TRANSBORDO.....	6
2.1.4 ATERROS SANITÁRIOS.....	8
2.1.5 EMISSÕES EM ATERROS SANITÁRIOS.....	10
2.1.6 IMPACTOS AMBIENTAIS DE ATERROS SANITÁRIOS .....	12
2.2 NOVAS ALTERNATIVAS PARA O TRANSPORTE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA CIDADE DE SÃO PAULO .....	13
2.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	15
2.2.2 ESCOLHA DA EMBARCAÇÃO E DA FORMA DE TRANSPORTE DE CARGA NAS BARCAÇAS .....	17
2.2.3 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO LOGÍSTICO E EXEMPLO .....	19
2.2.4 EMISSÕES NO TRANSPORTE .....	23
2.2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS .....	24
2.2.6 IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E MEDIDAS MITIGADORAS E MAXIMIZADORAS .....	30
2.3 INCINERAÇÃO COM POSTERIOR GERAÇÃO DE ENERGIA .....	35
2.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO .....	37
2.3.2 EMISSÕES DO PROCESSO DE INCINERAÇÃO.....	41
2.3.3 IMPACTOS AMBIENTAIS .....	46
2.4 DADOS ECONÔMICO-OPERACIONAIS.....	47
3 ANÁLISE DOS DADOS.....	52
3.1 SITUAÇÃO ATUAL DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM SÃO PAULO .....	52
3.1.1 EMISSÕES EM ATERROS SANITÁRIOS.....	52
3.1.2 IMPACTOS AMBIENTAIS DE ATERROS SANITÁRIOS .....	53
3.2 NOVAS ALTERNATIVAS PARA O TRANSPORTE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA CIDADE DE SÃO PAULO .....	53
3.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	53
3.2.2 ESCOLHA DA EMBARCAÇÃO E DA FORMA DE TRANSPORTE DE CARGA NAS BARCAÇAS .....	53
3.2.3 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO LOGÍSTICO E EXEMPLO .....	53
3.2.4 EMISSÕES NO TRANSPORTE .....	54
3.2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS .....	54
3.3 INCINERAÇÃO COM POSTERIOR GERAÇÃO DE ENERGIA .....	56
3.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO .....	56
3.3.2 EMISSÕES DO PROCESSO DE INCINERAÇÃO.....	57
3.4 DADOS ECONÔMICO-OPERACIONAIS.....	57
4 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	59
5 ALTERNATIVAS PARA SOLUÇÃO DO PROBLEMA .....	60

5.1 ALTERNATIVA 0: MANTER A SOLUÇÃO ATUAL .....	60
5.2 ALTERNATIVA 1: USO DE HIDROVIAS COMO ALTERNATIVA DE MODAL DE TRANSPORTE .....	60
5.3 ALTERNATIVA 2: INCINERAÇÃO DO LIXO EM URES .....	61
5.3.1 ALTERNATIVA 2A: INCINERAÇÃO E TRANSPORTE DA ESCÓRIA POR RODOVIA.....	62
5.3.2 ALTERNATIVA 2B: INCINERAÇÃO E TRANSPORTE DA ESCÓRIA POR HIDROVIA E RODOVIA .....	62
6 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO .....	64
7 METODOLOGIA .....	66
7.1 PRODUÇÃO DE LIXO .....	66
7.2 DIMENSIONAMENTO LOGÍSTICO .....	66
7.3 CUSTOS OPERACIONAIS .....	68
7.3.1 MODELO PARA TRANSPORTE HIDROVIÁRIO: .....	68
7.3.2 MODELO PARA TRANSPORTE RODOVIÁRIO .....	72
7.3.3 MODELO PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS .....	75
7.3.4 MODELO PARA DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	75
7.3.5 GERAÇÃO DE ENERGIA.....	76
7.3.6 EMISSÃO DE CO <sub>2</sub> .....	76
7.4 RESULTADOS.....	77
7.4.1 Dimensionamento de frota.....	77
7.4.2 Custos de transporte .....	78
7.4.3 Emissões de CO <sub>2</sub> .....	81
8 ESCOLHA DA SOLUÇÃO.....	83
9 ESPECIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO.....	89
10 CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÕES.....	95
11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97
12 ANEXOS .....	103
12.1 INSTITUIÇÕES INTERVENIENTES NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL	103
12.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, GEOMORFOLÓGICOS- PEDOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS .....	104
12.2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	104
12.2.2 ASPECTOS GEOTÉCNICOS .....	105
12.2.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS-PEDOLÓGICOS.....	106
12.2.4 ASPECTOS PEDOLÓGICOS-HIDROLÓGICOS .....	106
12.3 FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE TOXICIDADE - FTEQ PARA CONGÊNERES DE DIOXINAS E FURANOS .....	108
12.4 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DE TEIXEIRA (2007).....	109
12.5 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO CILIP (2010) .....	115
12.6 TABELAS DE RESULTADOS.....	125
12.7 MODELO FINANCEIRO.....	1

## RESUMO EXECUTIVO

O presente trabalho tem como objetivo subsidiar a análise de alternativas para a logística dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no município de São Paulo no que tange a seu transporte, tratamento e destinação final. Dessa forma, propõem-se diferentes cenários considerando o aproveitamento energético desses resíduos através de Usinas de Recuperação Energética, associado ou não à utilização do modal hidroviário em substituição ao rodoviário para o transporte dos resíduos entre as estações de transbordo Santo Amaro e Ponte Pequena e o aterro de Caiueiras.

O tema do transporte, tratamento e destinação do lixo urbano foi escolhido para este Trabalho de Formatura devido ao pouco tempo de vida útil que resta aos aterros sanitários em operação na metrópole e à escassez de áreas para a construção de novos. Além disso, a questão envolve outros problemas, como a elevada distância de transporte dos resíduos até o destino final e o significativo consumo de combustível e consequente emissão de poluentes decorrentes da utilização exclusiva do modal rodoviário no transporte dos RSUs. A este aspecto, estão também relacionados os inúmeros efeitos negativos que afetam o tráfego da cidade e a saúde da população.

A decisão pelo modal hidroviário como alternativa ao rodoviário resulta da percepção de que as características hidrográficas da metrópole a configuram quase como uma “ilha”, circundada pelos Rios Pinheiros, Tietê e pelas Represas de Taiaçupeba, Billings e Guarapiranga. De fato, duas das três Estações de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos da cidade ficam próximas aos rios Tietê e Pinheiros.

Por sua vez, a proposta das Usinas de Recuperação de Energia (UREs) para o tratamento e redução do material que vai para aterros reflete a tendência internacional de incineração dos RSUs com geração de energia, que já contabiliza cerca de 800 plantas ao redor do mundo e conta com tecnologia consagrada para reduzir a emissão de poluentes a níveis seguros. Este processo diminui, ainda, a necessidade de aterros em 76%, já que somente 24% da massa de RSU produzida restará ao final da incineração (como cinzas) e será enviada a aterro.

Este estudo será aplicado aos resíduos sólidos atualmente transportados até as Estações de Transbordo Santo Amaro e Ponte Pequena. As alternativas propostas trazem benefícios ambientais, aqui representados pela redução dos volumes de CO<sub>2</sub> emitidos, ou econômicos, como a diminuição dos gastos operacionais com esses RSUs.

Assim, para avaliar os impactos dessas mudanças, são propostos cenários comparativos contemplando: (0) a situação atual (de transporte exclusivamente rodoviário e destinação aos aterros), (1) uma nova situação com uso de hidrovias como modal alternativo nos trechos viáveis, associado ao transporte rodoviário nos outros, mas mantendo a destinação a aterros, e, por fim, outras duas alternativas contemplando a utilização de Usinas de Recuperação Energética localizadas próximas às Estações de Transbordo escolhidas, mas considerando o modal rodoviário (2A), e o hidroviário nos trechos cabíveis (2B).

Os critérios de avaliação dos cenários são quantificados com base em

procedimentos de cálculos logísticos, que foram por vezes adaptados para atender o objetivo do presente estudo, como as fornecidas pelo CILIP, Centro de Inovação em Logística e Infraestrutura Portuária e Teixeira (2007). Adicionalmente, a análise ambiental considera a quantificação das emissões, baseada na metodologia desenvolvida por Iqbal e Shil (2005) e Paro, Costa e Coelho (2008).

Feita essa avaliação, são atribuídas notas tendo como base a melhora ou piora dos parâmetros em relação aos da situação atual (base). Por último, a avaliação da melhor alternativa para a logística dos resíduos urbanos na cidade de São Paulo é escolhida considerando a heterogeneidade da percepção dos diferentes grupos decisores relacionados à questão abordada, adotando para tal finalidade a ferramenta de Análise de Decisão Multicritério (ADMC).

Destarte, os resultados das análises revelaram que, considerando-se os custos de operação do transporte e as emissões de CO<sub>2</sub>, a melhor decisão seria aproveitar energeticamente os resíduos por meio da incineração em UREs e substituindo o modal rodoviário pelo hidroviário, nos trechos cabíveis, para o transporte das cinzas até a estação de transbordo junto ao Cebolão e daí para o aterro por transporte rodoviário.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de coleta, transferência, armazenagem e destinação final do lixo urbano em São Paulo.....	4
Figura 2: Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares do município de São Paulo (Fonte: Ecourbis apud CILIP, 2010).....	4
Figura 3: Distribuição das subprefeituras entre as empresas Loga e Ecourbis (Fonte: PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2012).....	5
Figura 4: Localização dos Ecopontos na cidade (Fonte: Google Earth apud CILIP, 2010) .....	6
Figura 5: Caminhão coleto descarregando os resíduos sólidos para o fosso na estação de transbordo (Fonte: Ecourbis apud CILIP, 2010) .....	7
Figura 6: Localização das Estações de Transbordo (Fonte: Google Earth apud CILIP, 2010) .....	7
Figura 7: Localização dos Aterros e Estações de Transbordo (Fonte: DER apud CILIP, 2010) .....	8
Figura 8: Aterro São João (CTL) (Fonte: ECOURBIS, 2012) .....	9
Figura 9: Aterro Caieiras (Fonte: ESSENCIS, 2012) .....	10
Figura 10: Transporte do resíduos sólidos em Liège .....	14
Figura 11: Terminal para descarga dos contêineres em Blaringhem, terminal de destino das cargas que saem de Lille (Fonte: DRAPIER, 2006 apud CILIP, 2010) ..	14
Figura 12: Transporte de resíduos sólidos pelo rio Tamisa (Fonte: CORY ENVIRONMENTAL, 2010 apud CILIP (2010)) .....	15
Figura 13: Localização das Estação de Transbordo Ponte Pequena e Santo Amaro (Fonte: GoogleMaps) .....	16
Figura 14: Resumo dos gargalos dos trechos (Fonte: GoogleMaps) .....	17
Figura 15 - Plano de carregamento dos contêineres transportados na chata – Vista Superior (Fonte: CILIP, 2010) .....	18
Figura 16 - Plano de carregamento dos contêineres transportados na chata - Vista Lateral (Fonte: CILIP, 2010) .....	19
Figura 17: Cenário 1A (baseada em figura retirada de CILIP, 2010) .....	21
Figura 18: Sugestão para localização de terminal (Fonte: Googlemaps) .....	21
Figura 19: Conexões intermodais (Fonte: Googlemaps) .....	22
Figura 20: Sub-regiões hidrográficas que compõem a bacia do Alto Tietê .....	25
Figura 21: Principais áreas protegidas pela legislação ambiental na RMSP (Fonte: ALVES E OLIVEIRA, 2005 apud AMBIENTAIS, 2011) .....	27
Figura 22: Uso do solo no trecho entre Edgar de Souza e Estação de Transbordo Ponte Pequena (Fonte: PAT/FUSP, 2009 apud AMBIENTAIS, 2011) .....	29
Figura 23: Uso do solo no trecho entre Cebolão e Estação de Transbordo Santo Amaro (Fonte: PAT/FUSP, 2009 apud AMBIENTAIS, 2011) .....	30
Figura 24: Utilização dos resíduos sólidos com potencial de geração de energia na Europa (Fonte: CORY ENVIRONMENTAL, 2010 apud CILIP, 2011)) .....	35
Figura 25: Crescimento do uso de energia recuperada do resíduos sólidos na Europa (Fonte: CORY ENVIRONMENTAL, 2010 apud CILIP, 2010) .....	36
Figura 26: Planta de Belvedere (Fonte: GoogleMaps, <a href="http://www.letsrecycle.com">www.letsrecycle.com</a> e Fichtner) .....	36
Figura 27: Arranjo típico de uma URE (EMAE, 2012) .....	37
Figura 28: Processo de tratamento térmico de resíduos sólidos em URE (Fonte: adaptado de EMAE, 2012) .....	38

Figura 29: Processo de tratamento das escórias da incineração de RSU .....	39
Figura 30: Escória (Fonte: GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011) .....	39
Figura 31: URE em Tóquio, Japão (Fonte: EMAE, 2012) .....	40
Figura 32: Impactos ambientais quanto à natureza, duração e relevância .....	56
Figura 33: Fluxograma da alternativa 0 (cenário atual). ....	60
Figura 34: configuração da hidrovia suposta implantada para este cenário.....	61
Figura 35: Fluxograma da alternativa 1 (transporte hidroviário e rodoviário) .....	61
Figura 36: Fluxograma da alternativa 2A (URE associada ao transporte rodoviário) 62	
Figura 37: Fluxograma da alternativa 2B (URE associada ao transporte hidroviário e rodoviário) .....	63
Figura 38: Gráfico da frota de cada cenário .....	77
Figura 39: Custos com transporte .....	78
Figura 40: Custos com transporte, tratamento e disposição dos resíduos sólidos urbanos .....	79
Figura 41: Consideração da venda de energia.....	80
Figura 42: Resultado econômico.....	80
Figura 43: Gráfico de emissões de CO <sub>2</sub> de cada cenário.....	81
Figura 44: Análise de sensibilidade .....	85
Figura 45: Análise de sensibilidade com opinião de cada grupo decisore .....	85
Figura 46: Custos de transporte .....	93
Figura 47: Emissões.....	94
Figura 45: Perfil litológico de um poço na RMSP, onde predominam sedimentos arenoso-argilosos de idade terciária das Formações São Paulo e Itaquaquecetuba, que capeiam o embasamento gnáissico de idade pré-cambriana .....	104

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Destinação dos resíduos sólidos por tipo de tratamento, município de São Paulo, 2002 (Fonte: Limpurb apud CILIP, 2010) .....	4
Tabela 2: Dimensões - Contêiner Padrão – Tampa Aberta - 20 pés (Fonte: ADUANEIRA, 2012) .....	18
Tabela 3: Resultados de avaliação quantitativa para o Cenário 1A (Fonte: CILIP (2010)).....	23
Tabela 4: Premissas para cálculo de emissões (Fonte: CILIP (2010)).....	23
Tabela 5: Emissões resultantes da queima de 1 kg de diesel de um motor (HASEGAWA, 2000 and CHALMERS 1991 of SimaPro apud IQBAL; SHIL 2005)...	24
Tabela 6: Poluentes relacionados aos impactos .....	24
Tabela 7: Valores de temperaturas máximas e mínimas e de precipitações pluviométricas para a região de São Paulo, no período de 1961 a 1990 (Fonte: Normais Climatológicas; Secretaria Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia apud AMBIENTAIS, 2011) .....	26
Tabela 8: Parâmetros de qualidade do ar registrados em 2002 (Fonte: CETESB, 2002 apud AMBIENTAIS, 2011).....	28
Tabela 9: Síntese dos impactos ambientais (adaptada de AMBIENTAIS (2011))....	31
Tabela 10: Outros impactos ambientais levantados.....	32
Tabela 11: Medidas mitigadoras e maximizadoras por grupos de impactos considerados semelhantes (adaptada de AMBIENTAIS (2011)).....	33
Tabela 12: Programas ambientais propostos (adaptada de AMBIENTAIS (2011))... <td>34</td>	34
Tabela 13: Comparação entre aterro e usinas de incineração (FONTE: Paro; Costa e Coelho, 2008).....	40
Tabela 14: Aterro x URE - produção de energia elétrica, emissão de CO <sub>2</sub> e preço considerado da energia produzida. ....	41
Tabela 15: Limites de Emissão para Poluentes a serem Monitorados .....	42
Tabela 16: Limites de Emissão para Substâncias Inorgânicas Específicas, valores.	43
Tabela 17: Limites de Emissão de Dioxinas e Furanos, valores médios obtidos .....	43
Tabela 18: Limites de Emissão para Monóxido de Carbono (CO) a serem .....	43
Tabela 19: Padrões de lançamento de efluentes (Fonte: Resolução 430/ 2011) .....	45
Tabela 20: Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A) (Fonte: NBR nº 10.151/2000, da ABNT).....	46
Tabela 21: Tecnologias para redução das emissões provenientes da incineração de uma URE (Fonte: DAKALOPOULOS; BADR; PROBERT, 1997 apud SUZANO, 2010) .....	47
Tabela 22: População do município de São Paulo (IBGE, 2012) .....	47
Tabela 23: Panorama dos RSUs no município de São Paulo (ABRELPE, 2011) .....	47
Tabela 24: Caminhão adotado para o transporte de resíduos nos trechos rodoviários .....	48
Tabela 25: Custos com mão de obra para o transporte rodoviário.....	48
Tabela 26: Valores dos itens considerados no cálculo do licenciamento do veículo e seguro .....	48
Tabela 27: Custos variáveis por quilômetros percorridos considerados no cálculo operacional dos trechos rodoviários .....	49
Tabela 28: Dados operacionais da rodovia. (Fonte: CILIP, 2010) .....	49
Tabela 29: Distâncias rodoviárias. (Fonte: CILIP, 2010). .....	50
Tabela 30: Distâncias hidroviárias. Fonte: (CILIP, 2010). .....	50
Tabela 31: Dados operacionais da rodovia. (Fonte: CILIP, 2010) .....	50

Tabela 32: Dados operacionais da hidrovia. (Fonte: CILIP, 2010) .....	50
Tabela 33: Velocidades e autonomia rodoviários em cada período. (Fonte: CILIP, 2010) .....	51
Tabela 34: Capacidade do contêiner.....	51
Tabela 35: Itens considerados nos cálculos de custos operacionais de transporte de RSUs.....	64
Tabela 36: Itens considerados nos custos operacionais de tratamento e destinação de RSUs .....	65
Tabela 37: Valores de compra dos equipamentos .....	70
Tabela 38: Gradação das notas para os critérios de avaliação.....	83
Tabela 39: Notas atribuídas aos critérios por cenário .....	84
Tabela 40: Pesos para os quais a nota da alternativa se iguala à nota do cenário atual .....	86
Tabela 41: Pesos atribuídos aos critérios por cada grupo decisor.....	87
Tabela 42: Notas finais dos grupos decisores por cenário, com destaque para a alternativa vencedora .....	87
Tabela 43: Projeção da produção de RSUs para o período estudado .....	90
Tabela 44: Geração e venda de energia ao fim dos 25 anos de horizonte de projeto. ....	91
Tabela 45: Custo do transporte hidroviário a partir de cada Estação de Transbordo até o Cebolão por dia no primeiro ano .....	91
Tabela 46: Custo do transporte hidroviário a partir de cada Estação de Transbordo até o Cebolão ao final do período estudado.....	91
Tabela 47: Custo hidroviário por dia para cada estação de transbordo .....	91
Tabela 48: Detalhamento do custo de transporte hidroviário considerando todo o período de projeto .....	92
Tabela 49: Detalhamento do custo de transporte rodoviário considerando a soma dos valores durante todo o período de projeto .....	92
Tabela 50: Fatores de Equivalência de Toxicidade - FTEQ para Congêneres de dioxinas e .....	108
Tabela 51: Energia gerada e receita com a sua venda por ano .....	125
Tabela 52: Custos com transporte hidroviário .....	126
Tabela 53: Custo com transporte no trecho rodoviário.....	127
Tabela 54:Custos com tratamento e destinação dos resíduos.....	128
Tabela 55: Modelo financeiro (1/4) .....	1
Tabela 56: Modelo financeiro (2/4) .....	2
Tabela 57: Modelo financeiro (3/4) .....	3
Tabela 58: Modelo financeiro (4/4) .....	4
Tabela 59: Emissões (1/4).....	5
Tabela 60: Emissões (2/4).....	5
Tabela 61: Emissões (3/4).....	5
Tabela 62: Emissões (4/4).....	6

## **LISTA DE SÍMBOLOS**

- ABEN Associação Brasileira de Energia Nuclear  
ADM C Análise de Decisão Multicritério  
AIA Avaliação de Impacto Ambiental  
CDR Centro de Disposição de Resíduos  
CENBIO Centro Nacional de Referência em Biomassa  
CTL Central de Tratamento de Resíduos Leste  
CTR Centro de Tratamento de Resíduos  
DH Departamento Hidroviário  
EIA Estudo de Impacto Ambiental  
EMAE Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A.  
GEE Gases de Efeito Estufa  
INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change  
MDL Mecanismo de Desenvolvimento Limpo  
PIANC Permanent International Association of Navigation Congresses (Agência Internacional de Navegação, ou AIPCN)  
PEMC Política Estadual de Mudanças Climáticas  
PNLT Plano Nacional de Logística e Transportes  
PNRS Política Nacional de Resíduos Sólidos  
RIMA Relatório de Impacto Ambiental  
RMSP Região Metropolitana de São Paulo  
RSU Resíduo Sólido Urbano  
UNESCO United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization  
UTE Usina Termoelétrica  
URE Usina de Recuperação Energética

## 1 INTRODUÇÃO, OBJETIVO E IMPORTÂNCIA DO TEMA

A cidade de São Paulo encontra-se frente a um cenário complexo em relação ao transporte, tratamento e destinação dos resíduos sólidos urbanos (RSUs). Por um lado, o município produz diariamente 17 mil toneladas de lixo que são destinadas, na maior parte, a aterros sanitários. Por outro, esses locais estão perto de atingir o limite de sua capacidade e as áreas para a construção de novos são escassas perto da mancha urbana, gerando a necessidade de se transportar o lixo por maiores distâncias, com aumento dos custos de transporte e das emissões de poluentes. Para agravar o problema, a geração de RSUs tende a acompanhar o crescimento da população e da renda, tornando a busca por uma solução tanto mais premente.

Frente à gravidade dessa questão no país, em agosto de 2010 foi aprovada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/ 2010), que determina que os poderes municipais e estaduais devam, em um prazo de dois anos, elaborar um plano de resíduos sólidos, contemplando metas de reciclagem e alternativas para a destinação final do lixo urbano de modo a acabar com os “lixões” (MINISTÉRIO DA CASA CIVIL, 2010), que são áreas de descarte que não empregam técnicas adequadas de proteção do meio ambiente (impermeabilização do solo, captação de chorume e metano, etc).

Paralelamente, estão em curso o PAC 2 (Programa de Aceleração do Crescimento) e o Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT), gerando um grande incentivo ao desenvolvimento da infraestrutura de transportes e impulsionando o modal hidroviário como uma alternativa de transporte que deve ser melhor explorada. Como exemplo de investimentos, podem ser citados o Ferroanel Metropolitano de São Paulo e a hidrovia Tietê Paraná, para a qual foram anunciados 1,7 bilhão de reais (CARVALHO, 2012).

Essas políticas citadas favorecem a alteração de elos cruciais da cadeia logística dos RSUs em São Paulo: tratamento, transporte e destinação do lixo. Todos esses fatores, somados ao fato de que a problemática dos resíduos sólidos é uma responsabilidade do município, coadunam para uma alteração no atual modelo de transporte e destinação de lixo em São Paulo.

### ***O Modal Hidroviário como Alternativa para o Transporte***

Neste contexto, existem também estudos de pré-viabilidade do transporte de cargas por hidrovia na Região Metropolitana de São Paulo, aproveitando as características hidrográficas da região, que a configuram quase como uma “ilha”, circundada pelos Rios Tietê, Pinheiros e pelas Represas Billings e Guarapiranga.

Destarte, a inclusão, ainda que parcial, do modal hidroviário no transporte de resíduos apresenta-se como uma alternativa interessante para o caso da metrópole, dado que os comboios hidroviários são mais eficientes no quesito massa transportada/combustível consumido (IQBAL; SHIL, 2005), provocando uma diminuição do consumo de diesel e, consequentemente, das emissões de material particulado e gases poluentes.

Além disso, a redução do transporte por modal rodoviário poderia contribuir para reduzir o intenso trânsito da cidade de São Paulo, diminuindo também o número de acidentes, de mortes e o desgaste das ruas e rodovias. Já a redução na emissão de poluentes geraria benefícios para a qualidade do ar, melhorando a qualidade de vida da população.

## ***Alternativa para o Tratamento Final: Usinas de Recuperação Energética – UREs***

Quanto ao tratamento dos resíduos sólidos não recicláveis, pode-se adotar a incineração em Usina de Recuperação Energética (URE) como forma de minimizar a demanda por aterros sanitários, como já acontece em diversas cidades do mundo, como Londres (Inglaterra), Paris (França) e Liège (Bélgica). Este tipo de solução permite reduzir em 75% a massa de resíduos (EMAE, 2012), além possibilitar a geração de energia elétrica.

Esta alternativa estaria em sintonia com a lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos, pois colabora com o adequado tratamento dos RSUs, especialmente dos inservíveis (aqueles que não podem ser reciclados), podendo ser aliada à reciclagem com a participação dos catadores, organizados em cooperativas ou associações – um modelo que está sendo exportado pelo Brasil para outros países em desenvolvimento. Embora este Trabalho de Formatura não trate das delicadas questões de Gestão Urbana em que o tema está inserido, elas não podem ser ignoradas, dada a clara inter-relação existente entre as questões técnicas e políticas e, sobretudo, por ser de responsabilidade dos governos municipais as tomadas de decisão concernentes à gestão dos RSUs.

### ***Importância do Tema***

A importância desses temas fica patente ao visualizar o panorama atual de estudos e projetos em andamento: por um lado, o Departamento Hidroviário do Estado de São Paulo já obteve o Estudo de Pré-Viabilidade do Hidroanel Metropolitano de São Paulo e caminha para o Estudo de Viabilidade, com crescente interesse na busca por solução nesta área. Por outro, a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo analisou a viabilidade ambiental de Usinas de Recuperação Energética, originando a Resolução SMA 079/2009; em seguida, a EMAE (Empresa Metropolitana de Águas e Energia S. A.) analisou a viabilidade técnica e econômica da implantação de uma usina, e prosseguem pesquisas nesta área em parceria com o CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa), avaliando o ciclo de vida (ACV) comparativo entre tecnologias de aproveitamento energético de resíduos sólidos.

### ***Objetivo do Trabalho***

O objetivo deste trabalho é propor e avaliar alternativas que contemplem a inclusão do modal hidroviário, de Usinas de Recuperação Energética ou de ambos na minimização dos problemas decorrentes da atual logística dos resíduos sólidos urbanos da cidade de São Paulo. A avaliação das alternativas propostas será feita com base em ferramentas de avaliação ambiental e econômica de diversos cenários que indicarão a viabilidade de cada alternativa na fase de operação e a quantificação de emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas a cada cenário, permitindo, assim, a escolha da alternativa mais viável.

## 2 LEVANTAMENTO DOS DADOS

O Levantamento de Dados foi baseado em diferentes reuniões com instituições ligadas ao tema do trabalho, que muito auxiliaram na compreensão do problema, no fornecimento de documentos e na indicação por material bibliográfico.

Para o estudo comparativo entre os modais rodoviário e hidroviário foi feito uso do Relatório de Estudos de Tráfego (CILIP, 2010), fornecido pelo Centro de Inovação em Logística e Infraestrutura Portuária da USP, além de reunião no IPT com especialista da área. O estudo ambiental tem por base o primeiro Relatório (CILIP, 2010) juntamente com o Relatório de Estudos Ambientais (AMBIENTAIS, 2011), obtido a partir do contato com o Departamento Hidroviário de São Paulo. Encontro com estudiosos da questão no IPT também auxiliou na compreensão do tema.

Na sequência, para alternativas de solução no âmbito do tratamento dos resíduos, foi contatada a Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A., EMAE e o Centro Nacional de Referência em Biomassa, CENBIO, que, conjuntamente, estão desenvolvendo estudos de comparação entre tecnologias de aproveitamento energético de RSUs por meio de Análise do Ciclo de Vida (ACV). A proposta da implantação de Usinas de Recuperação Energética, URE, será tratada em parte das alternativas de solução, conforme já mencionado, através de bibliografia pertinente.

Primeiramente será apresentado o estudo da situação atual quanto ao sistema de coleta, transporte, tratamento e destinação dos resíduos sólidos. Em seguida, serão abordados estudos sobre mudanças no sistema de transporte e inserção de tratamento dos resíduos sólidos antes da destinação do lixo, considerando o transporte hidroviário e usinas termoelétricas para o tratamento dos RSUs.

### 2.1 SITUAÇÃO ATUAL DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM SÃO PAULO

Nesse primeiro tópico do levantamento de dados, é feito um apanhado geral dos dados que compõem a situação em que se encontra São Paulo no que concerne à produção, coleta, transporte, tratamento e destinação do lixo urbano. Os dados foram obtidos a partir do Relatório de Estudos de Tráfego (CILIP, 2010), de suas fontes primárias, como Ecourbis e Prefeitura de São Paulo e de outros estudos realizados sobre a temática dos resíduos sólidos.

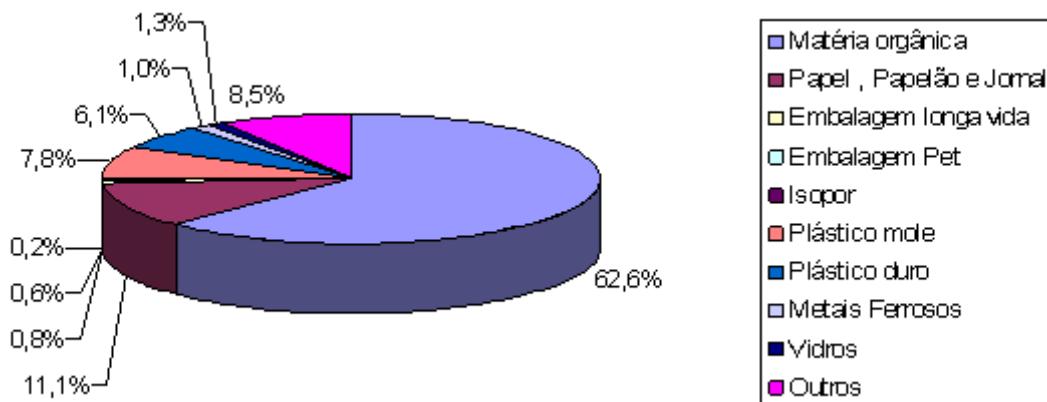
São considerados lixo urbano, os resíduos sólidos resultantes de atividades domésticas e comerciais. Segundo a Prefeitura de São Paulo (2012), na capital são gerados diariamente cerca de 17 mil toneladas de lixo, sendo 10 mil toneladas apenas de resíduos domiciliares, que são enviados para os dois aterros sanitários em operação que atendem a cidade de São Paulo (Caiieiras e São João).

A coleta é feita por caminhões coletores diretamente nos domicílios. Após isso, os caminhões seguem para a estação de transbordo, onde depositam o material e voltam às ruas para prosseguir com a coleta domiciliar. O transporte até o aterro sanitário, a partir das estações, é feito por caminhões maiores, como carretas. Segue abaixo um esquema que representa o caminho realizado pelos resíduos urbanos coletados.



**Figura 1: Sistema de coleta, transferência, armazenagem e destinação final do lixo urbano em São Paulo**

O principal componente do lixo urbano da cidade de São Paulo é material orgânico. A Figura 2 apresenta um gráfico que indica os principais resíduos e sua composição.



**Figura 2: Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares do município de São Paulo (Fonte: Ecourbis apud CILIP, 2010)**

Os resíduos sólidos domiciliares mostrados acima são levados para os aterros, mas outros tipos de resíduos, como hospitalares e industriais, são destinados a locais específicos para tratamento, conforme mostrado na Tabela 1.

**Tabela 1: Destinação dos resíduos sólidos por tipo de tratamento, município de São Paulo, 2002 (Fonte: Limpurb apud CILIP, 2010)**

Tipo de Tratamento	Destinação		
	Média Mensal (t)	Anual (t)	%
Município de São Paulo	553.348	6.640.160	100%
Aterro Sanitário e de Inertes	326.472	3.917.661	58,999%
Compostagem	40.896	490.750	7,391%
Incinerador Grupo B1 (1)	44	522	0,008%
Incinerador Animais Transbordo	49	590	0,009%
Transbordo	185.791	2.229.489	33,576%
Triagem	96	1.148	0,017%

(1) Incinerador Grupo B – são referentes aos medicamentos vencidos e quimioterápicos.

### 2.1.1 COLETA DOMICILIAR E SELETIVA

Coleta domiciliar é o sistema de recolhimento de resíduos domiciliares, realizado por uma equipe composta de um motorista e três coletores em caminhões que compactam o lixo para diminuir seu volume. Segundo a Ecourbis apud CILIP (2010), os caminhões têm capacidade de 12 t cada e fazem em média duas viagens por dia, uma pela manhã e outra à noite. A Prefeitura de São Paulo (2012) informa que a frota utilizada é de 500 veículos que percorrem diariamente uma área de 1.523 km<sup>2</sup>, atendendo uma população estimada de 11 milhões.

Também de acordo com a Prefeitura de São Paulo (2012), atualmente o serviço de coleta e transporte dos lixos urbanos até seu destino final é concedido às empresas Loga e Ecourbis. Há uma divisão de regiões de atendimento entre as duas empresas, sendo que a Loga atende as regiões Norte e Oeste da cidade, atuando em 13 subprefeituras e a Ecourbis atende as zonas Sul e Leste, agindo em 18 subprefeituras (Figura 3).



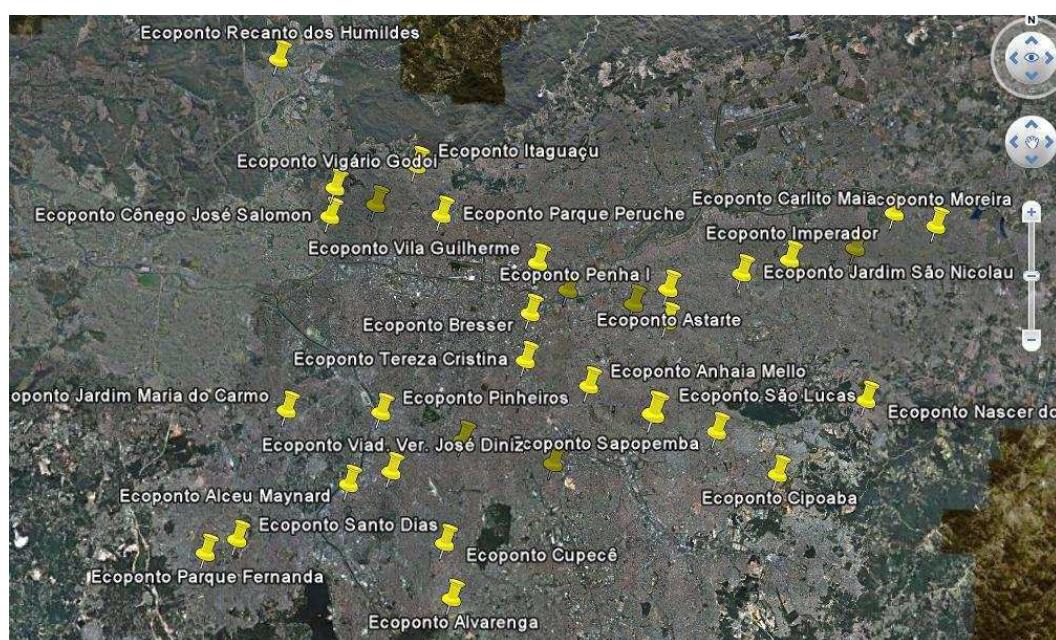
**Figura 3: Distribuição das subprefeituras entre as empresas Loga e Ecourbis (Fonte: PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2012)**

O serviço de coleta seletiva é feito em 75 dos 96 distritos do Município de São Paulo, pelas mesmas concessionárias da coleta domiciliar comum (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2012).

## 2.1.2 ECOPONTOS

Ecopontos são locais de entrega voluntária de pequenos volumes de entulho de construção, grandes objetos e materiais recicláveis. Segundo CILIP (2010), a Prefeitura organizou 37 Ecopontos e os distribuiu por toda RMSP de modo a garantir o descarte em locais padronizados e também o sustento de famílias de baixo poder aquisitivo.

Os entulhos da construção são reunidos em caçambas e levados a pontos de concentração, onde há um processo parcial de reciclagem, com o restante sendo encaminhado aos aterros. Segundo Limpurb apud CILIP (2010), cada um dos Ecopontos recebeu em média 8.300 m<sup>3</sup> de entulhos por ano desde 2003. Os Ecopontos estão distribuídos na cidade de São Paulo conforme apresentado na Figura 4.



**Figura 4: Localização dos Ecopontos na cidade (Fonte: Google Earth apud CILIP, 2010)**

A Prefeitura visa, com os Ecopontos, a diminuição da quantidade de entulho jogado de maneira ilegal<sup>1</sup> em locais públicos, o que gera problemas ambientais para a cidade de São Paulo. Pretende também facilitar e incentivar a reciclagem desses materiais.

## 2.1.3 ESTAÇÕES DE TRANSBORDO

As estações de transbordos são pontos intermediários de destinação dos resíduos sólidos coletados na cidade. É o local onde todo o lixo urbano coletado pelos caminhões é descarregado em fossos (Figura 5) e transferido para carretas de maior capacidade que levam o lixo até o aterro sanitário.

<sup>1</sup> Há cerca de 1.500 pontos de descarte ilegal de entulho na cidade São Paulo (ZANCHETTA, 2011)



**Figura 5: Caminhão coletor descarregando os resíduos sólidos para o fosso na estação de transbordo (Fonte: Ecourbis apud CILIP, 2010)**

Os transbordos foram criados devido ao alto custo de transportar todo o lixo dos domicílios direto aos aterros, que são distantes das áreas de coleta. Desta forma, os caminhões percorrem menores distâncias, reduzindo seu custo e permitindo a redução da frota de caminhões (ECOURBIS, 2012).

Segundo a Prefeitura de São Paulo (2012), cada uma das estações de transbordo atende a um determinado número de subprefeituras. Hoje há três Estações de Transbordo na cidade de São Paulo, como apresentado na Figura 6: Transbordo Vergueiro, Transbordo Santo Amaro e Transbordo Ponte Pequena. As duas primeiras são de responsabilidade da Ecourbis e a última da concessionária Loga.



**Figura 6: Localização das Estações de Transbordo (Fonte: Google Earth apud CILIP, 2010)**

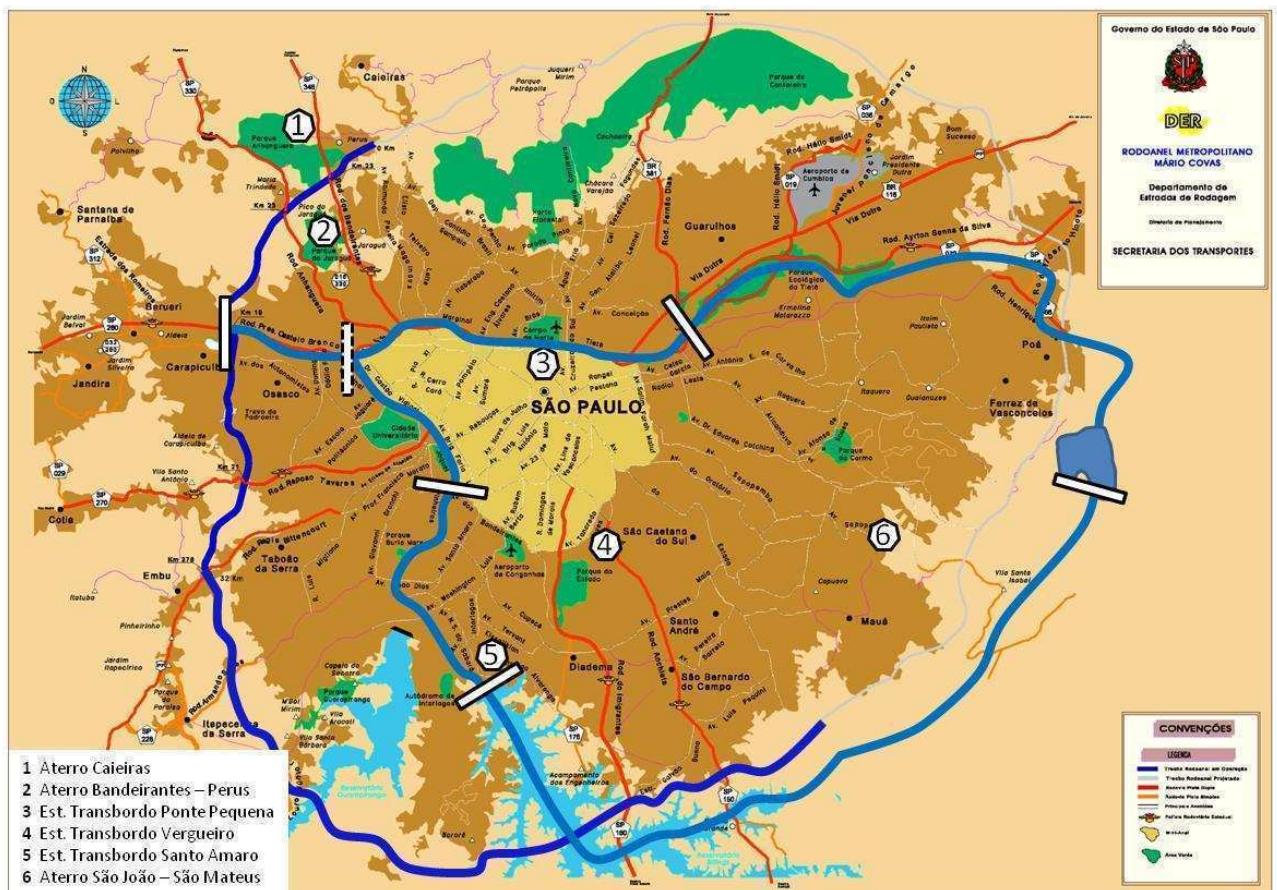
Segundo CILIP (2010), a movimentação de lixo é da ordem de 4.000 toneladas por dia na Estação de Transbordo Ponte Pequena e de 2.000 toneladas na Santo Amaro.

## **2.1.4 ATERROS SANITÁRIOS**

Aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos que contempla a impermeabilização de todas as áreas que receberão lixo, a proteção das águas subterrâneas e dos córregos e nascentes, além de sistemas de coleta e tratamento de gases e do chorume. Para a operação adequada de um aterro sanitário é necessária a compactação e o recobrimento constante do lixo depositado com camadas de terra, evitando o mau cheiro e a proliferação de aves, insetos e animais transmissores de doenças (ECOURBIS, 2012).

Os aterros da cidade de São Paulo estão enquadrados como “adequados” segundo a CETESB, que qualifica os aterros sanitários de todo o Estado a partir do Índice de Qualidade do Aterro de Resíduos (ABRELPE, 2011).

Após o esgotamento dos aterros, o ideal é que a área seja totalmente coberta e que possa ser utilizada como área de lazer, depois que o nível de contaminação estiver próximo de zero (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2012). A localização dos dois aterros em operação que atendem a cidade de São Paulo, São João e Caieiras, está representada na Figura 7 a seguir.



**Figura 7: Localização dos Aterros e Estações de Transbordo (Fonte: DER apud CILIP, 2010)**

A Prefeitura de São Paulo (2012) informa que o Aterro Bandeirantes, apesar de apresentado na Figura 7, está desativado desde 2007.

#### **2.1.4.1 ATERRO SÃO JOÃO**

O Aterro Sanitário Sítio São João, localizado no km 33 da Estrada do Sapopemba, em São Mateus, região Leste de São Paulo, começou a operar em 1992, ocupando uma área de 800.000 m<sup>2</sup>, dos quais 500.000 m<sup>2</sup> foram destinados à deposição de resíduos sólidos urbanos. No restante da área, foram implantadas as unidades de infraestrutura, como lagoas de chorume<sup>2</sup>, usina da combustão centralizada de biogás, faixa de proteção ambiental, unidades de apoio operacionais (a exemplo do canteiro de obras), balanças e prédios administrativos (ECOURBIS apud CILIP, 2010).

Em 2009, o Aterro São João foi desativado, mas mesmo após sua desativação a usina de biogás continua em operação, pois ainda há emissão de gás metano no local. Foi construído, então, na própria Estrada do Sapopemba km 23, a CTL (Central de Resíduos Sólidos Leste), que passou a ser o local de recebimento dos resíduos coletados pela Ecourbis (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2012).

É importante ressaltar que o aterro CTL (Central de Tratamento de Resíduos Leste) é aqui referenciado por São João por ser próximo ao antigo São João, seguindo o nome adotado pela empresa Ecourbis, concessionária responsável pela operação do aterro.



**Figura 8: Aterro São João (CTL) (Fonte: ECOURBIS, 2012)**

---

<sup>2</sup> O chorume é levado por caminhões para a SABESP para ser tratado e transformado em água de reuso (ECOURBIS apud CILIP, 2010).

### 2.1.4.2 ATERRO CAIEIRAS

O Aterro Caieiras localiza-se no município de Caieiras, na região noroeste da RMSP e está em operação desde setembro de 2002. Com uma área de 3,5 milhões de m<sup>2</sup> e capacidade de deposição de 60 milhões de m<sup>3</sup>, a CTR Caieiras é intitulada a maior central de tratamento de resíduos da América Latina. A empresa responsável pela CTR Caieiras é a Essencis Soluções Ambientais e recebe os resíduos coletados pela Loga (ESSENCIS, 2012).



**Figura 9: Aterro Caieiras (Fonte: ESSENCIS, 2012)**

Assim como em diversas outras cidades do mundo, os aterros da cidade de São Paulo têm uma área limitada, não capacitada para atender a demanda cada vez maior<sup>3</sup>. Além disso, a disponibilidade de novas áreas para a construção de novos aterros próximos à cidade é praticamente nula. Essa dificuldade impossibilita a continuação do uso de aterro sanitário como uma alternativa para a destinação final do lixo urbano, já que o consequente afastamento dos aterros em relação aos locais de coleta, na busca por novas áreas, torna o sistema caro devido ao alto custo de transporte. Com isso, passa a ser economicamente mais viável buscar novas alternativas, como por exemplo, a incineração (CILIP, 2010). São Paulo já se encontra nesta situação e a contorna com as estações de transbordo que diminuem as distâncias percorridas pelos caminhões, reduzindo seu custo.

### 2.1.5 EMISSÕES EM ATERROS SANITÁRIOS

Em aterros sanitários, uma das principais preocupações é a geração de biogás, uma mistura gasosa combustível produzida pela digestão anaeróbia da matéria orgânica e composta por aproximadamente 45% de CO<sub>2</sub>, 50% de CH<sub>4</sub> e o restante por 3% de N<sub>2</sub> 1% de O<sub>2</sub> e 1% de outros gases<sup>4</sup>.

Cabe mencionar que o metano tem um potencial de contribuição para o efeito estufa cerca de 21 vezes maior do que o CO<sub>2</sub> (IPCC apud PECORA; VELÁZQUEZ; COELHO, 2009).

<sup>3</sup> A perspectiva de crescimento anual do lixo na RMSP é de 5% ao ano, considerando a taxa de crescimento populacional de toda a metrópole (LIMPURB apud CILIP, 2010).

<sup>4</sup> USEPA apud Pecora et al., 2009.

Para a determinação do potencial de geração de biogás em aterros utilizou-se a metodologia sugerida pelo IPCC e empregada em Pecora; Velázquez e Coelho (2009) para o caso do aterro de Caieiras.

Inicia-se a estimativa de emissão de metano pela seguinte equação:

$$\text{DOC} = (0,4 \times A) + (0,17 \times B) + (0,15 \times C) + (0,3 \times D)$$

Onde:

DOC= fração de carbono orgânico degradável no lixo

A= porcentagem de papel, papelão e tecido

B+C= porcentagem de alimentos e resíduo orgânico

D= porcentagem de madeira

Por estarem alimentos e resíduos orgânicos juntos, a equação foi modificada para a seguinte:

$$\text{DOC} = (0,4 \times A) + (0,16 \times (B + C)) + (0,3 \times D)$$

Em seguida calcula-se o potencial de geração de metano do resíduo ( $L_0$  em Gg CH<sub>4</sub> / Gg de resíduo):

$$L_0 = \text{MCF} \times \text{DOC} \times \text{DOC}_f \times F \times 16/12$$

Onde:

MCF = fator de correção de metano (igual a 1 se o aterro for bem gerenciado)

DOC<sub>f</sub> = fração do DOC que pode se decompor = 0,77 (fração altamente biodegradável no resíduo Brasileiro)

F = fração de CH<sub>4</sub> no biogás

16/12 = conversão de carbono (C) para metano (CH<sub>4</sub>)

Resultando em  $L_0 = 0,098$  Gg CH<sub>4</sub> / Gg de resíduo. Considerando a densidade do metano a 0 °C e 1,013 bar como 0,0007168 t/m<sup>3</sup>, obtém-se  $L_0$  em m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tonelada de resíduo.

A emissão de metano pode ser calculada com as seguintes equações:

$$\text{LFG} = k \times R_x \times L_0 \times e^{-k(x-T)}$$

$$k = \ln 2 / (t_{1/2})$$

Onde:

LFG = emissão de metano (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano)

k = constante de decaimento (1/ano);

R<sub>x</sub> = fluxo de resíduo no ano (kgRSD);

L<sub>0</sub> = potencial de geração de metano (m<sup>3</sup>biogás/kgRSD);

x = ano atual;

T = ano de deposição do resíduo no aterro; e,

t<sub>1/2</sub> = tempo médio para 50% da decomposição

Assim, é possível obter a vazão de metano por ano e também a vazão de CO<sub>2</sub> anual, já que a proporção é de 9 CO<sub>2</sub> : 10 CH<sub>4</sub>.

Considerando a metodologia acima exposta, Paro; Costa e Coelho (2008) realiza um estudo sobre a emissão de um aterro sanitário que recebe 500.000 t/ano de lixo urbano ao longo de seus 20 anos de duração. O resultado mostra que o total de biogás gerado no aterro ao longo de sua vida útil, somado ao período de emissão de gases após o término da operação, é de 795.998.264 m<sup>3</sup> de biogás. Considerando a captura e queima de 100% desse biogás, o artigo conclui que a massa de CO<sub>2</sub> gerada no aterro seria de 929,185 toneladas.

## 2.1.6 IMPACTOS AMBIENTAIS DE ATERROS SANITÁRIOS

Esse capítulo versa sobre alguns dos impactos ambientais decorrentes da operação de um aterro sanitário.

Uma das críticas mais fervorosas com relação à utilização de aterros é a demanda por extensas áreas. Para minimizar os custos logísticos, idealmente, os aterros devem ser localizados perto de áreas urbanizadas. Pelo crescimento da mancha urbana, essas áreas estão cada vez mais escassas, além disso, são locais aos quais poderia ser dado um uso mais nobre.

Um aspecto que pode vir a causar graves impactos ambientais é a geração de chorume. Eventuais vazamentos desse líquido contaminam o solo, podendo atingir lençóis freáticos e cursos d'água. Cabe mencionar que o tratamento do chorume tem um custo que deve ser contabilizado pelo administrador do aterro.

Além do chorume, um dos impactos negativos amplamente discutidos é a geração de biogás. O biogás é formado a partir da degradação anaeróbica da matéria orgânica, sendo composto majoritariamente por dióxido de carbono e metano<sup>5</sup>, gás que é 21 vezes mais nocivo que o CO<sub>2</sub> para o efeito estufa e é responsável por 20% do aquecimento global (EPA apud PECORA; VELÁZQUEZ; COELHO, 2008). Com a finalidade de atenuar esse impacto, é recomendável que esse composto gasoso seja coletado ou queimado, com aproveitamento energético ou não. Um impacto positivo é que a utilização energética do biogás aumenta a oferta de energia e possibilita a geração descentralizada. De acordo com Muylaert apud Garcilasso; Velázquez e Coelho (2010), o seu poder calorífico é de 14,9 a 20,5 MJ/m<sup>3</sup>, aproximadamente 5.800 kcal/m<sup>3</sup>.

A queima do biogás (transformando CH<sub>4</sub> em CO<sub>2</sub>) é um mecanismo que contribui para a atenuação do efeito estufa, sendo, portanto, passível de ser considerado um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e pode entrar para leilões de crédito de carbono<sup>6,7</sup>.

A inflamabilidade desse gás faz com que um dos riscos seja incêndios e explosões no aterro. Além disso, caso o planejamento não seja adequado, pode haver desmoronamentos.

---

<sup>5</sup> Contém também hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas voláteis.

<sup>6</sup> A venda de créditos de carbono não é contemplada nesse Trabalho de Formatura.

<sup>7</sup> Em setembro de 2007 aconteceu o primeiro leilão de créditos de carbono em bolsa de valores regulada, em âmbito mundial. Os créditos foram obtidos pela Prefeitura de São Paulo com o aproveitamento do biogás do Aterro Bandeirantes. No Aterro Bandeirantes, 80% do biogás é utilizado na geração de energia elétrica e 20% restante é queimado em flare. A prefeitura tem direito a 50% de todo o volume certificado pela ONU, sendo que a outra metade fica com a empresa Biogás, por ter investido no projeto (Fonte: PECORA et al. (2008))

A manipulação dos resíduos faz também com que o aterro gere odores desagradáveis, efeito sentido pelos operadores e pela população no entorno e que pode ser agravado pela ação dos ventos. Há também a proliferação de espécies sinantrópicas, incluindo roedores e insetos que podem transmitir doenças. Os equipamentos utilizados dentro do aterro produzem ruídos, aumentando a poluição sonora.

Outro impacto socioeconômico é a intensificação do tráfego de veículos de grande porte na região. Esse efeito, somado ao odor desagradável e ao risco de explosão, faz com que haja desvalorização das propriedades no entorno do aterro. Cabe ainda mencionar que o aterro sanitário muda o relevo da região, poluindo a paisagem. Altera também a drenagem superficial: há mudança no traçado do escoamento superficial, além de modificação no volume de água infiltrado, alterando a recarga do aquífero.

O aterro exige também que grandes volumes de terra sejam movimentados. Se a gestão dessa atividade não for corretamente realizada, é possível que haja erosão no local de onde esse solo está sendo retirado.

Ainda, há riscos relacionados ao tratamento dos efluentes do aterro. Se o tratamento não for adequado, ocorrerá poluição dos corpos d'água e emissão forte de odores.

Para minimizar esses impactos podem ser adotadas algumas medidas mitigadoras, como utilização de barreiras vegetais para diminuir o impacto da emissão de particulados e geração de ruídos. A umectação do solo pode ser utilizada para diminuir a ação dos ventos na emissão de poeira.

Para reduzir os riscos para os operadores, a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI) e a obediência às normas são imprescindíveis.

Adicionalmente, é imperativo que os aterros sejam planejados considerando a impermeabilização da base, sistemas de drenagem de líquidos, gases e águas superficiais. É também importante proteger com vegetação as superfícies expostas e realizar a revegetação do entorno.

Programas de monitoramento das águas superficiais e subterrâneas e de monitoramento geotécnico são também possíveis de serem adotados.

## **2.2 NOVAS ALTERNATIVAS PARA O TRANSPORTE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA CIDADE DE SÃO PAULO**

Na Europa é comum a utilização de hidrovias para o transporte de resíduos sólidos. De acordo com CILIP (2010), praticamente 40% de todos os resíduos sólidos produzidos são transportados por comboios fluviais e ferroviários. Nas cidades de Liège, Lille, Londres e Paris<sup>8</sup>, o modal hidroviário é o que tem tido maior taxa de crescimento para transporte de RSUs.

A cidade de Liège, na Bélgica, é uma das que investem em transporte de resíduos por hidrovias, movimentando mensalmente 41.000 toneladas em barcaças com capacidade de 1.350 toneladas (Figura 10). O trajeto de 20km realizado por rios permite menor fluxo de caminhões nas áreas residenciais<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup> Fonte: CILIP, 2010.

<sup>9</sup> Fonte: CILIP, 2010



**Figura 10: Transporte do resíduos sólidos em Liège**  
**(Fonte: INE – INLAND NAVIGATION EUROPE, 2003 apud CILIP, 2010)**

Lille (França) movimenta um volume diário consideravelmente menor do que Liège, por volta de 2.000 toneladas, ao longo de 63 km de hidrovia. Os resíduos são colocados em contêineres de 10 toneladas, abertos no topo e embarcados em barcaças com capacidade de 20 boxes. Os impactos positivos da migração de modal são perceptíveis: houve redução de 99% do ruído, de 63% do consumo de energia, de 56% de emissão de CO<sub>2</sub> e 27% de SO<sub>2</sub> no entorno da cidade<sup>10</sup>.



**Figura 11: Terminal para descarga dos contêineres em Blaringhem, terminal de destino das cargas que saem de Lille (Fonte: DRAPIER, 2006 apud CILIP, 2010)**

Londres movimenta diariamente volume semelhante ao de Lille, de 2.000t, pelo rio Tâmisa (Figura 12). A empresa que realiza o transporte conta com 4 terminais, além de uma frota composta por 7 rebocadores, 47 barcaças e 1500 contêineres de 20 pés.

---

<sup>10</sup> Fonte CILIP, 2010.



**Figura 12: Transporte de resíduos sólidos pelo rio Tamisa (Fonte: CORY ENVIRONMENTAL, 2010 apud CILIP (2010))**

Por último, Paris também transporta parte de seus resíduos através de hidrovias e possui um incinerador com sistema de recuperação de energia às margens do rio, com capacidade de 1.600 t/dia<sup>11</sup>.

Os exemplos acima citados evidenciam que a mudança de modal para o transporte de resíduos sólidos é viável pelo menos, tecnicamente, em primeira análise.

Assim, considerando a descrição do cenário atual da cidade de São Paulo no que concerne ao lixo urbano e à Política Nacional de Resíduos Sólidos<sup>12</sup>, buscam-se novas alternativas tanto para o transporte quanto para a destinação dos resíduos sólidos urbanos.

Com base nos casos internacionais de soluções para problemas semelhantes, propõe-se um novo modelo para o transporte dos resíduos por meio hidroviário e para a destinação final, por meio da queima com geração de energia elétrica em Usinas de Recuperação de Energia.

O transporte do lixo por modal hidroviário é factível na cidade de São Paulo, pelo fato de que as Estações de Transbordo Santo Amaro e Ponte Pequena encontram-se próximas aos rios, e o tratamento térmico de resíduos sólidos em Usina de Recuperação de Energia (URE) é algo já previsto na legislação brasileira (Resolução SMA 079/2009).

## 2.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

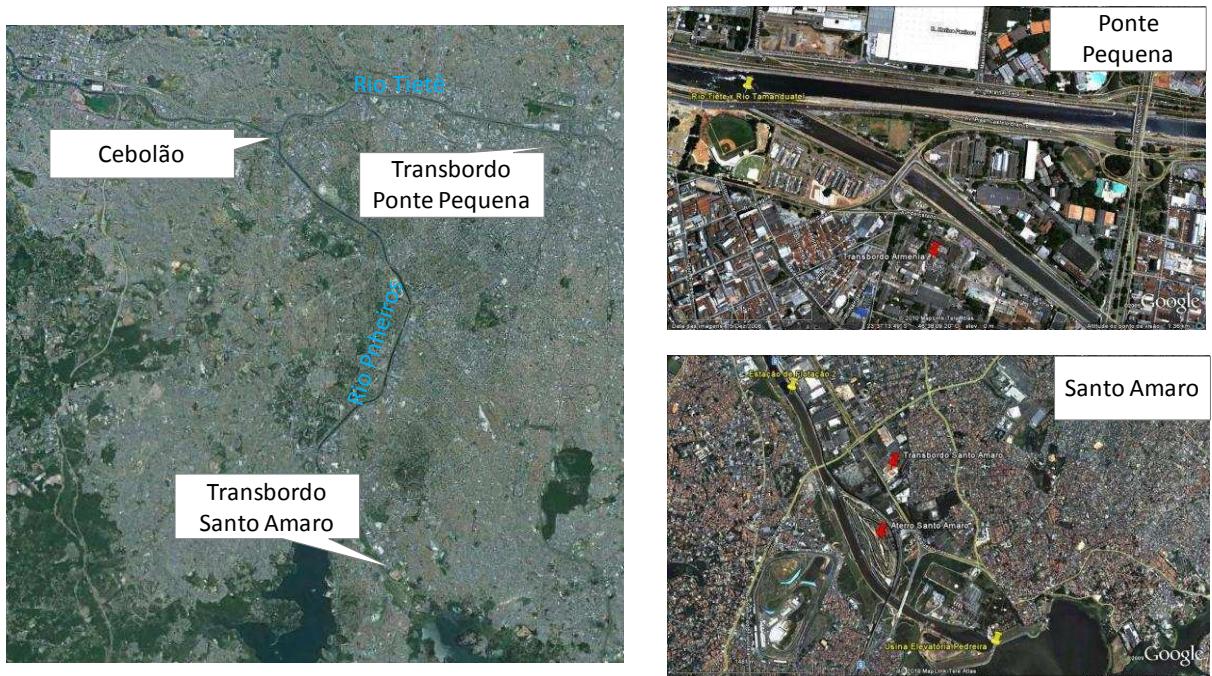
As Estações de Transbordo Ponte Pequena e Santo Amaro encontram-se próximas aos rios. A primeira fica perto da confluência dos rios Tamanduateí e Tietê, sendo separada do rio Tamanduateí pela Avenida do Estado. A segunda fica praticamente

---

<sup>11</sup> Fonte: CILIP, 2010.

<sup>12</sup> A Política Nacional de Resíduos Sólidos proíbe a destinação de materiais a aterros sanitários sem tratamento prévio a partir de 2014.

à beira do Rio Pinheiros, havendo locais disponíveis para a criação de áreas de movimentação e transbordo para a hidrovia, como mostra a Figura 13.



**Figura 13: Localização das Estação de Transbordo Ponte Pequena e Santo Amaro (Fonte: GoogleMaps)**

A viabilidade do projeto depende da naveabilidade dos trechos existentes. Dessa forma, há necessidade de estudar os gargalos dos trechos, os barramentos existentes e o nível das águas.

Não obstante, há algumas restrições nesses trechos que podem dificultar o aproveitamento hidroviário. No rio Tietê, as principais são relacionadas às oito pontes<sup>13</sup>, que implicam na restrição da altura do comboio. Ademais, as pontes do Limão e Casa Verde têm pilares internos que limitam a passagem a apenas uma embarcação por vez.

Nesse trecho, há ainda dois barramentos que necessitam de obras: Comportas de Retiro e a Estação de Bombeamento de Traição, ambas utilizadas atualmente como controle de cheias revertendo água do rio Pinheiros para a represa Billings. Em Retiro, não há clausa e em Traição, para viabilizar o trecho, é preciso reestruturar a clausa existente. Além disso, a barragem do Cebolão necessita manutenção por estar assoreada à montante.

Cabe fazer uma observação à respeito do trecho entre Edgar de Souza e o Cebolão: com os níveis de água atuais, a navegação poderá ser mantida até cerca de 6 km à jusante do Cebolão. Para tornar adicionais 14 km navegáveis, há necessidade de aumentar o nível do rio, o que pode ser possibilitado pela abertura de um canal escavado em basalto, equivalente a um volume aproximado de 300 a 350 mil metros cúbicos, ao custo de cerca de R\$140mi. A alternativa seria de elevar o nível para 712,50 msnm, permitindo a navegação no curto prazo numa extensão de 20 km (CONCEITUAIS, 2011).

<sup>13</sup> Ponte dos Remédios, Anhanguera, Bandeirantes, Piqueri, Freguesia do Ó, Júlio de Mesquita Neto, Limão, Casa Verde, além da própria marginal (Av. Pres. Castelo Branco) que cruza a Foz do Rio Tamanduateí.

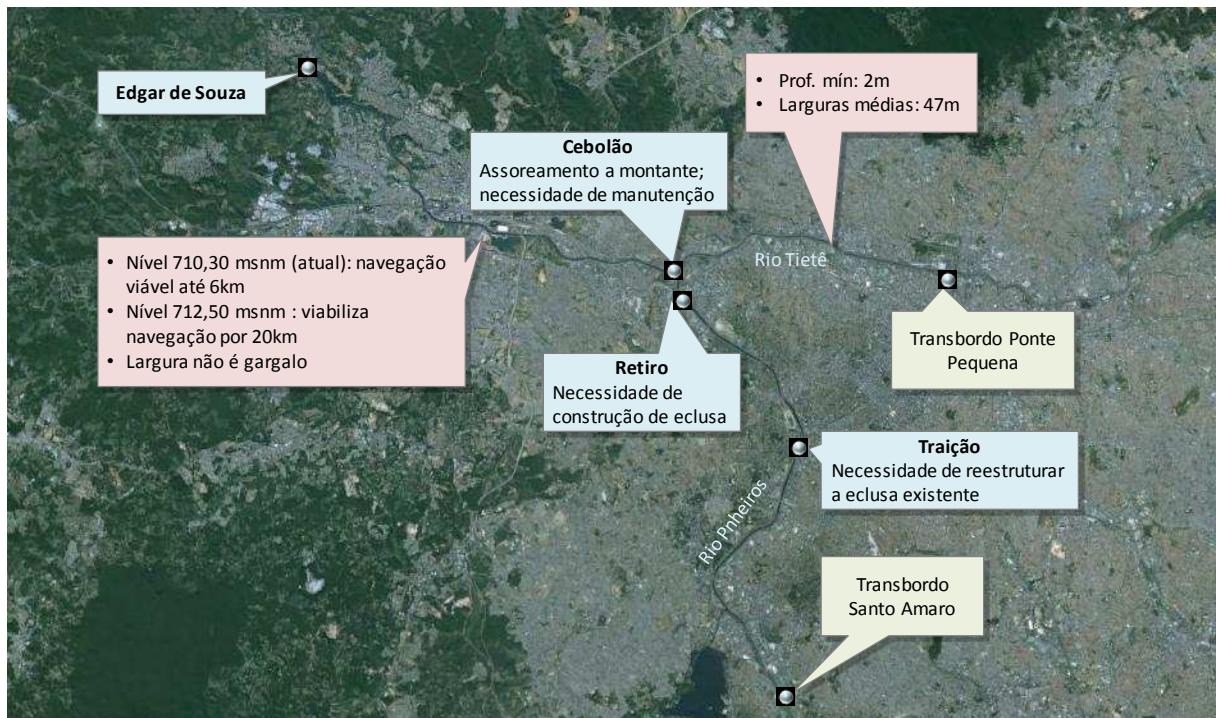


Figura 14: Resumo dos gargalos dos trechos (Fonte: GoogleMaps)

## 2.2.2 ESCOLHA DA EMBARCAÇÃO E DA FORMA DE TRANSPORTE DE CARGA NAS BARCAÇAS

Uma vez levantadas as características do local em estudo, o primeiro passo é dimensionar a embarcação-tipo. Este dimensionamento é realizado em função das “características da hidrovia, da carga transportada e, se for o caso, dos dispositivos de unitização de cargas”, conforme apresentado em CILIP (2010).

A hidrovia que pode ser formada pelos rios Tietê e Pinheiros caracteriza-se pelo pequeno calado, além de haver vãos de pontes com largura e altura bastante restritivos.

Já foi realizado estudo de pré-viabilidade do uso dos Rios Tietê e Pinheiros para navegação com chatas e empurreadores, alternativa comum na travessia de canais fluviais estreitos, como o Rio Tietê, que tem 2,0 metros de profundidade média e 40 metros de largura média (CILIP, 2010), já considerando os períodos de estiagem, que ocorrem de abril a novembro. Neste estudo (CILIP, 2010) concluiu-se que as principais restrições da navegação no Rio Tietê e no Rio Pinheiros seriam o calado e a boca da embarcação.

Segundo CILIP (2010), o calado necessário para garantir uma navegação segura é de 1,5 m para um canal de 2,0 m de profundidade. O cálculo da boca da chata foi realizado de acordo com as diretrizes da PIANC (ENGECORPS, 2010):

$$B = \frac{W-5}{4,4} ; \text{ onde } B \text{ é a boca da chata, e } W \text{ é a largura do canal.}$$

Com essa formulação, a boca máxima permitida é de 8 metros. Entretanto, CILIP (2010) adota uma embarcação com boca de 9 metros, que permite obter ganhos

operacionais consideráveis devido ao arranjo dos contêineres na chata. Dessa forma, a embarcação proposta para realizar a navegação no rio Tietê tem:

- 9 metros de boca;
- 1,5 metros de calado;
- 62,5 metros de comprimento e
- capacidade de carga aproximada de 660 toneladas (CILIP, 2010).

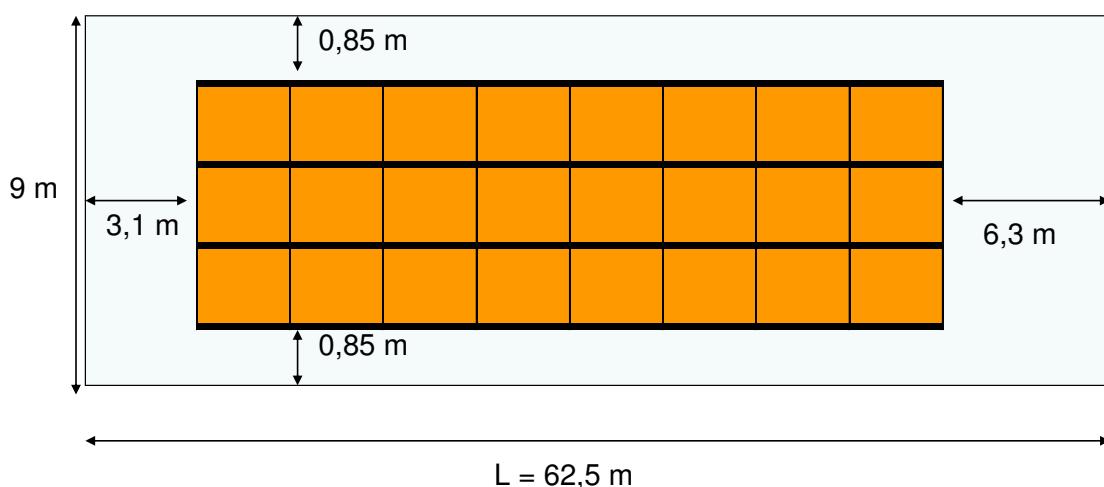
Para o dimensionamento da embarcação, CILIP (2010) escolhe o contêiner padrão de 20 pés, que possui as seguintes dimensões (Tabela 2):

**Tabela 2: Dimensões - Contêiner Padrão – Tampa Aberta - 20 pés (Fonte: ADUANEIRA, 2012)**

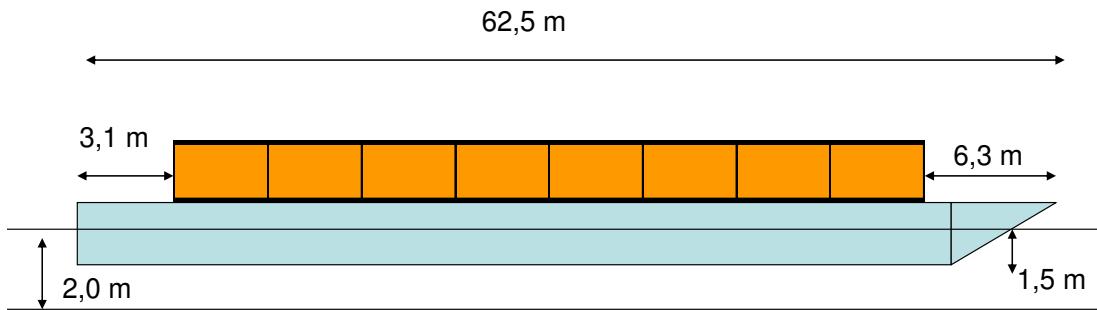
Itens Físicos	Valor
Largura Externa (m)	2,438
Comprimento Externo (m)	6,000
Altura Externa (m)	2,590
Volume (m <sup>3</sup> )	32,200
Tara do Contêiner (t)	2,050

A opção pelo uso de contêineres no transporte de cargas torna a barcaça mais flexível no quesito carga transportada, já que qualquer carga que possa ser colocada no contêiner-tipo adotado pode ser levada pela barcaça. Além disso, alojar a carga em contêineres reduz o impacto visual do transporte de resíduos sólidos.

As dimensões do contêiner apresentado permitem a configuração do arranjo na chata, conforme se observa na Figura 15 e na Figura 16, a seguir.



**Figura 15 - Plano de carregamento dos contêineres transportados na chata – Vista Superior (Fonte: CILIP, 2010)**



**Figura 16 - Plano de carregamento dos contêineres transportados na chata - Vista Lateral**  
(Fonte: CILIP, 2010)

Conforme o plano de carregamento observado, a chata possui capacidade de transporte de três linhas de contêineres, com oito unidades por linha. Assim, o barco apresenta capacidade de transporte de 24 unidades contêineres por nível de acomodação.

Como o vão livre sob as pontes do Piqueri e do Limão é inferior a 20 metros, em ambos os casos, a chata só apresenta possibilidade de arranjo de dois níveis de acomodação, atingindo aproximadamente 5,2 metros de altura (2,59 m + 2,59 m), sendo capaz, portanto, de transportar 48 unidades de contêineres.

### 2.2.3 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO LOGÍSTICO E EXEMPLO

No estudo apresentado em CILIP (2010) são analisados 23 cenários, formados a partir de diversas combinações de cargas e variações nos locais de origem e destino. São considerados cenários de transporte de resíduos sólidos, lodo de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), transporte de passageiros, hortifruti, entulho de construção civil, areia como insumo de concreteiras, pneus inutilizados, entre outros..

Para a análise dos cenários, o estudo segue o procedimento apresentado abaixo:

- a. Foram escolhidos um ou mais pontos de transbordo de carga do meio rodoviário para as chatas.
- b. Apresenta-se a quantidade de lixo que passa por este(s) transbordo(s) diariamente.
- c. Foi calculado o Tempo de Ciclo Total necessário para cada viagem, que inclui o tempo de carga na origem, desatracção, viagem até o destino, eclusagem (quando houver), atracação no destino, descarga, desatracção, viagem de volta, eclusagem e atracação no porto de origem.
- d. Dividiu-se o número de viagens necessárias por dia (para transportar a carga do(s) ponto(s) de origem escolhido(s) até o destino, em função da demanda ou disponibilidade de carga diária) pelo tempo por ciclo total, obtendo o número de barcaças necessário.
- e. Calculou-se o tamanho da frota hidroviária mínima para atender à demanda (número de chatas e de empurreadores, calculado de forma a reduzir o tempo ocioso do empurreador).
- f. A seguir, é apresentado o número de caminhões que seriam necessários para transportar estes mesmos resíduos sólidos por meio exclusivamente rodoviário, supondo os mesmo pontos de origem e destino.

- g. Foi calculado o “custo de aquisição da frota” que inclui custos de aquisição dos veículos, custos administrativos, seguro, manutenção e reparo, custos variáveis, custo de porto, bem como o custo de operação do sistema por R\$/ton.km, com base nos trabalhos de Garcia (2001) e Pereira (2007).
- h. Com base neste número é possível calcular a tarifa em R\$/tonelada\*km transportado), ou seja, o custo de transporte por meio fluvial em função da quantidade de carga transportada e da distância de transporte.
- i. Este estudo inclui também o número de viagens anuais necessárias para transportar a mesma quantidade de RSUs, caso se escolha o modal hidroviário ou o rodoviário.

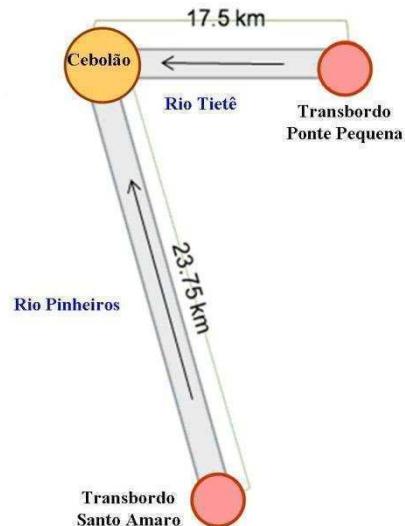
Não foi calculado o frete de transporte para o modal rodoviário.

Por fim, nos cenários com transporte de resíduos sólidos (CILIP, 2010), considera-se a possibilidade de queimar os resíduos sólidos em usinas de recuperação energética (UREs), objetivando a geração de energia “assim, é possível também que o projeto [...] adquira um caráter auto-sustentável” (CILIP, 2010).

Para isto, o relatório sugere a implantação de uma usina ao lado da hidrovia, em diversos possíveis locais, conforme o cenário em estudo, para que os resíduos sólidos possam ser descarregados no porto e queimados na URE sem necessitar outra etapa de transporte.

Neste cálculo, CILIP (2010) pressupõem que deve haver uma etapa de triagem para separar a parcela de lixo que pode ser convertida em energia, situação que é “restrita pelas características físicas, químicas e biológicas dos resíduos sólidos, sob diversas restrições ambientais – geração de gases, resíduos sólidos, etc”, e corresponde a aproximadamente 35% de todo o resíduo sólido urbano destinado às Estações de Transbordo consideradas no cenário. Do material triado, cada tonelada de lixo queimado gera 0,5 MW energia (HOUSER; LEMME, 2006). Com base nestes números, é calculada a quantidade de energia elétrica que pode ser gerada com a queima do lixo.

Para este Trabalho de Formatura, foi selecionado o Cenário 1A (CILIP, 2010) como exemplo do procedimento para novos cálculos e comparações. O Cenário 1A consiste no transporte de resíduos sólidos da Estação de Transbordo Ponte Pequena e da Estação de transbordo em Santo Amaro para usina termoelétrica no Cebolão, conforme Figura 17 e Figura 18 abaixo.



**Figura 17: Cenário 1A (baseada em figura retirada de CILIP, 2010)**



**Figura 18: Sugestão para localização de terminal (Fonte: Googlemaps)**

Esse cenário abre ainda a possibilidade de conexão intermodal rodo-ferro-hidroviário na região do Cebolão, como mostrado na Figura 19.



**Figura 19: Conexões intermodais (Fonte: Googlemaps)**

No local, há um entroncamento de rodovias que seguem para o interior de São Paulo e a Ponte Fepasa, a alguns metros de onde é sugerida a construção do Terminal de Transbordo.

Para este cenário, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 3, abaixo.

Cabe salientar que a frota de comboios e chatas adicionais foi estipulada para garantir que o empurrador tenha o menor tempo ocioso possível. Deste modo, sempre que o empurrador chegar ao terminal trazendo uma chata carregada deverá existir outra chata vazia para o transporte no sentido contrário.

**Tabela 3: Resultados de avaliação quantitativa para o Cenário 1A (Fonte: CILIP (2010))**

Cenario 1A	Ponte Pequena >> Usina Cebolão (Lixo)	Santo Amaro >> Usina Cebolão (Lixo)
Demandas totais (t)	4230	2040
Tempo Ciclo Total (contingencia) (h)	4,81	8,00
Viagens dia por comboio	4,99	3,00
Empurreadores Necessários	2	2
Chatas Necessárias	4	4
Qtde Caminhões que atendem demanda	38	21
<b>Custos e Tarifas</b>		
Custo de aquisição	R\$ 7.834.665,87	R\$ 7.834.665,87
Tarifa R\$/t.km	R\$ 0,08	R\$ 0,09
<b>Viagens</b>		
Comboios (ano)	2486	1199
Caminhões (ano)	119323	57546
<b>Poluição gerada</b>		
Índice Ambiental (Caminhão X Embarcação)	2,46	2,97
<b>Queima do lixo</b>		
Energia gerada (MWh)	1097,25	
Potencial Energético (MWh/t)	45,72	
Nº de domicílios atendidos	143.120	
Porcentagem da cidade de São Paulo atendida	6,51%	

Para este cenário foram utilizadas as distâncias de transporte rodoviário entre:

Ponte Pequena e Cebolão = 15,4 km  
 Santo Amaro e Cebolão = 26,1 km

## 2.2.4 EMISSÕES NO TRANSPORTE

O procedimento adotado por CILIP (2010) para o cálculo de emissões no transporte foi o apresentado por Iqbal e Hasegawa (2000), Iqbal e Hasegawa (2001) e Iqbal e Shil (2005), que permite o cálculo de emissões de 1kg de diesel, combustível utilizado por caminhões e barcaças.

A metodologia consiste em, primeiramente, estimar a massa de combustível utilizado (como feito no 2.2.3), posteriormente quantificando as emissões em função das substâncias e componentes gerados durante a queima de diesel. As premissas adotadas estão nas Tabela 4 e Tabela 5.

**Tabela 4: Premissas para cálculo de emissões (Fonte: CILIP (2010))**

Item	Unidade	Valor
<b>Dias de operação</b>	Dias	360
<b>Consumo de diesel</b>	g/hp.h	160
<b>Densidade do Óleo Combustível</b>	g/litro	850

**Tabela 5: Emissões resultantes da queima de 1 kg de diesel de um motor (HASEGAWA, 2000 and CHALMERS 1991 of SimaPro apud IQBAL; SHIL 2005)**

Poluente	Radiação de calor	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	Partículas em Suspensão (g)	Amônia
Unidade	(MJ)	(g)	(g)	(g)	(g)		(g)
Valor	40,7	322,55	3,15	5,45	4,26	0,468	0,02

Assim, para cada rota, tanto para o modal rodoviário, quanto para o hidroviário, sabe-se a quantidade gerada de cada poluente. Os poluentes podem ser agrupados conforme os efeitos que causam, como mostra a Tabela 6.

**Tabela 6: Poluentes relacionados aos impactos**

Efeitos	Poluentes
Aquecimento local	Radiação de calor
	CO <sub>2</sub>
Aquecimento global	N <sub>2</sub> O
	CH4
	Amônia
	HCl
	HF
	CO <sub>2</sub>
	NO <sub>x</sub>
	SO <sub>x</sub>
Chuva ácida	Amônia
	NOx
Eutrofização	Partículas em Suspensão
	SOx
Poluição do ar local	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>

## 2.2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS

Entre os modais hidroviário e rodoviário, muito se discute qual o melhor para o transporte de cargas, tanto no que se refere aos aspectos financeiros quanto ambientais. A parte financeira é um dos fatores que definem a competitividade do modal, ao passo que os aspectos ambientais se encaixam em um contexto no qual muito se discute a responsabilidade do transporte de mercadorias no aumento de emissão de gases que causam o efeito estufa.

A matriz de transporte brasileira é baseada praticamente no modal rodoviário, enquanto que o hidroviário vem sendo vilipendiado pelo Poder Público. Uma mudança na matriz de transporte, como a prevista pelo PNLT, pode contribuir significativamente com a redução de emissão de GEEs.

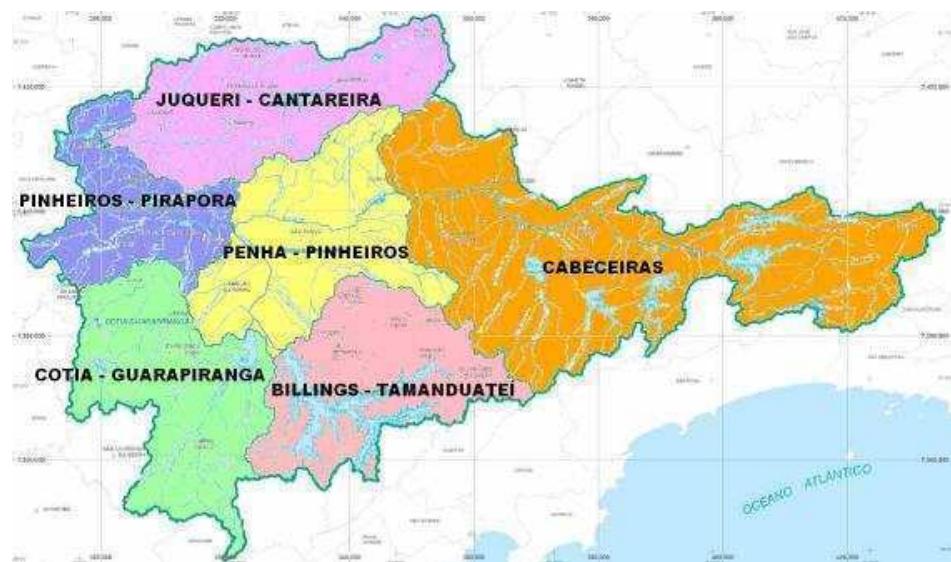
Essa redução coaduna com a Lei municipal 14.933, de 5 de junho de 2009, que instituiu a Política de Mudança do Clima no Município de São Paulo, tendo como meta cortar, até 2012, 30% das emissões de gases, em relação às emissões verificadas em inventário de 2005.

Dessa forma, esse item visa avaliar sob a ótica ambiental as consequências da inclusão do modal hidroviário no transporte de resíduos sólidos na cidade de São Paulo. Será primeiramente realizada a caracterização ambiental da região. Realizado o diagnóstico, serão levantados os impactos ambientais decorrentes dessa alteração, no que tange a fase de operação. Em seguida, são identificadas medidas mitigadoras e maximizadoras, além de programas que podem auxiliar na execução de tais medidas.

### **2.2.5.1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL**

A seguir, serão apresentados alguns dos aspectos do diagnóstico ambiental, cujas informações foram obtidas de fontes secundárias<sup>14</sup> e reunidas em Ambientais (2011).

Os rios dos trechos do Cenário 1A descrito no item 2.2.3 fazem parte da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. O Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (PAT), elaborado pela Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo (FUSP) em 2009 descreve a bacia subdividida em seis sub-regiões hidrográficas típicas, como mostra a Figura 20.



**Figura 20: Sub-regiões hidrográficas que compõem a bacia do Alto Tietê**

(Fonte: adaptado de PAT, 2009 apud AMBIENTAIS, 2011)

O Trecho entre Edgar de Souza e a Estação de Transbordo Ponte Pequena fazem parte das sub-regiões de Penha-Pinheiros e Pinheiros-Pirapora. Já o trecho entre o Cebolão e Santo Amaro encontra-se dentro da Penha-Pinheiros.

As precipitações (média de 1.454,8 mm/ano, como mostra a Tabela 7) têm influência direta na profundidade de rio, o que por sua vez, impacta na navegabilidade. No

<sup>14</sup> Acervo de projetos, levantamentos, pesquisas e teses acadêmicas com foco na RMSP.

trecho entre as barragens do Cebolão e Penha, a vazão fica comprometida pelo menor fluxo afluente de montante. As águas residuárias geradas pelas ETE's contribuem para piorar a qualidade da água, podendo ainda ter impacto na qualidade do ar devido à emissão de gases provenientes do rio, intensamente poluído.

**Tabela 7: Valores de temperaturas máximas e mínimas e de precipitações pluviométricas para a região de São Paulo, no período de 1961 a 1990 (Fonte: Normais Climatológicas; Secretaria Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia apud AMBIENTAIS, 2011)**

<b>Climatologia – São Paulo - SP</b>				
<b>Período: 1961-1990</b>				
<b>Lat.(s) 23.30 - Lon.(W.Gr.) 46.37 - Alt 798.29 m</b>				
<b>Meses</b>	<b>Tmax (ºC)</b>	<b>Tmin (ºC)</b>	<b>Precip. (mm)</b>	<b>Precip. - máxima em 24 horas (mm)</b>
Jan	27,3	18,7	238,7	103,5 - 19/77
Fev	28,0	18,8	217,4	121,8 - 02/83
Mar	27,2	18,2	159,8	90,8 - 09/72
Abr	25,1	16,3	75,8	57,9 - 20/68
Mai	23,0	13,8	73,6	71,8 - 16/68
Jun	21,8	12,4	55,7	74,0 - 15/87
Jul	21,8	11,7	44,1	70,8 - 03/76
Ago	23,3	12,8	38,9	42,3 - 08/82
Set	23,9	13,9	80,5	62,6 - 20/84
Out	24,8	15,3	123,6	63,7 - 07/69
Nov	25,9	16,6	145,8	82,8 - 15/79
Dez	26,3	17,7	200,9	151,8 - 21/88
<b>TOTAL</b>		<b>1.454,8 mm/ano</b>		

Com relação aos aspectos hidrológicos, cabe destacar as obras hidráulicas na região. Projetos como a reversão de curso das águas do Pinheiros para o reservatório Billings e o desvio das águas do alto curso do rio Tietê e alguns de seus afluentes para a região central da área metropolitana têm impacto nas vazões dos principais cursos de água da região.

A seguir estão listados os cursos d'água que compõem a área de estudo e a respectiva classificação segundo o Decreto Estadual 10.755, de 22 de novembro de 1977:

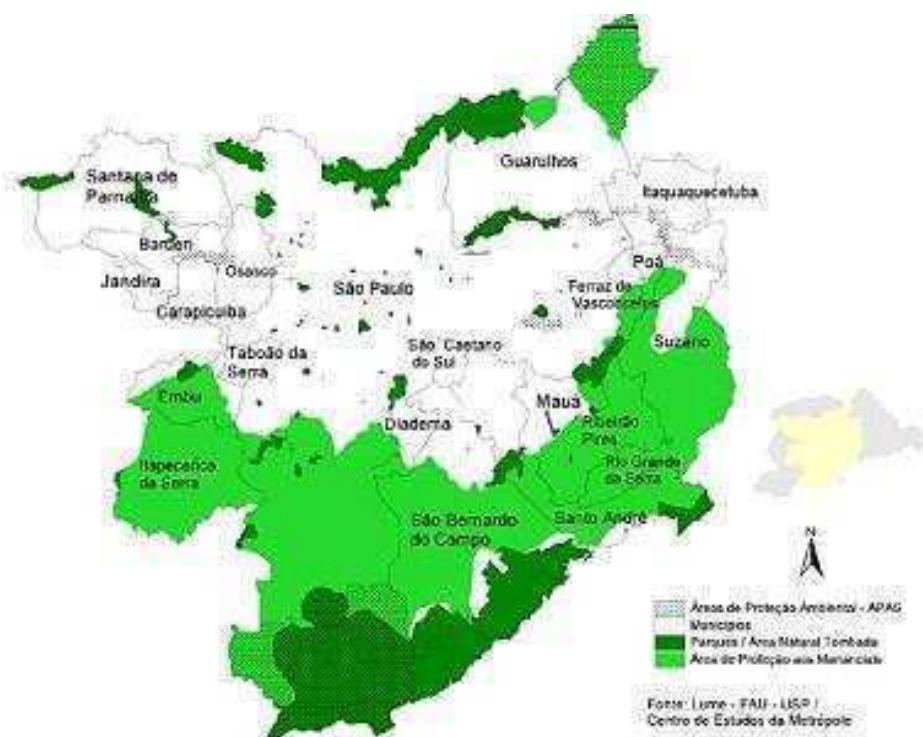
- Rio Pinheiros e todos os seus afluentes, no município de São Paulo; classe 4
- Rio Tietê e todos os seus afluentes até a barragem de Ponte Nova, na divisa dos municípios de Salesópolis e Biritiba-Mirim; classe 1
- Rio Tietê e todos os seus afluentes da margem direita, desde a confluência com o ribeirão Botujuru até a confluência com o rio Itaquera, no município de São Paulo; todos os afluentes da margem esquerda do rio Tietê compreendidos entre a confluência com o rio Botujuru até a confluência com o rio Itaquera, com exceção dos rios: Jundiaí até a confluência com o ribeirão Oropó, Taiaçupeba até a barragem do reservatório Taiaçupeba, Guaió, córrego Três Pontes, ribeirão Itaim e ribeirão Lajeado; classe 3

- Rio Tietê e todos os seus afluentes desde a confluência com o rio Itaquera até a barragem de Pirapora, no município de Pirapora do Bom Jesus, com exceção dos trechos de afluentes já classificados; classe 4.

Cabe nesse ponto salientar que os usos múltiplos da água demandam permanente interação entre todas as instâncias que dependem dos regimes operacionais dos corpos hídricos da RMSP (controle de enchentes, abastecimento e saneamento básico, por exemplo). Essa é condição essencial para a viabilização da navegação nos rios Tietê e Pinheiros. As instituições intervenientes são listadas no Anexo 12.1. Ainda, a alta urbanização e impermeabilização do solo têm alta correlação com o fenômeno das ilhas de calor e tem grande importância na análise da gênese de cheias em bacias urbanas. O fenômeno de ilha de calor, intensificado pelos GEEs, é recorrente em áreas urbanas, onde as áreas verdes são restritas ou eliminadas e existe muita dificuldade de ventilação. Esse acontecimento pode ser origem dos eventos extremos de chuva que vêm ocorrendo e do aumento de temperatura da cidade de São Paulo. De acordo com o INPE apud Ambientais (2011), em média, a cidade de São Paulo já está 2,5°C mais quente do que há 70 anos. A umidade relativa do ar também é baixa na região.

No que concerne a vegetação, uma grande parte do estado de São Paulo foi originalmente coberta pela Mata Atlântica. Segundo a Secretaria do Meio Ambiente, entre 1986 e 1999, 30% das já escassas áreas verdes do município de São Paulo foram perdidas. A UNESCO faz a previsão de que até 2015 a RMSP terá boa parte do seu cinturão verde destruído, seguindo a tendência observada. Prevê-se ainda que uma das consequências será o agravamento do fenômeno de ilhas de calor, com temperaturas chegando a 40°C em alguns bairros do município.

As principais áreas protegidas por legislação ambiental na RMSP estão apresentadas na Figura 21.



**Figura 21: Principais áreas protegidas pela legislação ambiental na RMSP (Fonte: ALVES E OLIVEIRA, 2005 apud AMBIENTAIS, 2011)**

Observa-se certo padrão na mudança da qualidade do ar durante o ano. Entre maio e setembro, por causa da grande estabilidade atmosférica, dos muitos períodos de estagnação do ar e da formação de inversão térmica muito próxima à superfície, as condições meteorológicas são mais desfavoráveis à dispersão dos poluentes. Assim, há aumento das concentrações de MP10, CO, FMC e NO<sub>2</sub>, havendo registros de várias ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar na RMSP. No restante do ano, o poluente que mais exige atenção é o ozônio, que ultrapassa com frequência o padrão de qualidade do ar na RMSP.

Em 2004, mais de 2,5 milhões de toneladas de gases foram lançados na atmosfera na RMSP, sendo 66% de monóxido de carbono. A principal fonte desse poluente são os caminhões, ônibus, veículos de passeio, utilitários e motocicletas, responsáveis por 98% do total (STAUDT, 2008 apud AMBIENTAIS, 2011), reflexo de uma região que contabiliza uma frota motorizada de aproximadamente 16,9 milhões de veículos (PRODESCP, 2007 apud AMBIENTAIS, 2011).

Ainda, relatório do INPE afirma que os veículos automotores respondem por 40% da emissão de particulados e 31% do SO<sub>2</sub>, enquanto as indústrias são responsáveis por 10% do material particulado e 67% do SO<sub>2</sub> emitido. A Tabela 8 mostra os parâmetros de qualidade do ar registrados em 2002.

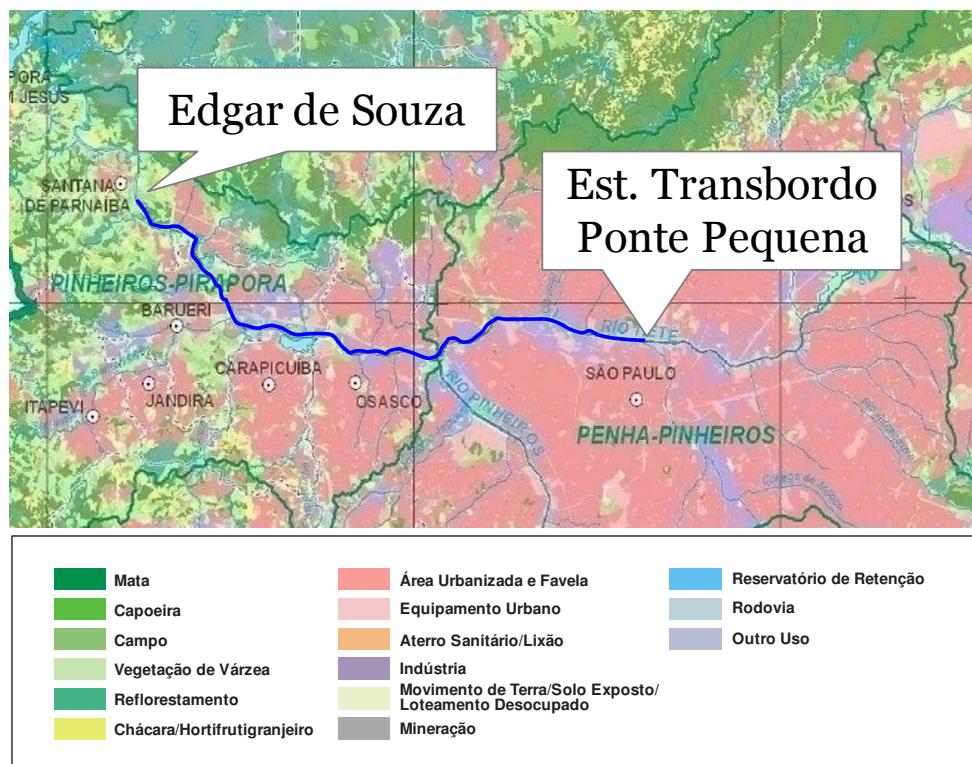
**Tabela 8: Parâmetros de qualidade do ar registrados em 2002 (Fonte: CETESB, 2002 apud AMBIENTAIS, 2011)**

Poluente	Características
Partículas inaláveis (MP10)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ocorrência de ultrapassagem dos padrões anual (50 µg/m<sup>3</sup>) e diário (150 µg/m<sup>3</sup>) em alguns locais da RMSP</li> <li>Tendência de decréscimo do número de episódios agudos</li> </ul>
Fumaça Preta – FMC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Padrão diário (150 µg/m<sup>3</sup>) tem sido ultrapassado na cidade de São Paulo e as médias anuais vêm-se mantendo em níveis inferiores ao padrão (60 µg/m<sup>3</sup>)</li> <li>Quadro decrescente dos níveis de FMC</li> </ul>
Monóxido de Carbono – CO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Padrão de oito horas (9 ppm) ainda é ultrapassado em alguns locais da RMSP</li> <li>Estado de Atenção (15 ppm) não foi atingido nos últimos quatro anos</li> <li>Decréscimo significativo das concentrações nos últimos anos</li> </ul>
Dióxido de Nitrogênio	Níveis na atmosfera da RMSP encontravam-se estáveis até 2002
Dióxido de Enxofre – SO <sub>2</sub>	níveis muito abaixo dos padrões diário (365 µg/m <sup>3</sup> ) e anual (80 µg/m <sup>3</sup> ).
Ozônio – O <sub>3</sub>	poluente que tem ocasionado o maior número de ultrapassagens do padrão na RMSP

No curso superior da bacia do Tietê, a ocupação é predominantemente agrícola, existindo, no entanto, centros urbanos de importância, tais como Mogi das Cruzes e Suzano, e diversas indústrias. Por outro lado, a área abrange uma zona de grande concentração urbana da cidade de São Paulo.

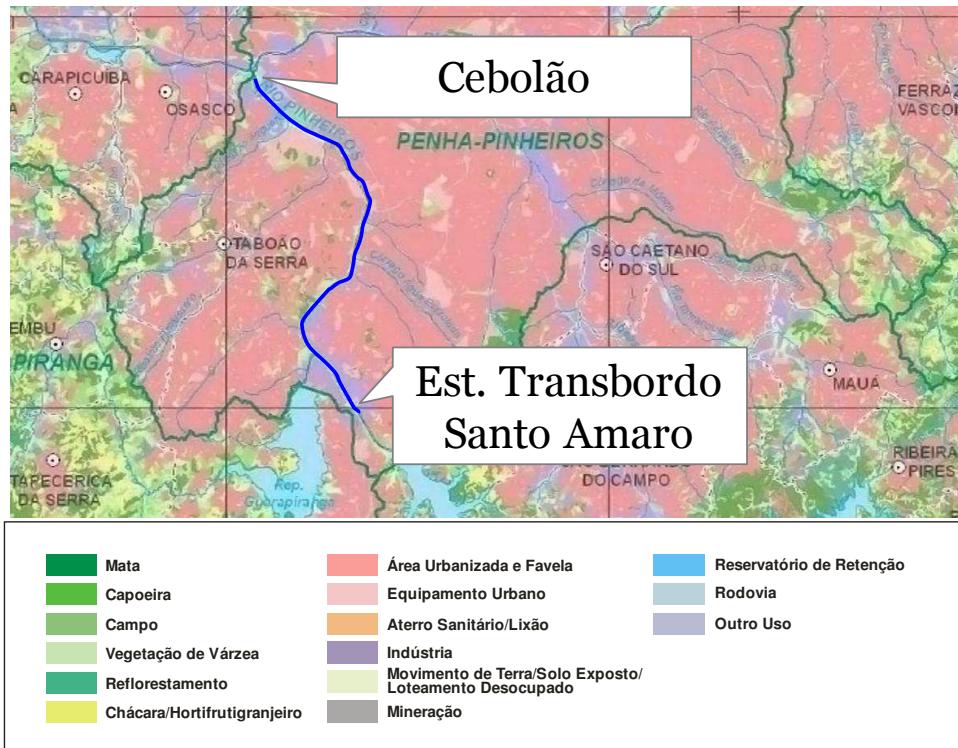
O trecho do rio Tietê entre a barragem Edgar de Souza até a Estação de Transbordo de Ponte Pequena a predominância é de áreas urbanizadas. A vegetação

remanescente se encontra concentrada em Santana de Parnaíba ou constituindo diminutas áreas dispersas.



**Figura 22: Uso do solo no trecho entre Edgar de Souza e Estação de Transbordo Ponte Pequena (Fonte: PAT/FUSP, 2009 apud AMBIENTAIS, 2011)**

Assim como o trecho do rio Tietê, o trecho que compreende o rio Pinheiros (Cebolão até a Estação de Transbordo Santo Amaro) também tangencia trechos de intensa urbanização, praticamente sem espaços relevantes com vegetação nativa remanescente.



**Figura 23: Uso do solo no trecho entre Cebolão e Estação de Transbordo Santo Amaro (Fonte: PAT/FUSP, 2009 apud AMBIENTAIS, 2011)**

Aspectos geológicos, geotécnicos, geomorfológicos-pedológicos e hidrogeológicos estão contemplados no Anexo 12.2.

## 2.2.6 IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E MEDIDAS MITIGADORAS E MAXIMIZADORAS

Antes de iniciar a identificação e avaliação dos impactos ambientais, cabe relembrar a importância da inclusão do modal hidroviário e da URE no contexto ambiental. A proposta é base para um projeto de aterro zero, adequado para um contexto urbano, no qual terras para a disposição de lixo estão cada dia mais escassas e mais longínquas do ponto onde são gerados os resíduos.

A alternativa ainda coaduna com o PNLT ao propor a substituição do modal rodoviário para o hidroviário, para ser utilizada em parte da logística do transporte de lixo. Colabora também com a PEMC<sup>15</sup>, que prevê que o Estado de São Paulo reduzirá em 20% suas emissões de gás carbônico até 2020, em relação aos níveis de 2005, passando de 122 milhões de toneladas emitidas por ano para um patamar de 98 milhões de toneladas.

Isso posto, a partir do diagnóstico realizado na região, são identificados e avaliados os impactos ambientais decorrentes da viabilização dos trechos estudados, propostos no item 2.2.3. A identificação dos impactos foi adaptada de Ambientais (2011) para os trechos em questão. Cabe ressaltar que o foco é na fase de operação e, portanto, na operação dos terminais e no transporte hidroviário.

A avaliação é realizada fazendo-se uso dos seguintes atributos:

- Natureza do impacto – indica a característica do impacto esperado: Positivo (PO) – desencadeia benefícios para as áreas de influência

<sup>15</sup> Política Estadual de Mudanças Climáticas, instituída pela Lei 13.798, de 9 de novembro de 2009

- Negativo (NE) – provoca danos nas áreas de influência
- Duração do impacto - indica a durabilidade apresentada pelo impacto:
    - Temporário (TE) – sua ocorrência tem duração determinada
    - Permanente (PE) – ocorre durante toda a vida útil do empreendimento
  - Relevância do impacto – indica a importância do impacto tanto em relação ao fator ambiental afetado quanto em relação ao outros impactos e é classificada como:
    - Baixa relevância (BR)
    - Média relevância (MR)
    - Alta relevância (AR)

**Tabela 9: Síntese dos impactos ambientais (adaptada de AMBIENTAIS (2011))**

FATOR		IMPACTOS/ ASPECTOS	IMPACTOS						
			NAT.		DUR.		RELEVÂNCIA		
FÍSICO	AR	Diminuição das emissões de gases, poeiras e ruídos devido à retirada de carretas das vias urbanas de São Paulo	X			X			X
		Emissões de ruídos, poeiras e gases durante as operações de transporte de lixo		X		X	X		
	ÁGUA	Diminuição da poluição hídrica devido à retirada de circulação de veículos pesados das vias urbanas, o que contribui para a diminuição de substâncias tóxicas dissolvidas e carreadas pelas chuvas	X			X			X
		Contaminação da água por óleos e combustíveis durante os deslocamentos hidroviários		X		X	X		
		Poluição da água por resíduos sólidos de baixa relevância e permanente durante os deslocamentos, em consequência de acondicionamento indevido da carga ou acidentes		X		X	X		
	SOLO	Contaminação do solo por óleos e combustíveis, e poluição por resíduos sólidos durante as operações de pátio (descarregamento, estocagem, estacionamento, etc.)		X		X	X		
	QUALIDADE ÁGUA	Alterações na qualidade da água devido ao menor aporte de substâncias tóxicas dissolvidas na água e carreadas pelas chuvas até os rios e reservatórios	X			X			X
		Alterações na qualidade da água devido ao derramamento de óleos/combustíveis e resíduos sólidos nos deslocamentos hidroviários		X		X	X		
	QUALIDADE	Alterações na qualidade do ar em	X			X			X

	DO AR	decorrência de menores emissões de gases poluentes, devido à retirada de veículos pesados das vias urbanas da RMSP						
		Alterações na qualidade do ar devido a emissões de ruídos, poeiras e gases durante as operações de pátio e transporte de lixo (descarregamento, estocagem, estacionamento, etc.)		X	X		X	
	TRÂNSITO	Alterações no trânsito nas vias marginais e avenidas devido retração da frota de veículos pesados que hoje transportam cargas pelas vias urbanas da RMSP e que passarão a ser transportadas pela hidrovia, permitindo melhorar o fluxo de veículos e diminuir os riscos de acidentes	X			X		X
	POPULAÇÃO	Melhoria na qualidade de vida das pessoas devido: à oferta de novos empregos no setor de transporte hidroviário e atividades acessórias: terminais, pátios, entrepostos, etc.; menor incidência de doenças respiratórias em consequência das baixas emissões de gases poluentes e aos melhoramentos no trânsito urbano pela retirada de caminhões e carretas das vias marginais	X			X		X

Foram também levantados outros impactos em Relatório de Impacto Ambiental (Rima) de empreendimentos com características semelhantes ao estudado nesse Trabalho, tais como terminais, portos e estaleiros e usinas termoelétricas. Pela diferença na exposição desses dados na bibliografia consultada, optou-se por listá-los em outra tabela (Tabela 10).

**Tabela 10: Outros impactos ambientais levantados**

FATOR	IMPACTOS
QUALIDADE DO AR	Odor desagradável nas áreas próximas ao terminal (Negativo)
SOLO	Possibilidade de contaminação do solo por chorume (Negativo)
	Possível contaminação do solo pelo descarte inadequado de escórias e cinzas (Negativo)
TRÂNSITO	Pressão sobre infraestrutura de serviço público (trabalhadores indo para o serviço) (Negativo)

A resolução 001/ 86 do CONAMA estabelece que estudos de impacto ambiental devam listar propostas para minimizar os impactos negativos e maximizar os positivos. Destarte, Ambientais (2011) elencou algumas dessas medidas, tomando como base as seguintes definições:

- Medidas Mitigadoras: são aquelas destinadas a reduzir os efeitos do impacto negativo e representam qualquer tipo de intervenção que tenha por finalidade

abrandar ou até eliminar o grau de negatividade de um impacto ambiental qualificado como indesejável.

- Medidas Maximizadoras: são aquelas que têm por função aumentar os efeitos positivos provocados ou induzidos por determinada ação do empreendimento. As medidas são a seguir apresentadas por grupos de impactos considerados semelhantes.

**Tabela 11: Medidas mitigadoras e maximizadoras por grupos de impactos considerados semelhantes (adaptada de AMBIENTAIS (2011))**

<b>Impactos e medidas</b>	<b>Tipo de medida</b>	
	<b>MIT</b>	<b>MAX</b>
<b>Emissões de gases poluentes / Qualidade do ar</b>		
- Fazer manutenção preventiva de máquinas e equipamentos	X	
- Promover o treinamento de operadores	X	
- Monitorar as fontes emissoras seguindo a metodologia regulamentada	X	
- Avaliar regularmente: NOx, TRS e outros poluentes	X	
<b>Emissões de poeiras e particulados / Qualidade do ar</b>		
- Obrigar a utilização de equipamentos de proteção individual pelos funcionários expostos a esse impacto	X	
<b>Contaminação e poluição da água / Qualidade da água</b>		
- Instalar sistemas de contenção do tipo bandejas metálicas, diques definitivos e/ou temporários ou bacias impermeabilizadas para evitar eventuais vazamentos em equipamentos estacionários	X	
- Orientar as equipes envolvidas diretamente no uso ou manuseio de produtos químicos quanto ao manejo e descarte dos resíduos	X	
- Disponibilizar áreas para armazenamento de produtos químicos, bem como estruturas de contenção para possíveis vazamentos	X	
<b>Erosão do solo / Qualidade do ar e da água</b>		
- Proteger taludes de cortes e/ou aterros	X	
- Instalar bermas transversais para reduzir o escoamento superficial das águas pluviais, diminuindo, assim, a intensidade da erosão hídrica	X	
<b>Contaminação do solo / Qualidade da água</b>		
- Efetuar o abastecimento e a manutenção dos veículos em local apropriado, provido de caixa separadora de água e óleo	X	
- Providenciar um conjunto de ferramentas para emergência, contendo, no mínimo, pá, enxada, luvas, cavadeira manual e, principalmente, materiais absorvedores hidrófobos (turfas desidratadas) de alto poder de absorção de óleos	X	
- Fazer a fiscalização dos veículos automotores e de máquinas para verificar o mau funcionamento e vazamentos por não conformidades	X	
- Dar destino adequado ao chorume	X	
<b>Trânsito</b>		
- Elaborar um Plano de Atendimento a Acidentes com Produtos Perigosos	X	
<b>Emprego</b>		
- Promover orientação e treinamento específicos, para qualificar a mão de obra necessária		X
- Implementar programa de comunicação social com divulgação das oportunidades de trabalho e dos pré-requisitos necessários		X
- Promover parcerias com instituições profissionalizantes para melhor aproveitamento da mão de obra local		X
- Promover orientação e treinamento específicos para qualificar a mão de obra necessária		X
<b>População</b>		

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Privilegiar a força de trabalho local na contratação das obras</li> <li>- Promover orientação e treinamento específicos para melhorar o grau de qualificação da mão de obra</li> <li>- Promover esclarecimentos quanto à quantidade, ao perfil e à qualificação da mão de obra que será contratada</li> </ul>		X X
--	--	--------

Os programas propostos (Tabela 12) visam organizar as ações propostas previamente.

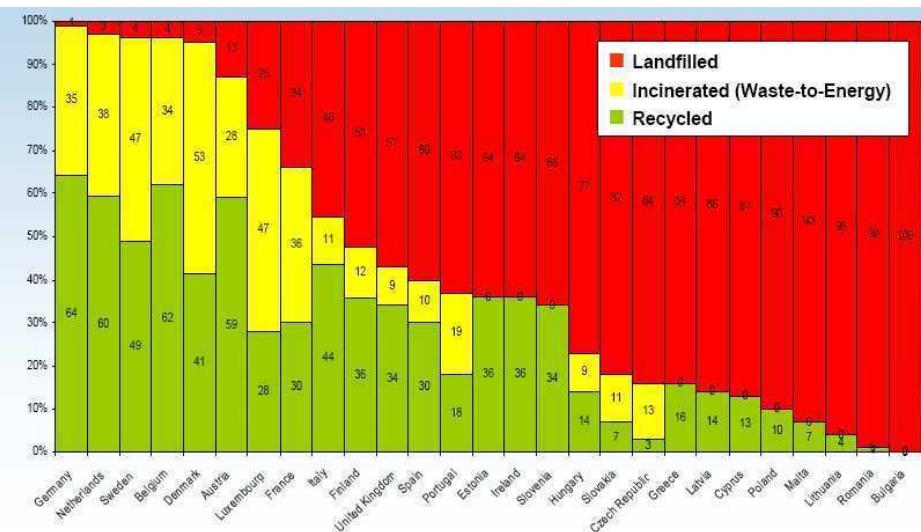
**Tabela 12: Programas ambientais propostos (adaptada de AMBIENTAIS (2011))**

<b>Medidas e Programas</b>	<b>Tipo de medida</b>	
	<b>MIT</b>	<b>MAX</b>
<b>Programa de Comunicação Social</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementar programa de comunicação social com divulgação das oportunidades de trabalho e dos pré-requisitos necessários</li> <li>- Promover esclarecimentos quanto à quantidade, ao perfil e à qualificação da mão de obra que será contratada</li> </ul>		X
<b>Programa de Treinamento e Capacitação de Mão de Obra</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Promover orientação e treinamento específicos para qualificar a mão de obra necessária</li> <li>- Privilegiar a força de trabalho local na contratação das obras</li> <li>- Promover parcerias com instituições profissionalizantes para melhor aproveitamento da mão de obra local</li> <li>- Promover o treinamento de operadores</li> </ul>	X X X	X X
<b>Programa de Prevenção e Emergência para Contaminação</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaborar um Plano de Atendimento a Acidentes com Produtos Perigosos</li> <li>- Fazer a fiscalização dos veículos automotores e de máquinas para verificar o mau funcionamento e vazamentos por não conformidades</li> <li>- Dar destino adequado ao chorume</li> <li>- Efetuar o abastecimento e a manutenção dos veículos em local apropriado, provido de caixa separadora de água e óleo</li> <li>- Providenciar um conjunto de ferramentas para emergência, contendo, no mínimo, pá, enxada, luvas, cavadeira manual e, principalmente, materiais absorvedores hidrófobos (turfas desidratadas) de alto poder de absorção de óleos</li> </ul>	X X X X X	
<b>Programa de Proteção ao Solo</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fiscalizar os veículos automotores para verificar mau funcionamento e vazamentos por não conformidades</li> <li>- Instalar bermas transversais para reduzir o escoamento superficial das águas pluviais, diminuindo, assim, a intensidade da erosão hídrica</li> </ul>	X X	
<b>Programa de Controle e Monitoramento da Qualidade do Ar</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Obrigar a utilização de equipamentos de proteção individual pelos funcionários expostos a esse impacto</li> <li>- Promover permanente manutenção mecânica preventiva e corretiva dos equipamentos de britagem e outros no sentido de que não sejam emitidos níveis de ruído além daqueles previstos</li> <li>- Fazer manutenção preventiva de máquinas e equipamentos</li> <li>- Monitorar as fontes emissoras seguindo a metodologia regulamentada</li> <li>- Avaliar regularmente: Nox, TRS e outros poluentes</li> </ul>	X X X X X	
<b>Programa de Controle e Monitoramento da Qualidade de Água</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalar sistemas de contenção do tipo bandejas metálicas, diques definitivos e/ou temporários ou bacias impermeabilizadas para evitar</li> </ul>	X	

eventuais vazamentos em equipamentos estacionários		
- Orientar as equipes envolvidas diretamente no uso ou manuseio de produtos químicos quanto ao manejo e descarte dos resíduos	X	
- Disponibilizar áreas para armazenamento de produtos químicos, bem como estruturas de contenção para possíveis vazamentos	X	

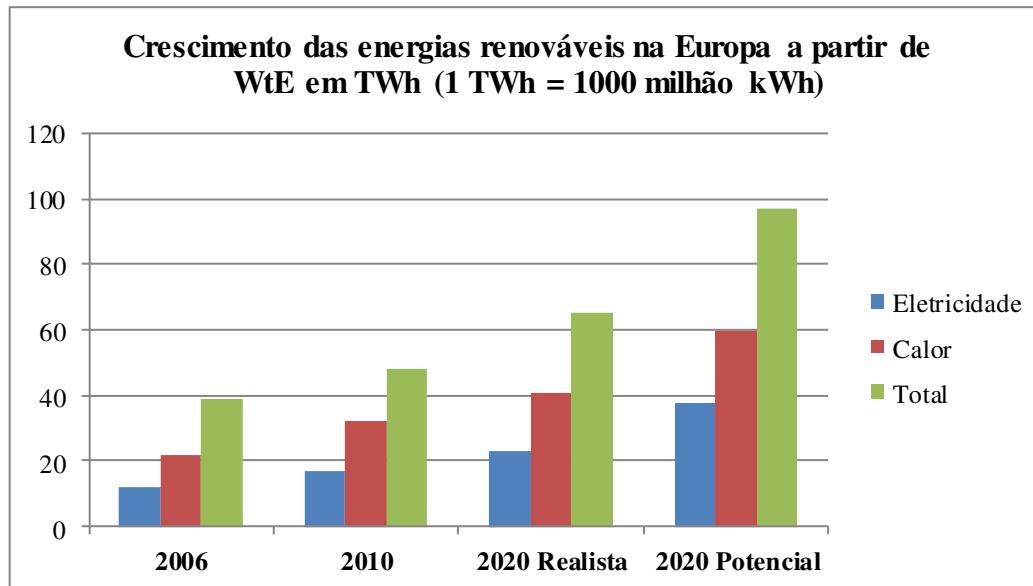
## 2.3 INCINERAÇÃO COM POSTERIOR GERAÇÃO DE ENERGIA

Diante da escassez de áreas para a construção de aterros, diversos países estão passando a utilizar incineradores, muitas vezes recuperando energia e mudando sua matriz energética com essa queima, em um sistema denominado *Waste-to-Energy*. A Figura 24 mostra alguns desses países e a porcentagem de energia utilizada decorrente da queima de resíduos.



**Figura 24: Utilização dos resíduos sólidos com potencial de geração de energia na Europa**  
(Fonte: CORY ENVIRONMENTAL, 2010 apud CILIP, 2011)

Adicionalmente, a Figura 25 mostra a evolução do uso desse tipo de energia e as projeções para 2020.



**Figura 25: Crescimento do uso de energia recuperada do resíduos sólidos na Europa (Fonte: CORY ENVIRONMENTAL, 2010 apud CILIP, 2010)**

Em Londres, por exemplo, atualmente, todo o lixo não reciclável da cidade é usado para gerar energia na planta de Belvedere. A geração é de 66MW, quantidade suficiente para abastecer cerca de 100.000 casas<sup>16</sup>. A Figura 26 mostra a planta e a conexão com o rio.



**Figura 26: Planta de Belvedere (Fonte: GoogleMaps, www.letsrecycle.com e Fichtner)**

<sup>16</sup> City of London achieves zero to landfill status, disponível em [http://www.cityoflondon.gov.uk/Corporation/media\\_centre/news\\_2011/city\\_landfill\\_status.htm](http://www.cityoflondon.gov.uk/Corporation/media_centre/news_2011/city_landfill_status.htm) (acesso em 25 de abril de 2012).

### 2.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

Há neste Trabalho de Formatura o intuito de se estudar possíveis soluções para a destinação do lixo urbano. Além do aterro sanitário, como é feito hoje, uma das alternativas propostas adiante considera o tratamento dos resíduos por meio de incineração em Usinas de Recuperação Energética (URE). Segundo a definição da Secretaria do Meio Ambiente, URE é qualquer unidade que utiliza o tratamento térmico em resíduos sólidos com geração de energia térmica pela combustão. No Brasil ainda não há usinas como essa, sendo a incineração utilizada apenas como tratamento de resíduos perigosos (classe I) sem aproveitamento para geração de energia (ECOURBIS, 2012).

A tecnologia de combustão do lixo com geração de energia já está consolidada na Europa, Estados Unidos e Japão. Seguindo essa tendência, em 2009 foi elaborada a Resolução SMA 079 pela Secretaria do Meio Ambiente, em parceria com instituições internacionais, baseada nas normas europeias, que são as mais rigorosas do mundo no quesito ambiental. Como uma cartilha, ela abrange todos os aspectos de construção e operação de UREs, como materiais que podem ser destinados, controle de emissões, áreas de armazenamento, linhas de triagem, equipamentos de geração de energia, sistema de tratamento de águas residuais, dentre outros (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 2010).

O processo de tratamento térmico nas UREs consiste na incineração dos resíduos sólidos urbanos a temperaturas de cerca de 900 °C. O calor gerado é utilizado para a formação de vapor que gera energia ao passar pelas turbinas, seguindo o mesmo conceito de termoelétricas de carvão. Após o aquecimento da água, os gases oriundos da queima do lixo são resfriados rapidamente para que seja minimizada a formação de dioxinas e furanos. São instalados filtros e equipamentos para o controle contínuo, para que sejam garantidos níveis de emissões de poluentes inferiores aos estipulados pela Resolução SMA 079/ 2009. A Figura 27 e a Figura 28 mostram o arranjo e o processo de uma URE.

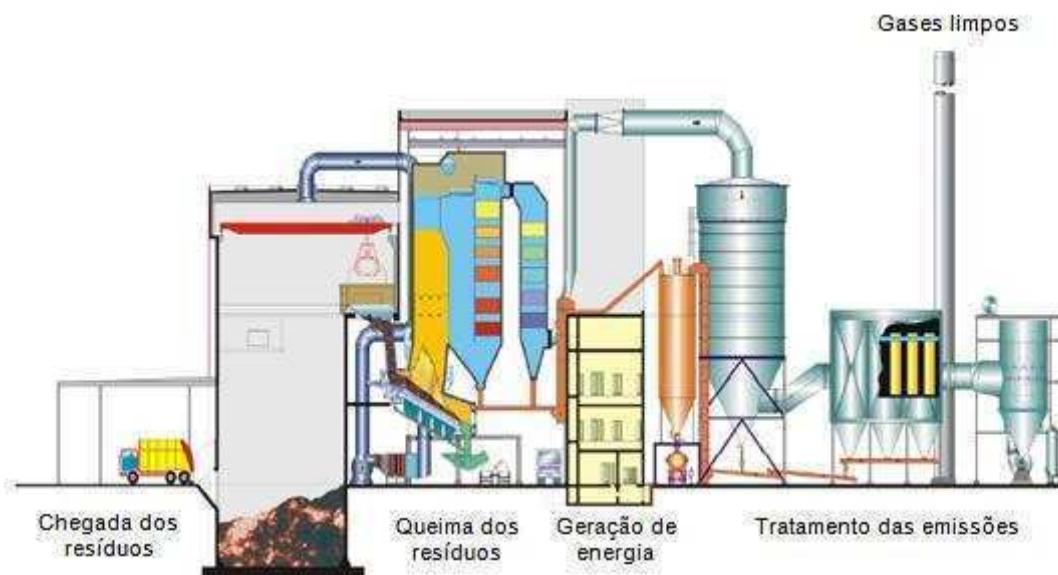
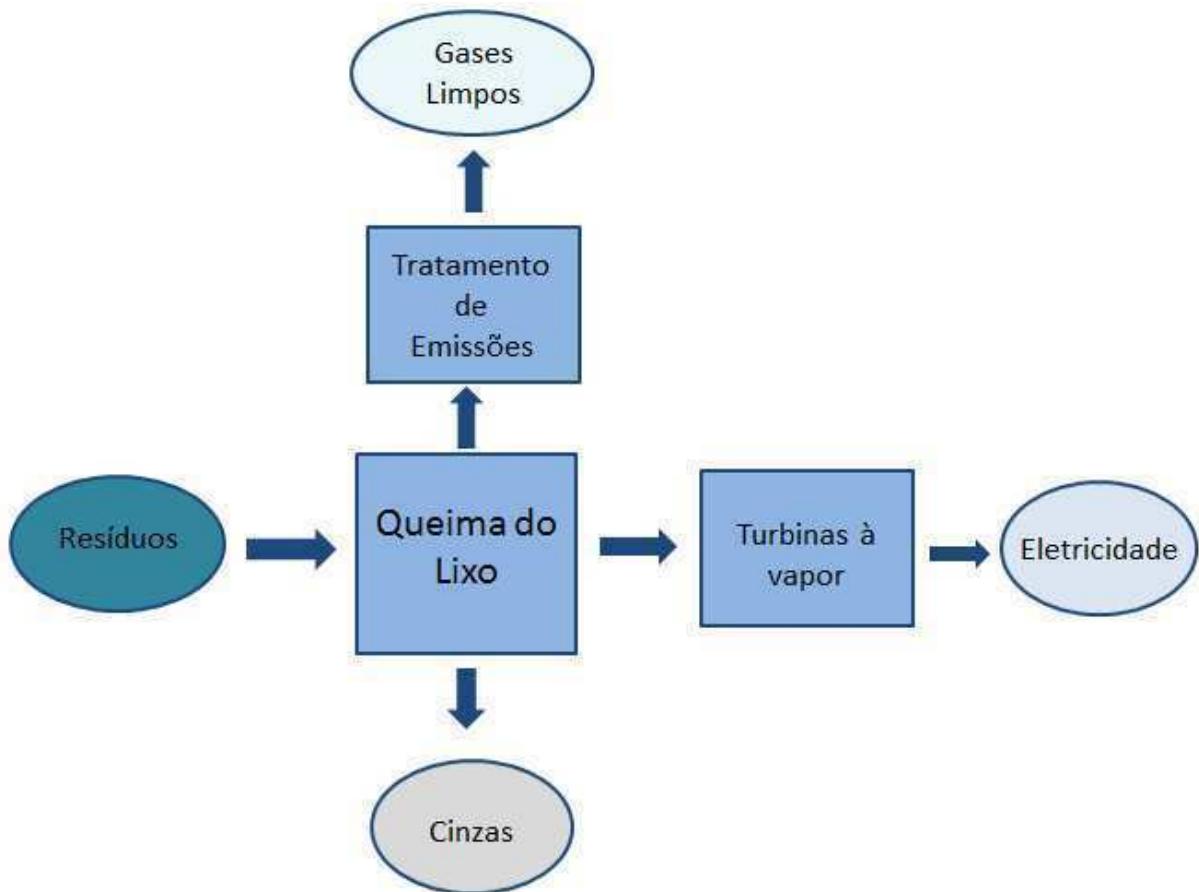
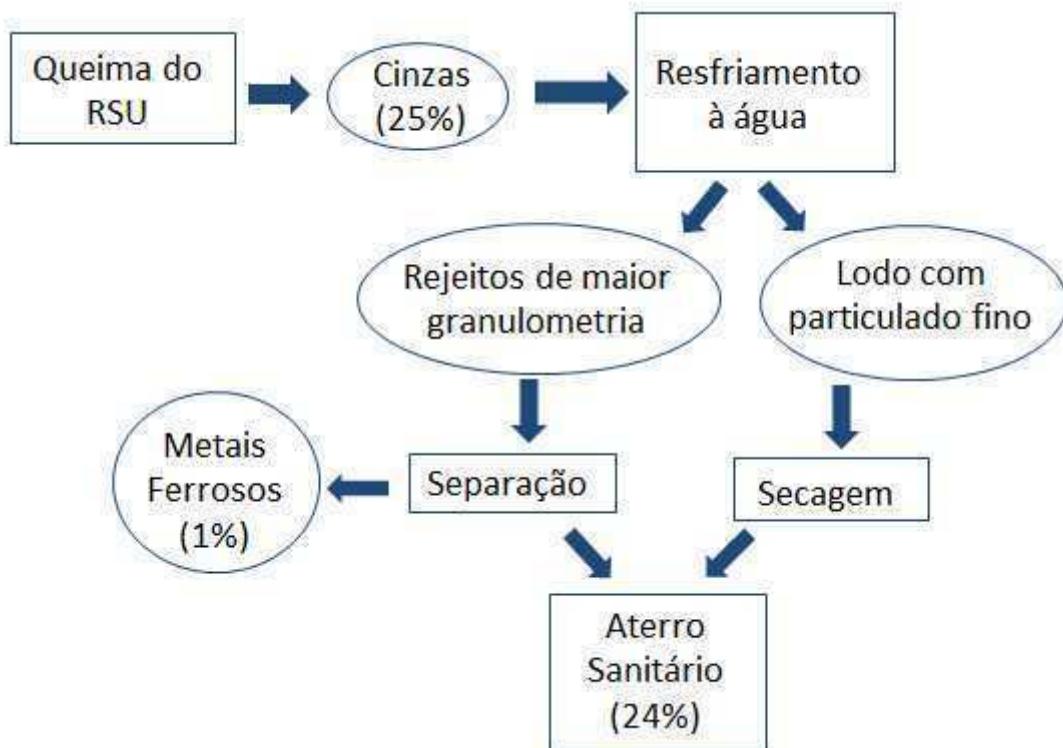


Figura 27: Arranjo típico de uma URE (EMAE, 2012)



**Figura 28: Processo de tratamento térmico de resíduos sólidos em URE (Fonte: adaptado de EMAE, 2012)**

As cinzas de fundo resultantes da incineração tem massa equivalente a 25% da massa que entrou inicialmente no forno. Ao final da incineração, essa escória passa por um resfriamento à água, separando o particulado fino que forma um lodo dos rejeitos de maior granulometria. Estes rejeitos maiores sofrem um processo de separação para a retirada dos metais ferrosos, cerca de 1% da massa de RSU incinerada, que pode ser destinado à reciclagem, com possibilidade de receita com a sua venda. O restante do material é triturado. Paralelamente, o lodo oriundo do resfriamento da escória é decantado e depois encaminhado ao site da usina, onde passa por uma secagem natural e aguarda juntamente com o material granulado os caminhões que os levarão para o aterro (EMAE, 2012). Na Figura 29, o processo é ilustrado e, na Figura 30, são mostradas imagens de escória.



**Figura 29: Processo de tratamento das escórias da incineração de RSU**

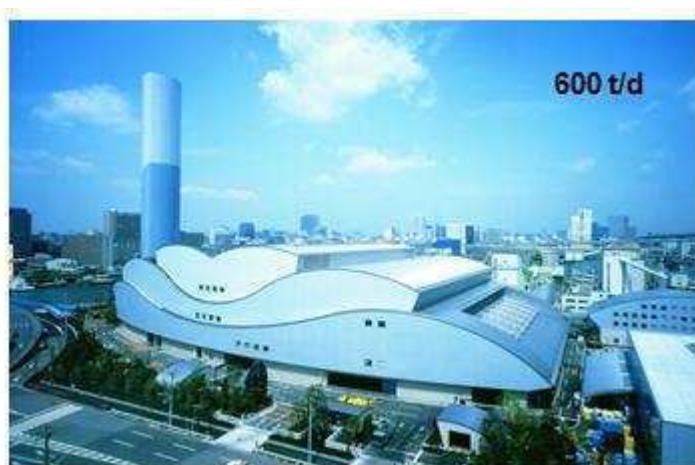


**Figura 30: Escória (Fonte: GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011)**

O conceito de incineração do lixo é uma solução com foco na diminuição do material que vai para os aterros. A redução apresentada pelos incineradores, em geral, é da ordem de 90% em volume e 75% em massa do total que chega às usinas (EMAE, 2012). A geração de energia é apenas um aproveitamento do produto do processo, o calor, com a função de melhorar a viabilidade do sistema. Não se pretende empregar UREs como matriz energética.

Para melhor aproveitamento, é recomendado que seja feita a separação dos materiais recicláveis contido no lixo urbano. Isso não é uma condição imposta pelo forno, uma vez que é possível incinerar todo material componente do lixo urbano, mas sim, porque a reciclagem é o melhor tratamento para resíduos, devido à economia que gera em matérias primas e energia na fabricação de novos produtos. Além disso, a diminuição de metais pesados e plásticos, na incineração, diminui também a emissão de poluentes. A triagem pode ser feita em centrais de reciclagem, que se apoiam na coleta domiciliar seletiva ou na coleta feita por catadores. Seja com ou sem triagem prévia à incineração, a URE só será operacionalmente viável se o material chegar à usina pronto para ir aos fornos, de modo que não haja interrupção do fluxo ou adição de processos ao sistema (EMAE, 2012).

Nos países em que há tecnologia da geração de energia a partir do tratamento térmico de RSUs, as usinas são instaladas próximas a áreas urbanas (Figura 31), pois não há restrição quanto a sua localização, uma vez que suas emissões são rigidamente controladas e não conferem ameaça à sociedade. Por isso, os aspectos a se considerar na escolha da localização são no âmbito dos planos de desenvolvimento da cidade e de uso futuro da área. Também se deve ater às análises logísticas das distâncias das fontes geradoras de lixo, dos mercados consumidores de energia e dos aterros para despejo dos rejeitos.



**Figura 31: URE em Tóquio, Japão (Fonte: EMAE, 2012)**

Caracterizado o aterro e a usina de reaproveitamento energético, cabe nesse ponto mostrar um quadro comparativo entre as duas alternativas.

**Tabela 13: Comparação entre aterro e usinas de incineração (FONTE: Paro; Costa e Coelho, 2008)**

Aterros Sanitários	Usina de Incineração
VANTAGENS	VANTAGENS
• Recebem os RSUs praticamente da	• Reduz 70 a 75% da massa e 90% do

<p>maneira como são recolhidos, através das estações de transbordo;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispõem do lixo de maneira adequada ambientalmente;</li> <li>• Geram biogás que pode ser capturado e aproveitado;</li> <li>• Exige a captura e o tratamento do chorume;</li> <li>• Emissão de carbono é distribuída no tempo, uma vez que o ciclo de vida de um aterro é de em média 40 anos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• volume dos RSUs;</li> <li>• Incentiva a triagem e reciclagem de materiais, uma vez que alguns deles não podem ser inseridos no incinerador;</li> <li>• Não exige grandes áreas como o aterro, apenas a área da usina;</li> <li>• Inexistem o chorume;</li> <li>• Elimina emissões de metano (<math>\text{CH}_4</math>);</li> <li>• Gera significativa quantidade de energia elétrica, reduzido a queima de combustíveis fósseis em termelétricas.</li> </ul>
<b>DESVANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exige grandes áreas para implantação;</li> <li>• Impossibilita o uso da área por muitos anos após o fechamento do aterro;</li> <li>• Exige topografia adequada;</li> <li>• Provoca grande movimentação de terra e resíduos;</li> <li>• Gera menor quantidade de energia elétrica ao longo do tempo;</li> <li>• Após capacidade esgotada, exige ainda cuidados e manutenção por pelo menos 30 anos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessita tratamento do lixo urbano para retirada de metais, vidro, redução de resíduos de alimentos e umidade, antes do envio para incineração;</li> <li>• Emite grande quantidade de <math>\text{CO}_2</math>, mas tais emissões podem ser compensadas com as respectivas reduções nas termelétricas;</li> <li>• Pode emitir poluentes como CO, <math>\text{SO}_x</math>, <math>\text{NO}_x</math>, material particulado, dioxinas e furanos caso medidas mitigatórias não sejam tomadas.</li> </ul>

Paro; Costa e Coelho (2008) apresentam uma comparação entre o uso de aterro sanitário e de URE para uma mesma quantidade de RSU produzida. O estudo calcula a energia gerada em cada alternativa (através da queima do biogás, no aterro, ou da incineração do RSU, na URE) e a emissão de gás carbônico resultante do processo. Os resultados obtidos no estudo são mostrados na Tabela 14.

**Tabela 14: Aterro x URE - produção de energia elétrica, emissão de  $\text{CO}^2$  e preço considerado da energia produzida.**

Origem	Quantidade de RSU (t)	Energia elétrica na vida útil (kWh)	Emissão de $\text{CO}^2$ (t)	Preço da energia (R\$/MWh)
Aterro	1	114	0,0001	170
URE	1	413	0,0010	170

O preço estimado para a venda de energia elétrica gerada serve tanto para a energia oriunda da queima de biogás quanto para a resultante da incineração de RSUs em UREs. O valor apresentado na Tabela 14 também foi estimado por Paro; Costa e Coelho (2008).

### 2.3.2 EMISSÕES DO PROCESSO DE INCINERAÇÃO

A Resolução SMA 079/2009, além de estabelecer as condições operacionais, determina também os limites de emissão dos resíduos decorrentes do aproveitamento energético do tratamento térmico de resíduos sólidos, em Usina de Recuperação de Energia (URE).

Sobre as emissões gasosas, a Resolução SMA 079/2009 menciona o Decreto Estadual nº 8468/1976, que regulamenta a Lei nº 997/1976. De acordo com a legislação, fica proibida a emissão de substâncias odoríferas na atmosfera em quantidades que possam ser perceptíveis além dos limites do empreendimento.

A mesma Resolução estabelece limites para emissões de poluentes, como mostrado na Tabela 15,

Tabela 16, Tabela 17 e Tabela 18.

Para que sejam considerados atendidos os limites de emissão, é preciso que os valores médios diários medidos sejam menores do que os valores listados na coluna correspondente da Tabela 15. Ainda, nenhum dos valores médios, de intervalos de 30 minutos, deve ultrapassar qualquer dos limites de emissão listados na coluna correspondente a 100% do tempo. Além disso, 97 % dos valores médios anuais, de intervalos de 30 minutos, não deve ultrapassar os valores listados na coluna correspondente a 97% do tempo.

**Tabela 15: Limites de Emissão para Poluentes a serem Monitorados**

**Continuamente, valores expressos em mg/Nm<sup>3</sup>, base seca, corrigidos a 11% de O<sub>2</sub><sup>17</sup> (Fonte: Resolução SMA 079/2009)**

Parâmetro	Limite de emissão		
	Valor médio diário	Valores médios de 30 min	
		97% do tempo	100% do tempo
Material Particulado (MP)	10	10	30
Óxido de Enxofre (SO <sub>x</sub> ), 50 expressos em SO <sub>2</sub>	50	50	200
Óxidos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> ), 200 expressos em NO <sub>2</sub>	200	200	400
Ácido Clorídrico (HCl)	10	10	60
Ácido Fluorídrico (HF)	1	2	4
Hidrocarbonetos Totais - HCT (expresso como metano e 10 não metano)	10	10	20

<sup>17</sup> Caso os resíduos sejam tratados em uma atmosfera com níveis maiores de oxigênio, há necessidade de correção dos resultados das medições para o teor estabelecido pela legislação.

**Tabela 16: Limites de Emissão para Substâncias Inorgânicas Específicas, valores médios obtidos durante o período de amostragem mínimo de 30 minutos e máximo de 8 horas, expressos em mg/Nm<sup>3</sup> (miligrama por normal metro cúbico), base seca, corrigidos a 11% de O<sub>2</sub><sup>18</sup> (Fonte: Resolução SMA 079/2009)**

Parâmetro	Limites de emissão
Cd + Tl e seus compostos	0,05
Hg e seus compostos	0,05
Pb + As + Co + Ni + Cr + Mn + Sb + Cu + V e seus compostos	0,5

**Tabela 17: Limites de Emissão de Dioxinas e Furanos, valores médios obtidos durante o período de amostragem mínimo de 30 minutos e máximo de 8 horas, expressos em ng/Nm<sup>3</sup> (nanograma por normal metro cúbico), base seca, corrigidos a 11% de O<sub>2</sub>, referente à concentração total de dioxinas e furanos calculadas com base no conceito de equivalência tóxica de acordo com o Anexo 12.3 (Fonte: Resolução SMA 079/2009)**

Parâmetro	Limites de emissão
Dioxinas e Furanos	0,1

A Resolução também cita que nenhum dos valores médios ao longo do período de amostragem fixado para substâncias inorgânicas específicas, dioxinas e furanos deve superar os valores da

Tabela 16 e da Tabela 17.

**Tabela 18: Limites de Emissão para Monóxido de Carbono (CO) a serem Monitorados Continuamente, valores expressos em mg/Nm<sup>3</sup>, base seca,**

---

<sup>18</sup> Caso os resíduos sejam tratados em uma atmosfera com níveis maiores de oxigênio, há necessidade de correção dos valores.

**corrigidos a 11% de O<sub>2</sub> (Fonte: Resolução SMA 079/2009)**

<b>Parâmetro</b>	<b>Limite de emissão</b>
Valor médio diário para o monitoramento contínuo de um período de um ano	50
Valores médios de intervalos de 10 minutos para o monitoramento contínuo do período de um dia	150
Valores médios de intervalos de 30 minutos para o monitoramento contínuo do período de um dia	100
Valor médio por hora para o monitoramento contínuo de UREs que utilizam tecnologia de leito fluidizado.	100

Com relação à emissão de CO, o artigo 9º da referida Resolução versa que não deverão ser excedidos os limites de emissão para monóxido de carbono (CO) nos gases de combustão, excluindo as fases de partida e parada, expressos na Tabela 18, conforme os seguintes critérios: (I) em 97% do valor médio diário para o monitoramento contínuo de um período de um ano; (II) em 95 % das medições de valores médios de intervalos de 10 minutos ou em 100% dos valores médios de intervalos de 30 minutos, para o monitoramento contínuo do período de um dia e; (III) em 100% o valor médio por hora para o monitoramento contínuo de Usina de Recuperação de Energia que utilizem tecnologia de leito fluidizado.

Sobre os efluentes líquidos, a Resolução SMA 079/2009 determina que o lançamento deva atender aos padrões do Decreto 8.468/1976 que regulamenta a Lei 997/1976, e a Resolução Conama 357/2005, além das alterações decorrentes da Resolução Conama 397/2008.

Deve-se ainda mencionar a existência da Resolução 430/2011 que complementa e altera a Resolução 357/2005 e que regulamenta as condições e padrões do lançamento de efluentes “oriundos de sistemas de disposição final de resíduos sólidos de qualquer origem” (Art. 16, Parágrafo 1 da Resolução 430/2011). Os parâmetros estão descritos na Tabela 19.

**Tabela 19: Padrões de lançamento de efluentes (Fonte: Resolução 430/ 2011)**

<b>Parâmetros inorgânicos</b>	<b>Valores máximos</b>
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr+6
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr+3
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacial total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
Parâmetros Orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C6H5OH
Tetracloreto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

Adicionalmente, os ruídos deverão estar dentro da norma NBR nº 10.151/2000, da ABNT. Os limites constam na Tabela 20.

**Tabela 20: Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A) (Fonte: NBR nº 10.151/2000, da ABNT)**

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Área de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Especificamente com relação às emissões de gás carbônico, Paro; Costa e Coelho (2008) calcula as emissões para uma usina de incineração de lixo com capacidade de processamento de 500.000 ton/ano.

O artigo calcula as emissões através do software GateCycle GE Energy e considera o poder calorífico inferior do resíduo como sendo de 10.000 kJ/kg de resíduo. Além disso, considera uma caldeira operando a 100 bar e 525°C.

Assim, simulando a queima de todo o RSU recebido durante 20 anos e considerando os parâmetros anteriormente mencionados, obtém-se um volume total de CO<sub>2</sub> emitido de 9.772,8 toneladas. Esse valor representa uma massa de 0,97 kg por tonelada de RSU queimada.

### 2.3.3 IMPACTOS AMBIENTAIS

Diferentemente do item já apresentado que versa sobre os impactos ambientais do transporte de lixo por hidrovias, esse item, apresenta, de forma superficial, apenas alguns dos impactos causados pela adoção de uma URE.

A utilização de uma URE prevê inúmeros benefícios, dentre eles a diminuição da demanda por aterros, dado que o volume de resíduos é reduzido, e a transformação do lixo em produto de alto valor agregado: a energia.

O maior problema da utilização da incineração de lixo seriam os poluentes gasosos, principalmente dioxinas e furanos. Entretanto, o sistema previsto na legislação brasileira através da Resolução SMA 79/2009 prevê a utilização da melhor tecnologia prática disponível, de forma a se ter um sistema eficiente que praticamente impede a emissão desses gases tóxicos.

Outro possível problema ambiental seriam as cinzas, escória e o efluente líquido.

Quantos aos impactos positivos, os principais são decorrentes da diminuição de veículos pesados nas marginais e avenidas de São Paulo, dado que o volume de resíduos destinados aos aterros diminui com a implantação de uma URE. Dessa forma, é esperada diminuição da emissão de GEE's e a diminuição do tráfego nas vias.

Com relação à medidas mitigadoras, pode-se citar algumas tecnologias para redução das emissões provenientes da incineração de uma URE, como mostra a Tabela 21.

**Tabela 21: Tecnologias para redução das emissões provenientes da incineração de uma URE**  
(Fonte: DAKALOPOULOS; BADR; PROBERT, 1997 apud SUZANO, 2010)

Poluente	Opções tecnológicas de controle
Material particulado	Centrifugação; precipitação eletrostática; filtração ou lavagem lavador úmido.
Ácido clorídrico (HCl)	Lavagem através do lavador a úmido
Ácido fluorídrico (HF)	Lavagem lavador semi-seco
Dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	Lavagem lavador úmido ou seco.
Óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> )	Redução catalítica ou não catalítica.
Mercúrio (Hg), cádmio (Cd) chumbo (Pb).	Igual à material particulado.
Outros metais pesados.	Igual à material particulado.
Bifenóis policlorados	Lavagem lavador semi-seco ou seco.
Dioxinas e furanos.	Igual ao material particulado ou à bifenóis policlorados.

Além disso, a Resolução SMA 79/2009 demanda monitoramento rígido das emissões, com um Sistema de Monitoramento Contínuo, definido por ela como “conjunto completo de equipamento para o monitoramento de emissões geradas na Usina de Recuperação de Energia - URE, usado para amostrar, acondicionar (se aplicável), analisar e fornecer um registro permanente das emissões ou dos parâmetros de processo”.

## 2.4 DADOS ECONÔMICO-OPERACIONAIS

### Estimativa de produção de resíduos sólidos urbanos

Para estimar a produção de resíduos sólidos urbanos, são utilizados como fontes:

- Dados históricos da população de São Paulo do IBGE

**Tabela 22: População do município de São Paulo (IBGE, 2012)**

Ano	População
1980	8.493.226
1991	9.480.427
2000	10.434.252
2007	10.886.518
2010	11.253.503

- Produção de resíduos urbanos per capita apresentada no Panorama dos Resíduos Sólidos de 2011

**Tabela 23: Panorama dos RSUs no município de São Paulo (ABRELPE, 2011)**

Região	Município	UF	População Urbana	Qtde RSU Coletada (t/dia)	Per capita (kg/hab/dia)	PIB per capita (R\$)
SE	São Paulo	SP	11.193.300	14.261,30	1,27	35.271,93

### **Custos operacionais com transporte hidroviário**

O cálculo de custos com transporte hidroviário foi realizado a partir do procedimento de cálculo proposto por CILIP (2010), que está detalhado no Anexo 12.4.

### **Custos operacionais com transporte rodoviário**

Teixeira (2007) propõe uma metodologia para o cálculo dos custos de transporte rodoviário para caminhões de cargas gerais. Sua formulação é apresentada no Anexo 12.5.

Para o cálculo dos custos com transporte é necessária a definição do modelo de caminhão. O modelo adotado foi o Volkswagen 24-280 E Constel. 6x2 2p (diesel), por se adequar aos requisitos de uso do transporte de lixo em meios urbanos e rodoviários, segundo o fabricante.

**Tabela 24: Caminhão adotado para o transporte de resíduos nos trechos rodoviários**

Parâmetros	Adotado	Referência
Modelo do caminhão	Volkswagen 24-280 E Constel. 6x2 2p (diesel)	MAN, 2012
Preço do caminhão	R\$ 210.200,00	FIPE, 2012

No que se refere aos custos com mão de obra, o Sindicato dos Empregados em Empresas Distribuidoras de Gêneros em Geral do Estado de São Paulo (SEEDESP) apresenta uma tabela de salários e outros encargos referentes ao contrato de serviços de motoristas de caminhão em vigor desde junho de 2012. A SEEDESP reforça que o empregador deve fornecer ao empregado uma cesta básica por mês ou o equivalente em espécie no valor de R\$ 83,50.

**Tabela 25: Custos com mão de obra para o transporte rodoviário**

Parâmetros	Valor	Referência
Salário	R\$ 1.264,40	SEEDESP, 2012
Cesta básica	R\$ 83,50	SEEDESP, 2012
Encargos sociais	96,14%	ANTC, 2001

A Associação Nacional de Transporte de Cargas (ANTC) em seu Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas apresenta a formulação mostrada a seguir para o cálculo do licenciamento. Na Tabela 26 estão os valores adotados para cada item. O seguro, apesar de não considerado para o licenciamento, também é apresentado.

$$LI = DPVAT + (IPVA * P_{cam}) + TL \quad (1)$$

**Tabela 26: Valores dos itens considerados no cálculo do licenciamento do veículo e seguro**

Parâmetros	Valores	Referências
Taxa de Licenciamento	21,09	SEGURO, 2012
DPVAT	105,68	SEGURO, 2012
IPVA	1,5%	LICENCIAMENTO, 2012

Seguro	4,5%	FONSECA, 2006
--------	------	---------------

Os custos variáveis são apresentados a seguir.

**Tabela 27: Custos variáveis por quilômetros percorridos considerados no cálculo operacional dos trechos rodoviários**

Parâmetros	Valores	Referências
Combustível	R\$ 2,00	CILIP, 2010
Óleos Lubrificantes	0,10 R\$/km	FONSECA, 2006
Pneus	0,08 R\$/km	ANTC, 2001
Manutenção	0,115 R\$/km	ANTC, 2001

A tabela Price é uma ferramenta amplamente utilizada em Engenharia Econômica, que pode ser empregada para calcular quanto o dinheiro investido na compra de equipamentos poderia render se aplicado à taxa mínima de atratividade. Quando o investidor é o governo, emprega-se a Selic como a taxa de juros da análise de retorno. Em outubro de 2012 a taxa Selic valia 7,25% ao ano (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2012).

### Dados logísticos

Para realizar os cálculos de custos operacionais, tanto rodoviário quanto hidroviário, são necessárias informações como distâncias percorridas, velocidades atingidas, tempo despendido nas diversas etapas do processo (carregamento do caminhão ou embarcação, saída da doca ou porto, tempo de viagem, tempo de eclusagem, etc) e taxa de consumo de combustível por cada veículo (Tabela 28).

**Tabela 28: Dados operacionais da rodovia. (Fonte: CILIP, 2010)**

Dados operacionais da rodovia	Cheio	Vazio
Tempo Carga (min)	30	
Tempo Descarga (min)	15	
Tempo para entrar na doca (min)	5	
Tempo para sair da doca (min)	5	

**Todos esses dados foram obtidos de CILIP (2010) e são apresentados abaixo, na Tabela 29 (distâncias rodoviárias), Tabela 30 (distâncias hidroviárias),**

Tabela 31 (dados operacionais da rodovia), Tabela 32 (dados operacionais da hidrovia) e Tabela 33 (velocidades e autonomia rodoviários em cada período). Na Tabela 34, apresenta-se a capacidade do contêiner, unidade de carga adotada para este estudo, por ser a capacidade do caminhão adotado.

**Tabela 29: Distâncias rodoviárias. (Fonte: CILIP, 2010).**

<b>Distâncias Rodoviárias</b>	
Ponte Pequena >> Cebolão	17,50 km
Santo Amaro >> Cebolão	23,75 km
Ponte Pequena >> Santo Amaro	41,25 km
Cebolão >> Aterro Caieiras	27,00 km
Ponte Pequena >> Aterro Caieiras	35,30 km
Santo Amaro >> Aterro Caieiras	50,75 km

**Tabela 30: Distâncias hidroviárias. Fonte: (CILIP, 2010).**

<b>Distâncias Aquaviárias</b>	
Ponte Pequena >> Cebolão	17,50 km
Santo Amaro >> Cebolão	23,75 km

**Tabela 31: Dados operacionais da rodovia. (Fonte: CILIP, 2010)**

<b>Dados operacionais da rodovia</b>	<b>Cheio</b>	<b>Vazio</b>
Tempo Carga (min)	30	
Tempo Descarga (min)	15	
Tempo para entrar na doca (min)	5	
Tempo para sair da doca (min)	5	

**Tabela 32: Dados operacionais da hidrovia. (Fonte: CILIP, 2010)**

<b>Dados operacionais da hidrovia</b>	<b>Cheio</b>	<b>Vazio</b>
Velocidade (km/h)	8,0	8,0
Tempo Carga (min)	144	86,4
Tempo Descarga (min)	144	86,4
Tempo de Atração (min)	20	
Tempo de Desatração (min)	20	

Tempo Eclusagem Cebolão (min)	20
Tempo Eclusagem Traição (min)	20
Autonomia (km/l)	0,2

**Tabela 33: Velocidades e autonomia rodoviários em cada período. (Fonte: CILIP, 2010)**

Caminhão	Dia	Noite	Pico
Velocidade a Cheio (km/h)	40	50	20
Velocidade a Vazio (km/h)	45	60	20
Autonomia ida (km/l)	2,2	2,3	2,1
Autonomia volta (km/l)	2,2	2,3	2,1
%Demanda Cargas	0,5	0,4	0,1

**Tabela 34: Capacidade do contêiner**

Capacidade do contêiner
12,76 toneladas

O fator de contingência considerado para cálculos logísticos é de 1,1. Isto significa que uma viagem cuja duração (ciclo total) for estimada em X minutos com base nos parâmetros apresentados, será considerada como levando 1,1X para efeito de dimensionamento da frota. Com isto obtém-se uma margem para imprevistos, para que eventuais atrasos de transporte não se propaguem pelo sistema.

### **Custos com tratamento dos resíduos em URE**

Em algumas alternativas de solução propostas é considerado o tratamento dos resíduos por incineração em Usinas de Recuperação Energética (URE), sendo importante o levantamento de seus custos operacionais para uma análise dos cenários.

Por ser uma tecnologia ainda não empregada no Brasil, a estimativa de custos operacionais tem muitas incertezas. Para este estudo houve um contato com a EMAE (2012), que vem há anos estudando a implantação de uma usina de tal tipo no país, para se obter o custo de operação desta solução. O valor que se obteve foi de R\$ 77,00 por tonelada de RSU que passa pela incineração. Este valor já considera os gastos com mão de obra para operação da URE, insumos, peças de reposição e destinação de rejeitos do processo, sendo este último composto por transporte e destinação em aterro (EMAE, 2012).

### **Custos com destinação dos RSUs**

As quatro alternativas de solução propostas consideram o aterro sanitário como destinação para os resíduos urbanos, por isso se faz necessário contabilizar seus custos para a composição dos cenários. Os aterros no município de São Paulo são operados por empresas particulares que prestam o serviço de recebimento do lixo à prefeitura. Será considerada como custo operacional do aterro a taxa que é cobrada do governo que em 2012, é de R\$ 60,00 por tonelada (EMAE, 2012).

### **3 ANÁLISE DOS DADOS**

#### **3.1 SITUAÇÃO ATUAL DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM SÃO PAULO**

É proposto que no presente item sejam avaliados os dados do Item 2.1.

Quanto ao Relatório de Estudos de Tráfego (CILIP, 2010), por ser um estudo realizado por entidade idônea e pela dificuldade de acesso a dados mais atuais, suas informações foram a base para a descrição e análise do cenário atual de tratamento de resíduos sólidos urbanos. Eles foram, em sua maioria, obtidos de fontes secundárias, como é condizente com um Estudo de Pré-viabilidade. Entretanto, percebe-se uma disparidade de datas entre os dados levantados, provavelmente pela não existência de dados mais recentes sobre alguns dos aspectos tratados. Houve, quando possível, a conferência dos dados com as fontes citadas e, eventualmente, a atualização dos mesmos.

Um aspecto importante a ser ressaltado é que são apresentados em CILIP, (2010) muitos dados provenientes da Empresa Ecourbis, responsável por 58% da coleta de lixo, porém não há dados da concessionária Loga, responsável pelos outros 42%. A partir disso, foram feitas buscas de dados da empresa Loga, mas sem sucesso. Neste trabalho, pretende-se analisar o transporte do lixo a partir das Estações Ponte Pequena e Santo Amaro, pelas suas localidades próximas aos rios Tietê e Pinheiros, sendo a primeira operada pela empresa Loga. Apesar da imprecisão que isso possa gerar, foi considerado que as empresas trabalhem de maneira similar, podendo estender os dados de uma para outra de maneira linear.

Há uma incoerência a respeito do número de toneladas que vai para as estações de transbordo e de lá para os aterros diariamente. A Prefeitura de São Paulo (2012) informa em seu site o valor de 1.200 mil toneladas por dia, já CILIP, (2010) informam a escala de 4.000 toneladas no transbordo de Ponte Pequena e 2.000 toneladas no de Santo Amaro. Como a própria Prefeitura de São Paulo (2012) informa que são geradas 18.000 toneladas de resíduo sólido urbano, os dados apresentados por CILIP (2010) se apresentam mais coerentes, portanto foram os adotados para o presente estudo, apesar da defasagem de dois anos.

Não foi encontrado em CILIP (2010) nem em outras fontes, como Ecourbis, Limpurb, Loga e Prefeitura de São Paulo, dados sobre os custos referentes ao sistema de coleta, transferência e armazenagem. Já o valor cobrado da prefeitura pela destinação final dos resíduos sólidos nos foi fornecido pela EMAE (2012).

##### **3.1.1 EMISSÕES EM ATERROS SANITÁRIOS**

Os resultados obtidos por Paro; Costa e Coelho (2008), apresentados no item 2.1.5, mostram que um aterro que recebe 500.000 t/ano de lixo urbano ao longo de seus 20 anos de duração emite 795.998.264 m<sup>3</sup> de biogás durante sua vida útil e após o término da operação.

Adotando esses resultados e considerando que esses valores são decorrentes de um balanço de massa, pode-se admitir que esses valores são proporcionais à quantidade de RSU recebido pelo aterro, resultando que 1 tonelada de RSU geraria, após a queima, 0,09 kg de CO<sub>2</sub>.

### **3.1.2 IMPACTOS AMBIENTAIS DE ATERROS SANITÁRIOS**

Foram listados impactos somente da fase de operação, foco desse Trabalho de Formatura. Os impactos ambientais foram levantados, sem, no entanto, serem avaliados quantitativa ou qualitativamente. As medidas mitigatórias e os programas ambientais foram levantados de forma preliminar.

## **3.2 NOVAS ALTERNATIVAS PARA O TRANSPORTE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA CIDADE DE SÃO PAULO**

### **3.2.1 TRANSPORTE HIDROVIÁRIO**

#### **3.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

O transporte hidroviário realmente é factível no trecho proposto, visto que as estações de transbordo Santo Amaro e Ponte Pequena estão ao lado dos rios. Ademais, as obras necessárias seriam somente as de clausura em Retiro e em Traição, não havendo necessidade de alterar o regime de águas na região. Havendo também a opção da realização de aumento de profundidade com obras à jusante da barragem do Cebolão.

#### **3.2.2 ESCOLHA DA EMBARCAÇÃO E DA FORMA DE TRANSPORTE DE CARGA NAS BARCAÇAS**

O cálculo das dimensões de embarcações através das normas da PIANC é consagrado na Engenharia Naval. Assim sendo, só a experiência pode avaliar quando é razoável não segui-las. Por isto, não se dispõe de conhecimento suficiente para avaliar a validade do valor adotado para a boca da chata (de 9,0 metros ao invés dos 8,0 m definidos pela PIANC), apesar de o valor ser logicamente justificável, já que permitirá aumentar a capacidade da embarcação em 50%, de 16 para 24 contêineres por nível.

A escolha de contêineres no transporte parece adequada, já que reflete tendências do transporte de RSUs em países da Europa, organizando a carga na embarcação, aumentando a flexibilidade de carregamento da chata e reduzindo o impacto visual do transporte. Pode-se argumentar que este modelo é mais caro, já que envolve o custo dos contêineres, mas também traz mais segurança no que concerne ao risco de poluição dos cursos d'água, devido à queda de resíduos mal acondicionados na embarcação.

#### **3.2.3 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO LOGÍSTICO E EXEMPLO**

O Relatório de Estudos de Tráfego (CILIP, 2010) não apresenta conclusão sobre o melhor cenário a ser adotado. O provável motivo para isto é o fato de se tratar do início de um estudo de pré-viabilidade, que exige outras etapas (como estudos ambientais e sócio-econômicos) para obter resultados comparáveis entre os diferentes cenários.

Uma análise importante para a continuidade da comparação entre cenários seria calcular o valor de venda da energia elétrica gerada, caso fosse implantada uma usina de recuperação energética. Tal valor, no longo prazo, pode ser decisivo para tornar economicamente viável a implantação do modal hidroviário, assim como a da própria usina. São necessárias análises econômica e ambiental para fornecer uma resposta neste sentido.

O Cenário 1A, Tráfego (2010) considera que 35% do lixo pode ser queimado para gerar energia. Entretanto, ele não calcula os custos rodoviários de transportar os outros 65% para o aterro sanitário (que se suporia ser o Caiueiras, por ser o mais próximo do Cebolão). Além disso, novas informações sobre UREs apontaram que todo o RSU pode ser queimado, e 25% de sua massa restará ao final do processo na forma de cinzas, exigindo transporte para o aterro sanitário (como apresentado no Item 2.3.1.). Assim sendo, os cálculos logísticos deste trabalho incluirão o transporte das cinzas das UREs ao aterro de Caiueiras.

Por fim, para poder comparar o cenário atual de transporte exclusivamente rodoviário de lixo com a opção de transporte misto hidro/rodoviário, seria necessário levantar, também, os custos de operação do transporte rodoviário, que não foram considerados em Tráfego (2010). Para isto serão utilizados os valores e os procedimentos de cálculo apresentados em 2.4 (Dados econômico-operacionais).

### **3.2.4 EMISSÕES NO TRANSPORTE**

A metodologia apresentada anteriormente foi empregada pelo CILIP, centro de pesquisa de renome, e, por tal motivo, foi considerado adequado para ser utilizado neste Trabalho de Formatura. Assim, para calcular as emissões decorrentes do transporte de RSUs, tanto pelo modal rodoviário, quanto para o hidroviário, foi utilizada a metodologia apresentada no item 2.2.4.

### **3.2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS**

O presente item irá avaliar os dados levantados no Item 2.2.5. Será avaliada a adequação do estudo apresentado e, em seguida, os dados obtidos para a elaboração do diagnóstico. Isso realizado, serão analisados os impactos e os programas obtidos na bibliografia, comparando-os às avaliações de impacto ambiental de empreendimentos semelhantes, como portos e estaleiros.

A metodologia utilizada em Ambientais (2011) é aqui comparada com os passos apresentados por Sánchez (2008) para a realização de um Estudo de Impacto Ambiental. A comparação se mostrou viável pela similaridade de objetivos: ajuda à concepção e planejamento de projetos<sup>19</sup>, apesar do primeiro não poder ser considerado um “estudo ambiental” como definido pela Resolução Conama nº 237/97, que rege:

Estudos Ambientais: são todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise

---

<sup>19</sup> Sánchez (1993) apud Sánchez 2008 cita quatro funções da Avaliação de Impacto Ambiental: ajuda à decisão, ajuda à concepção e planejamento de projetos, instrumento de negociação social e instrumento de gestão ambiental.

da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco.

(Art. 1º, Inciso III, Resolução Conama nº 237/97)

Sánchez (2008) prevê uma etapa de triagem que define se há necessidade de uma Avaliação de Impacto Ambiental (AIA). Considerando que o que se propõe aqui é um novo tratamento de lixo na cidade de São Paulo, atividade que pressupõe possíveis impactos ambientais significativos, permitindo a conclusão de que há a necessidade da realização de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para que se concretize. Cabe destacar, neste ponto, que o intuito desse trabalho não é o de realizar tal estudo, sendo o objetivo, no que tange os aspectos ambientais, o de levantar preliminarmente possíveis impactos, com base na bibliografia consultada. Ainda, o presente Trabalho se restringe à etapa de operação.

A metodologia empregada para a avaliação dos impactos ambientais é considerada coerente com a metodologia consultada na bibliografia. Cabe somente a observação de que não foram analisadas de maneira aprofundada alternativas de cenários, como é usual nesse tipo de estudo.

Quanto aos dados utilizados, esses foram obtidos de fontes secundárias, o que é coerente com Ambientais (2011). Pode-se dizer, no entanto, que algumas dessas informações estavam defasadas.

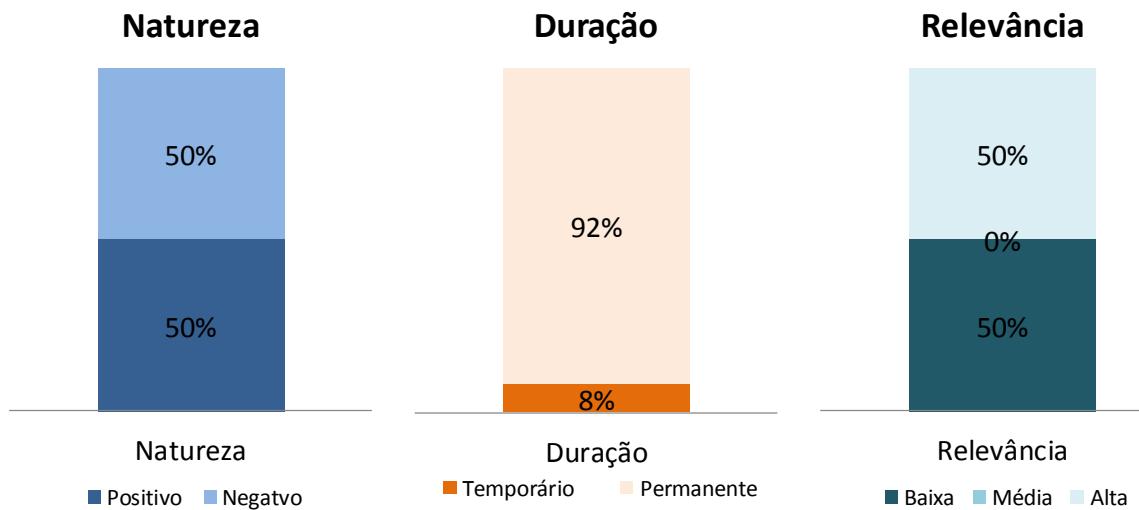
Com relação aos impactos levantados, esses foram obtidos de fontes distintas: Ambientais (2011) e Relatórios de Impacto Ambiental (Rima) de empreendimentos com características semelhantes ao estudo neste Trabalho, como por exemplo Terminal Portuário Privativo para Embarque de Minério de Ferro – Presidente Kennedy/ES, Estaleiro Jurong e Complexo Industrial e Portuário do Açu da LLX.

Em Ambientais (2011), observa-se que alguns impactos, inclusive positivos, não foram considerados, sendo, por tal motivo, complementados com os listados na Tabela 10.

Cabe nesse ponto a ressalva da importância ambiental da mudança aqui proposta. Primeiramente, deve-se destacar a diminuição na emissão de GEE's ao se optar pelo modal hidroviário em parte do transporte dos resíduos na cidade de São Paulo. Adicionalmente, espera-se uma diminuição da circulação de veículos pesados nas marginais e avenidas da cidade.

Foram 16 os impactos listados se somarmos os indicados por Ambientais (2011) e os levantados em Rimas (Tabela 9 e Tabela 10), sendo 12 do primeiro e 4 do segundo (todos negativos).

Ao considerar somente os impactos de Ambientais (2011), conclui-se que, dos 12 impactos, 6 são positivos e 6 são negativos; 1 é temporário e 12 são permanentes e 6 são de alta relevância e 6 são de baixa (Figura 32).



**Figura 32: Impactos ambientais quanto à natureza, duração e relevância**

Com relação às medidas mitigadoras e maximizadoras e aos programas sugeridos em Ambientais (2011), esses se mostraram condizentes com as demais bibliografias consultadas.

### 3.3 INCINERAÇÃO COM POSTERIOR GERAÇÃO DE ENERGIA

#### 3.3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

As informações apresentadas em relação às Usinas de Recuperação Energética foram obtidas a partir do contato com a EMAE e o CENBIO.

Em todas as etapas da elaboração do Trabalho referentes à URE, a EMAE foi consultada e auxiliou no esclarecimento de dúvidas e fornecimento de novas informações, que foram apresentadas no Levantamento de Dados.

O custo operacional de uma URE foi estimado pela EMAE (2012) em R\$77,00 por tonelada de RSU incinerada. São considerados neste custo: mão de obra da URE, insumos, peças de reposição e destinação dos rejeitos, que inclui transporte até o aterro e seu custo pelo recebimento. Como houve um estudo aprofundado para o cálculo dos custos de transporte, esta parcela foi descontada do custo operacional da URE.

É importante salientar que a produção de biogás por uma tonelada de RSU em aterro não é imediata: o estudo de Paro; Costa e Coelho (2008) afirma que uma tonelada de RSU produz 79,6 m<sup>3</sup> de biogás ao longo de toda a sua “vida útil energética”, que é composta por 20 anos de funcionamento do aterro mais 40 anos de monitoramento do aterro após o fim de sua vida (suposta de 20 anos no estudo citado). Logo, a produção de energia elétrica obtida com a queima do biogás também estará dividida em um período de 60 anos. Diferentemente, a energia elétrica produzida por uma tonelada de RSU incinerada produz energia na mesma velocidade com que ocorre o processo de incineração na URE.

Deve-se apontar, ainda, que as cinzas resultantes do processo de incineração na URE (que correspondem a 24% da massa inicial dos RSUs) levadas para o aterro não produzem biogás por serem inertes.

O preço estimado por Paro; Costa e Coelho (2008) para a venda da energia elétrica gerada é compatível com outros valores encontrados na literatura e no mercado: Hauser e Lemme (2006), estimaram o preço médio da energia em R\$ 125,00/MWh e o máximo em R\$ 170,00/MWh. Informações mais recentes, fornecidas pela EMAE por correio eletrônico em outubro de 2012, indicaram preço máximo de R\$ 190,00. Para evitar que a receita com venda de energia elétrica fosse superestimada, adotou-se preço médio de R\$ 170,00/MWh, considerando que o valor alcançado não poderá ser sempre igual ao máximo de mercado.

Nota-se que os valores adotados para o cálculo de geração de energia diferem entre os estudos de Hauser e Lemme (2006) e de Paro; Costa e Coelho (2008). Como o segundo foi realizado por especialistas em bioenergia, enquanto o primeiro tem ênfase econômico-financeira, optou-se por adotar os dados de Paro; Costa e Coelho (2008) neste trabalho.

### **3.3.2 EMISSÕES DO PROCESSO DE INCINERAÇÃO**

Os padrões estabelecidos pela Resolução 79/2009 são compatíveis com a melhor tecnologia prática disponível, ou seja, uma URE no Brasil deve ser implantada com o que melhor se conhece atualmente no que se refere à mitigação das emissões de poluentes.

No que tange à emissão de CO<sub>2</sub>, como mostrado no item 2.3.2, Paro; Costa e Coelho (2008) calcula as emissões para uma usina de incineração de lixo com capacidade de processamento de 500.000 ton/ano<sup>20</sup>.

Assim, simulando a queima de todo o RSU recebido durante 20 anos, obtém-se um volume total de CO<sub>2</sub> emitido de 9.773 toneladas. Esse valor representa uma massa de 0,97 kg por tonelada de RSU queimada.

#### **3.3.2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS**

Os impactos ambientais da fase de operação, as medidas mitigadoras e os programas de monitoramento foram abordados de forma muito superficial no item 2.3.3, ao contrário do item referente aos impactos do transporte hidroviário.

### **3.4 DADOS ECONÔMICO-OPERACIONAIS**

O custo operacional de uma URE foi estimado pela EMAE (2012) em R\$77,00 por tonelada de RSU incinerada. São considerados neste custo mão de obra da URE, insumos, peças de reposição e destinação dos rejeitos, que inclui transporte até o aterro e seu custo pelo recebimento. Como houve um estudo aprofundado para o cálculo dos custos de transporte, esta parcela foi descontada do custo operacional da URE.

Para o levantamento dos custos relacionados ao transporte rodoviário foram consultadas diversas fontes e, em muitos casos, mais de uma fonte para o mesmo

---

<sup>20</sup> As emissões são calculadas através do software GateCycle GE Energy e considera o poder calorífico inferior do resíduo como sendo de 10.000 kJ/kg de resíduo. Além disso, considera uma caldeira operando a 100 bar e 525°C.

dado para conferir a convergência dos mesmos e a adoção do mais atualizado, havendo assim uma maior segurança na utilização deles como inputs dos cálculos que compõe este trabalho.

Quanto aos elementos que compõe o custo de transporte hidroviário, foram considerados os mesmos valores levantados por CILIP (2010).

## 4 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Com base no levantamento de dados realizado e na análise destes, é possível observar que a questão do transporte e destinação do lixo é premente na cidade de São Paulo devido ao pouco tempo de vida útil restante aos aterros sanitários em operação, à falta de locais para a construção de novos aterros, às suas distâncias em relação à geração de resíduos e ao elevado consumo de combustível e consequente emissão de poluentes (material particulado, gases de efeito estufa e gases geradores da chuva ácida).

Dessa forma, considera-se necessário estudar a viabilidade da incineração com posterior geração de energia elétrica dos resíduos sólidos da cidade de São Paulo, além do transporte hidroviário nos trechos viáveis, focando principalmente nos vieses econômico e ambiental. O viés político, apesar de extremamente importante na implantação de mudanças na problemática abordada, é demasiado complexo e distante de nossa alçada para ser incluído nesta análise.

Este estudo será aplicado aos resíduos sólidos atualmente transportados até as Estações de Transbordo Santo Amaro e Ponte Pequena. As alternativas propostas potencialmente trarão benefícios ambientais, aqui retratados pela emissão de CO<sub>2</sub>, e também econômicos.

Para isto, são propostos cenários comparativos contemplando a situação atual (de transporte exclusivamente rodoviário e destinação aos aterros), uma nova situação com uso de hidrovias como modal alternativo nos trechos viáveis, mas com destinação a aterros, e outra opção com destinação a Usinas de Recuperação de Energia localizadas próximas às Estações de Transbordo escolhidas, eliminando a necessidade de transporte adicional entre estes pontos.

## 5 ALTERNATIVAS PARA SOLUÇÃO DO PROBLEMA

Foram propostas três alternativas para a solução do problema de transporte e tratamento dos RSUs. Estas alternativas, somadas à que representa o cenário atual, serão estudadas em nível de detalhe suficiente para embasar a escolha entre elas. As alternativas propostas diferem da atual em dois pontos: forma de transporte dos resíduos para o aterro – por meio unicamente rodoviário ou por meio rodoviário associado ao hidroviário – e tratamento dos resíduos antes do transporte para o aterro – por incineração em UREs ou sem tratamento.

A alternativa escolhida será, então, detalhada tecnicamente, com a apresentação do tamanho da frota, viagens diárias, distâncias percorridas e consumo de combustível. A análise econômica será complementada com a consideração da receita com venda de energia elétrica. Serão ainda apresentadas as tabelas de cálculo de emissão de poluentes nas diversas etapas do cenário (item 9).

### 5.1 ALTERNATIVA 0: MANTER A SOLUÇÃO ATUAL

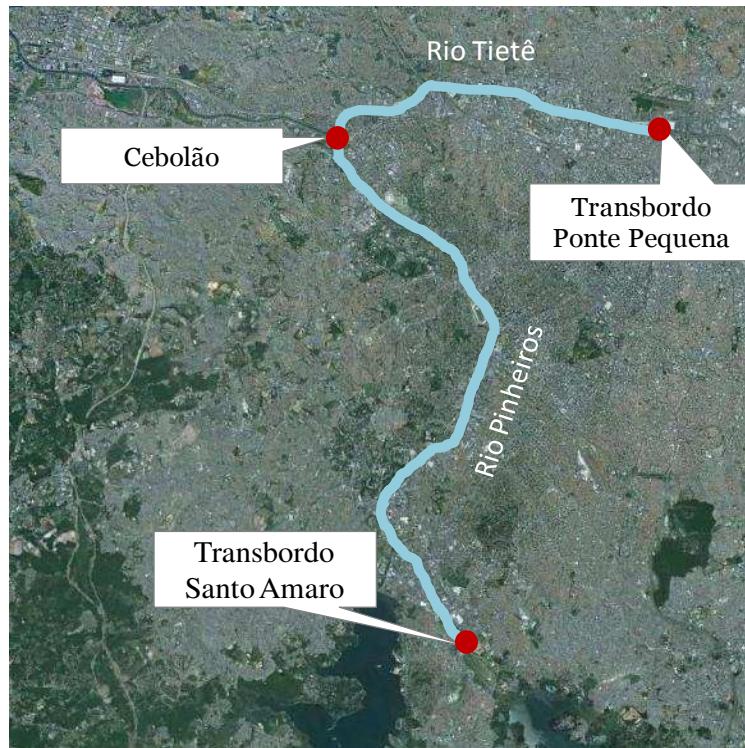
Esta alternativa contempla o cenário atual sem alterações, isto é, a situação presente de transporte exclusivamente rodoviário dos RSUs das Estações de Transbordo ao Aterro de Caiieiras, sem tratamento prévio.



Figura 33: Fluxograma da alternativa 0 (cenário atual).

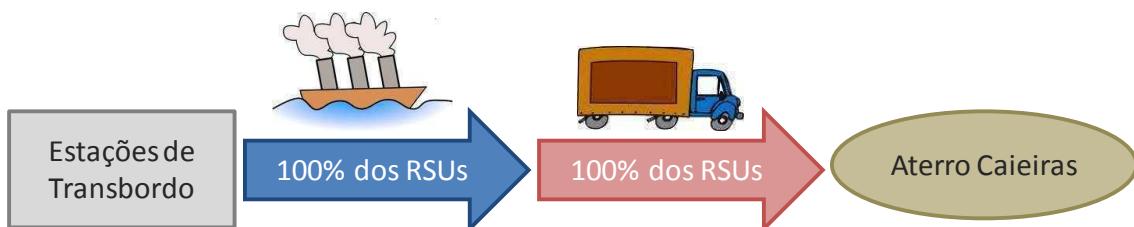
### 5.2 ALTERNATIVA 1: USO DE HIDROVIAS COMO ALTERNATIVA DE MODAL DE TRANSPORTE

Nesta alternativa considera-se que já existe uma hidrovia implantada ligando as Estações de Transbordo Santo Amaro (no Rio Pinheiros), Ponte Pequena (no Rio Tietê) e o Cebolão, assim como os portos nestes pontos, conforme mostrado na Figura 2



**Figura 34:** configuração da hidrovia suposta implantada para este cenário.

Assim, o transporte dos RSUs se dá primeiramente entre a Estação de Transbordo e o porto do Cebolão por hidrovia. No porto do Cebolão, os contêineres de RSU são colocados em caminhões para fazer o trajeto final até o Aterro de Caieiras, sem tratamento prévio.



**Figura 35:** Fluxograma da alternativa 1 (transporte hidroviário e rodoviário)

### 5.3 ALTERNATIVA 2: INCINERAÇÃO DO LIXO EM URES

Neste grupo de alternativas, propõe-se construir duas Usinas de Recuperação Energética (UREs), uma ao lado de cada Estação de Transbordo, havendo diferenciação no modal de transporte para o aterro. Nas UREs, os RSUs passarão por processo de incineração que gera energia elétrica e reduz em 75% a massa inicial dos RSUs. Os 25% de massa restante de RSU são constituídos por 1% de metais (que serão reciclados) e 24% de escória (cinzas), que serão transportadas para o Aterro de Caieiras.

### 5.3.1 ALTERNATIVA 2A: INCINERAÇÃO E TRANSPORTE DA ESCÓRIA POR RODOVIA

Nesta opção, o transporte da escória resultante do processo de incineração dos RSUs se dá exclusivamente por rodovia, similarmente ao método atual. A diferença é que, nesta alternativa, 75% da massa dos RSUs é consumida na incineração, restando 25% na forma de escória. Destes 25%, a maior parte (24 pontos porcentuais) da massa de RSUs será transportada ao aterro, e uma pequena parte será reciclada (1 ponto percentual que é material metálico).

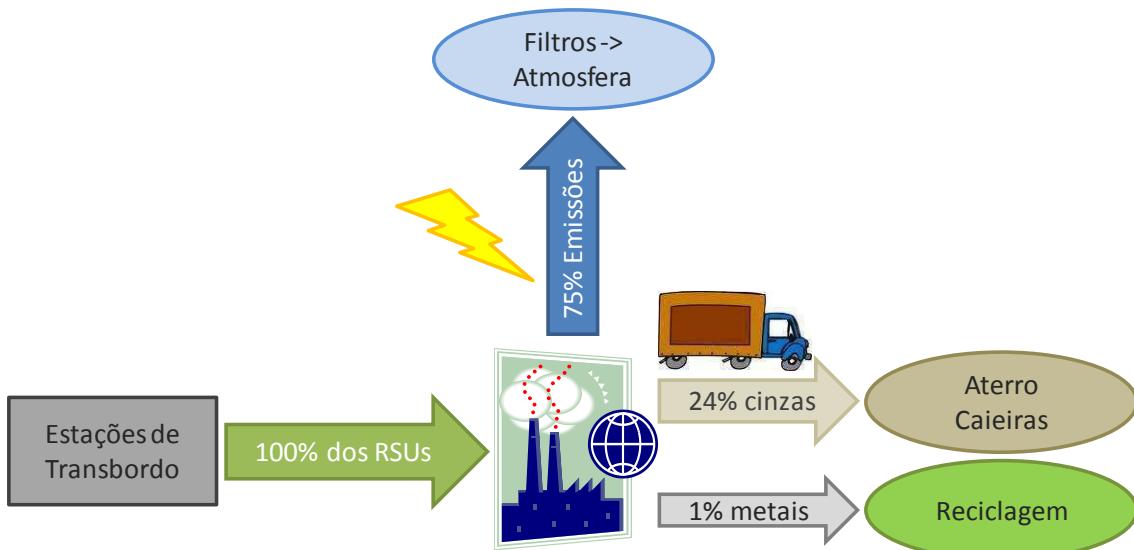
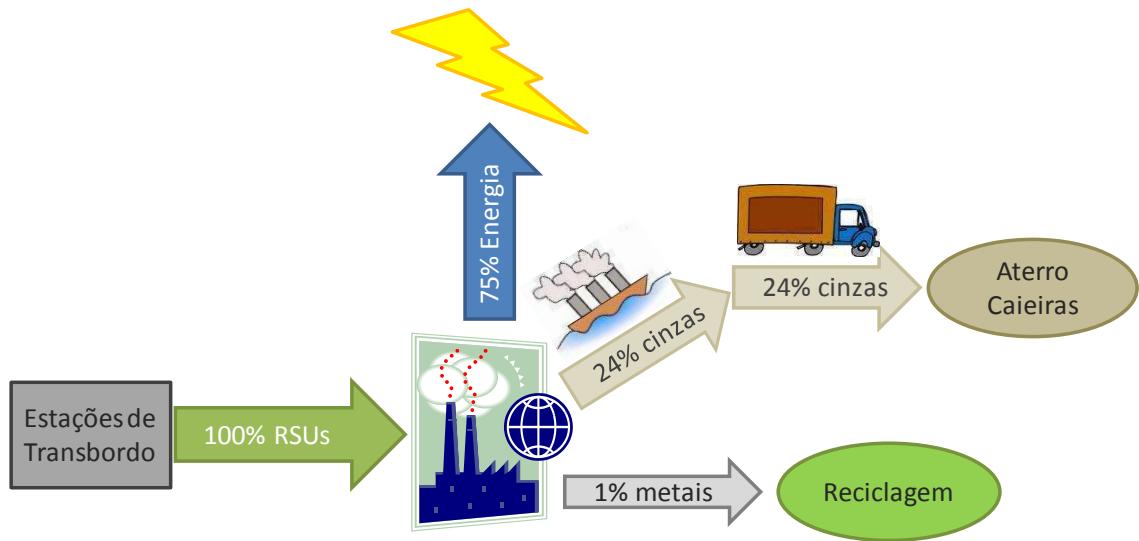


Figura 36: Fluxograma da alternativa 2A (URE associada ao transporte rodoviário)

### 5.3.2 ALTERNATIVA 2B: INCINERAÇÃO E TRANSPORTE DA ESCÓRIA POR HIDROVIA E RODOVIA

Nesta segunda opção, a escória da incineração dos RSUs será transportada das Estações de Transbordo até o Cebolão por hidrovia, e deste ponto até o Aterro de Caieiras por rodovia, de forma análoga à da Alternativa 1, mas movimentando somente 24% da massa original de RSUs, assim como na alternativa 2A.



**Figura 37: Fluxograma da alternativa 2B (URE associada ao transporte hidroviário e rodoviário)**

## 6 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Para a análise e escolha da melhor alternativa proposta, faz-se necessário definir critérios de avaliação comuns a todas as alternativas. Em geral, para análise de projetos são utilizados três critérios: técnico, econômico e ambiental.

### *Critério Técnico*

Neste Trabalho de Formatura, o aspecto técnico é considerado como sendo possível em todas as mudanças propostas. Para o transporte hidroviário, são considerados como certos a implementação da hidrovia e a adoção de um método de transporte que atenda às exigências ambientais quanto à segurança contra poluição dos corpos d'água<sup>21</sup>. Além disso, assume-se que para as UREs todas as exigências ambientais serão cumpridas com o emprego de tecnologias adequadas, sendo respeitados todos os procedimentos operacionais necessários condizentes com os riscos de uma atividade como essa. Dessa forma, são adotados critérios de avaliação concernentes aos aspectos econômicos e ambientais.

### *Critério Econômico*

O aspecto econômico é aqui representado através dos custos de operação de cada alternativa no que tange ao transporte e ao tratamento dos resíduos sólidos. A Tabela 35 e a Tabela 36 resumem os custos estudados.

**Tabela 35: Itens considerados nos cálculos de custos operacionais de transporte de RSUs**

Transporte Rodoviário	Transporte Hidroviário
Aquisição de caminhões	Aquisição de chatas e empurreadores
Custo do capital investido nos veículos	Custo do capital investido nos veículos
Manutenção do caminhão	Manutenção da chata
Licenciamento	Manutenção do empurrador
Seguro	Seguro
Combustível	Combustível
Óleos lubrificantes	Óleos lubrificantes
Pneus	Salário dos tripulantes
Salário dos motoristas	Alimentação dos tripulantes
Alimentação dos motoristas	Portos e terminais
Administrativos	Administrativos

---

<sup>21</sup> De acordo com informações obtidas no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), atualmente não há legislação que verse sobre transporte de material não-inerte nos rios.

**Tabela 36: Itens considerados nos custos operacionais de tratamento e destinação de RSUs**

<b>Tratamento em URE</b>	<b>Destinação em Aterro</b>
Custo de operação da URE	Preço cobrado pelo aterro por tonelada de resíduo recebido
Receita com geração de energia	Receita com geração de energia

### ***Critério Ambiental***

Quanto ao aspecto ambiental, esse é aqui representado por emissões de CO<sub>2</sub>, o mais importante gás estufa antropogênico<sup>22</sup>. São considerados os volumes emitidos nas atividades de transporte (representado pela queima de diesel), incineração de resíduos sólidos e queima do biogás produzido nos aterros.

A metodologia empregada para o cálculo de todas essas variáveis é apresentada no próximo item.

---

<sup>22</sup> IPCC/ONU (2007)

## 7 METODOLOGIA

### 7.1 PRODUÇÃO DE LIXO

Para o estudo da operação ao longo dos 25 anos que foram considerados para a análise dos cenários propostos é preciso ter uma estimativa da produção anual de resíduos sólidos urbanos no município de São Paulo. Para tal, foi desenvolvido o procedimento de cálculo apresentado a seguir.

Primeiramente, foi feita uma projeção algébrica da população paulistana de 2012 a 2037 com base nos dados históricos do IBGE. Associada a essa projeção, considerou-se a quantidade de RSU coletada diariamente, per capita, de 1,27 kg (ABRELPE, 2011).

O aumento da produção de lixo per capita não foi considerado, pois se sabe que, apesar de haver uma tendência de aumento da produção, pois com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em vigor desde 2010, tem havido grande incentivo à reciclagem que diminui a quantidade de lixo que é destinada ao aterro (MINISTÉRIO DA CASA CIVIL, 2010). E como neste trabalho, tem-se por objetivo focar nos resíduos que saem das estações de transbordo, passam por tratamento e depois são transportados até o aterro sanitário, não há perdas nessa consideração. Com a estimativa de população e a quantidade coletada per capita por dia, consegue-se estimar a quantidade de resíduo que é coletado por dia em cada ano de projeto.

A projeção da quantidade de RSUs recebida por cada estação de transbordo em anos futuros se baseou na hipótese de que cada estação de transbordo continuaria a receber a mesma proporção de RSU recebida no ano base, ou seja, se ela recebe 20% do RSU de São Paulo em 2012, continuará recebendo 20% em 2037. A projeção adotou ainda a premissa de que as estações consideradas teriam capacidade suficiente para receber o aumento da demanda do horizonte de projeto.

### 7.2 DIMENSIONAMENTO LOGÍSTICO

O dimensionamento logístico para o horizonte de 25 anos de projeto foi realizado em diversas etapas (baseadas no procedimento de cálculo apresentado por (CILIP, 2010)) que são apresentadas a seguir:

- i. Cálculo do número de viagens diárias de caminhão necessárias para transportar o lixo de cada estação de transbordo (ou do Cebolão, nas alternativas com transporte hidroviário) para o aterro de Caieiras. Este número foi obtido através da Equação (2):

$$Nvdi = \frac{RSUdi}{Cap} \quad (2)$$

Onde

Nvdi: Número de viagens/dia com origem na estação de transbordo i;

RSUdi: Massa de RSU diária na estação de transbordo i (toneladas/dia);

Cap: Capacidade de um contêiner (12,76 t);

ii. Cálculo da frota de caminhões necessária. A frota ( $Fci$ ) foi calculada separadamente para atender a cada estação de transbordo (i) e somada para obter-se a frota de caminhões necessária para cada cenário, conforme Equação (3). Já o número de viagens/dia de um caminhão depende da duração de cada viagem, que depende de sua velocidade e da distância percorrida, como mostrado na Equação (4). As distâncias percorridas em cada cenário são apresentadas no item de Levantamento de Dados. Já a velocidade é associada a cada período do dia: Dia, Noite ou Pico, conforme Tabela 33, apresentada no levantamento de dados. A divisão de 50% da carga para o transporte durante o dia, 40% durante a noite e 10% durante o período de pico de congestionamento leva a aproximadamente o mesmo número de caminhões para transporte de RSUs em todos os períodos, reduzindo o tamanho da frota.

$$Fci = \frac{Nvdi}{Vdci} \quad (3)$$

Onde:

$Fci$ : Frota de caminhões da estação de transbordo i;

$Vdci$ : Viagens diárias de um caminhão na estação de transbordo i;

$$Vdci = \frac{DPi}{VPer} \quad (4)$$

Sendo:

$DPi$ : distância percorrida a partir da estação de transbordo i ou do Cebolão (km);

$VPer$ : Velocidade no Período (dia, noite ou pico);

iii. Quilômetros rodados por ano pela frota (km/ano). É calculado através da Equação (5), abaixo. Este dado será necessário para o cálculo da manutenção dos veículos, no item iii.i do MODELO PARA TRANSPORTE RODOVIÁRIO

$$Kaf = (Nvdi * DPi) + (Nvdj * DPj) * 365 \quad (5)$$

Onde:

$Kaf$ : Km rodados por ano pela frota

$Nvdi$ ,  $Nvdj$ : Número de viagens diárias partindo das estações de transbordo i e j, respectivamente;

$DPi$ ,  $DPj$ : Distância percorrida pelos caminhões nas viagens com origem nas estações i e j;

iv. Cálculo do consumo de combustível total (litros/ano). É realizado por meio da Equação (6)

$$Cac = (Cdc + Cde) * 365 \quad (6)$$

Sendo:

$Cac$ : Consumo de combustível anual em um cenário (l/ano)

$Cdc$ : Consumo diário de caminhões no cenário (somando o consumo diário gerado pela demanda da estação de transbordo i e da j).

Cde: Consumo diário de embarcações no cenário (somando o consumo diário gerado pela demanda da estação de transbordo i e da j).

O consumo de combustível por caminhões ao longo de um dia é calculado através da equação (7), a seguir.

$$Cdc = Nvdic * Cv \quad (7)$$

Onde:

Nvdic: Número de viagens diárias da estação de transbordo i por caminhão

Cv: Consumo de combustível por viagem.

O custo total do combustível (R\$/ano). É obtido multiplicando-se o consumo de combustível total (litros/ano) pelo preço do diesel (R\$ 1,99/litro).

### 7.3 CUSTOS OPERACIONAIS

O cálculo dos custos operacionais foi feito a partir de dois modelos principais: um para o transporte rodoviário e outro para o transporte hidroviário. Este último foi baseado no procedimento de cálculo apresentado por CILIP (2010). Já o primeiro, a partir da metodologia apresentada por Teixeira (2007) e adaptada ao caso do presente estudo.

Adicionalmente, foram obtidos o custo de operação da URE e o preço cobrado anualmente pelo aterro para realizar a destinação do RSU com representantes do setor. Todos os custos foram baseados no volume de resíduos calculado pelo método de projeção de geração de resíduos urbanos explicado anteriormente.

Com o procedimento de cálculo, para cada um dos modais foram aplicados os dados gerados nos cálculos logísticos de cada cenário, chegando aos valores de custos operacionais de cada alternativa.

As etapas de cálculo do custo de cada modal para transporte, de tratamento e de destinação de RSU são apresentadas a seguir.

#### 7.3.1 MODELO PARA TRANSPORTE HIDROVIÁRIO:

##### 7.3.1.1 CUSTOS DE AQUISIÇÃO DE CHATAS E EMPURRADORES

Este cálculo é dividido em três etapas: a) custo de maquinaria, b) custo dos empurreadores e c) custo das chatas.

a) Custo da maquinaria: foi calculado a partir das especificações das potências dos motores.

$$C_{maq} = P_{MCP} * X + P_{MCA} * Y \quad (8)$$

Onde:

$C_{maq}$ : custo com maquinaria

$P_{MCP}$ : potência de MCP, em HP

$P_{MCA}$ : potência de MCA, em HP

X: custo motor + custo redutor + diversos + mão de obra, em R\$/HP

Y: custo (motor + gerador) + materiais de eletricidade + mão de obra, em R\$/HP

Adiciona-se ainda 25% de Custos Indiretos e 10% de Taxa de Lucro sobre esses valores, pois estes são os valores usualmente praticados pelos estaleiros (CILIP, apud Garcia(2001)), assim tem-se:

$$P_{MAQ} = 1,10 * 1,25 * (P_{MCP} * X + P_{MCA} * Y) \quad (9)$$

Onde:

$P_{MAQ}$ : preço de maquinarias, incluindo instalações propulsoras e o básico de eletricidade, em R\$

Custos de empurrador e chata: CILIP (2010) estimaram os preços do empurrador e chata com base no preço do aço usado na estrutura do equipamento.

$$P_{EST} = Pr_{aço} * P_{aço} \quad (10)$$

Onde:

$P_{EST}$ : preço da estrutura, como chata ou outros sem maquinaria, em R\$;

$Pr_{aço}$ : custo por quilo de aço processado dos elementos estruturais utilizados na construção da embarcação, em R\$;

$P_{aço}$ : peso em aço da estrutura

O preço do empurrador é determinado através da seguinte expressão:

$$P_{emp} = P_{EST} + P_{MCP} * X + P_{MCA} * Y \quad (11)$$

Onde:

$P_{emp}$ : Preço do empurrador em R\$;

E o preço das chatas é calculado através de:

$$P_{chata} = Pr_{aço} * P_{aço} \quad (12)$$

Onde:

$P_{chata}$ : preço final da chata

$P_{aço}$ : peso de aço contido na estrutura da chata

Os valores calculados para chatas e empuradores são apresentados na tabela a seguir.

**Tabela 37: Valores de compra dos equipamentos**

<b>Equipamento</b>	<b>Valor</b>
Chata	R\$ 1.546.875,00
Empurrador	R\$ 823.582,00

Para a operação foi considerado que um empurrador trabalha com duas chatas e que cada estação de transbordo tem uma chata reserva. A aquisição de novas chatas e empuradores são feitas a partir da necessidade do aumento da frota, calculados DIMENSIONAMENTO LOGÍSTICO

### **7.3.1.2 CUSTO DO CAPITAL IMOBILIZADO NOS MAQUINÁRIOS ADQUIRIDOS**

Foi usado o conceito de tabela Price para calcular quanto o dinheiro investido na compra de equipamentos poderia render se aplicado à taxa mínima de atratividade. No caso, a taxa adotada foi a Selic (7,25% em Outubro de 2012), pois é a taxa que o governo emprega usualmente como taxa de retorno desejada, já que é a taxa à qual ele capta dinheiro no mercado (BELL et al., 1998).

### **7.3.1.3 MANUTENÇÃO DE CHATAS E EMPURRADORES**

A manutenção das chatas e empuradores é calculada a partir de uma taxa de manutenção aplicada ao valor do equipamento.

$$M_{equip} = P_{equip} * k \quad (13)$$

Onde:

$M_{equip}$ : custo de manutenção do equipamento ao ano

$P_{equip}$ : valor de compra do equipamento

$k$ : fator de manutenção do equipamento ( $k=4\%$  para chatas e  $2,5\%$  para empuradores)

### **7.3.1.4 SEGURO DOS EQUIPAMENTOS**

É aplicada uma taxa de seguro de 2% a cada um dos equipamentos utilizados no transporte.

$$SEG = P_{equip} * 2\% \quad (14)$$

Onde:

$SEG$ : custo do seguro por equipamento ao ano

### **7.3.1.5 CUSTO COM COMBUSTÍVEL**

Foi calculado no item iv do DIMENSIONAMENTO LOGÍSTICO.

### 7.3.1.6 ÓLEOS LUBRIFICANTES

Seu custo é baseado nos gastos com combustível. Multiplica-se o custo com combustível pelo fator de proporção de 5% e se obtém o custo com óleos lubrificantes.

$$C_{ol} = C_{comb} * 5\% \quad (15)$$

Onde:

$C_{ol}$ : custo com óleos lubrificantes para toda frota ao ano

### 7.3.1.7 TRIPULAÇÃO

#### 7.3.1.7.1 Salário e encargos sociais

Considera a soma dos salários dos tripulantes de cada embarcação mais um fator que simboliza os gastos com encargos sociais. Para cada empurrador foram considerados quatro tripulantes, número considerado seguro para a operação de 24 horas por dia de navegação com a prática do revezamento.

$$TR_{sal} = S_{total} * f_{soc} * 12 \quad (16)$$

Onde:

$TR_{sal}$ : custo com salários de tripulantes de uma embarcação por ano

$S_{total}$ : soma dos salários dos 4 tripulantes de cada embarcação (R\$ 6.132,00)

$f_{soc}$ : fator referente aos gastos a mais com encargos sociais ( $f_{soc}=2,1$ )

#### 7.3.1.7.2 Alimentação dos tripulantes

Para cada dia navegando fornece-se R\$13,00 a cada tripulante referente à alimentação.

$$TR_{alim} = 4 * 365 * V_{alim} \quad (17)$$

Onde:

$TR_{alim}$ : custo com alimentação dos tripulantes de cada embarcação por ano

$V_{alim}$ : custo da alimentação diária de cada tripulante

### 7.3.1.8 PORTOS E TERMINAIS

Na navegação interior é muito comum que cada empresa transportadora disponha de terminal próprio. Este item deve ser considerado no custo do transporte. O custo de portos e terminais representa, então, o retorno do capital investido nas instalações portuárias (cais, área de acostagem e outros), equipamentos de transbordo, armazéns, vias internas, instalações para alfândega, etc.

A determinação desse item de custo será feita a partir dos seguintes fatores: tempo de uso do berço de atracação, quantidade de carga transportada, carregamento e descarregamento dos containers e uso de rebocadores.

Com isso, tem-se um custo de transbordo por viagem. Uma vez que a quantidade de carga carregada por chata nos cenários é a mesma em todas as viagens, este valor é de R\$ 1.925,00 por viagem.

### **7.3.1.9 CUSTOS ADMINISTRATIVOS**

Considera uma taxa administrativa de 35% sobre os custos relacionados a manutenção e mão de obra.

$$DA = (M_{equip} + TR_{sal} + TR_{alim}) * 35\% \quad (18)$$

Onde:

DA: despesas administrativas ao ano

### **7.3.2 MODELO PARA TRANSPORTE RODOVIÁRIO**

O custo operacional do transporte rodoviário foi baseado no modelo de custo proposto por Teixeira (2007) com adaptações para o presente estudo e os dados obtidos.

O modelo consiste na seguinte formulação:

$$C_{OTR} = (CF + CV + DA) \quad (19)$$

Onde:

$C_{OTR}$ : custo operacional de transporte rodoviário (R\$/ano)

CF: Custos Fixos (R\$/ano)

CV: Custos Variáveis (R\$/ano)

DA: Despesas Administrativas (R\$/ano)

#### **7.3.2.1 CUSTOS FIXOS**

##### **i. Aquisição de novos caminhões**

A aquisição de novos veículos é feita a cada ano, quando se faz necessário o aumento da frota devido ao aumento de volume de resíduos a ser transportado em relação ao ano anterior. O cálculo da frota foi apresentado no item ii do DIMENSIONAMENTO LOGÍSTICO.

O modelo do caminhão que leva os resíduos da estação de transbordo ou do Cebolão até o aterro considerado para este estudo foi: Volkswagen 24-280 E Constel. 6x2 2p (diesel), por ser apresentado pela empresa como o que melhor atende as exigências dessa operação (MAN, 2012). O preço considerado para a compra de um caminhão foi o apresentado pela tabela FIPE como recomendado para este modelo: R\$ 210.200,00 (FIPE, 2012).

##### **ii. Custo do capital imobilizado nos caminhões adquiridos**

O cálculo do custo de capital para o transporte rodoviário é análogo ao hidroviário, pois foi realizada com a mesma ferramenta (Price) e mesma taxa (Selic).

### iii. Mão de obra

Como base para o cálculo dos gastos com os motoristas dos caminhões foi considerada a tabela de salários apresentada pelo SEEDESP, Sindicato dos Empregados em Empresas Distribuidoras de Gêneros em Geral do Estado de São Paulo (SEEDESP, 2012), que está em vigor desde 1º de junho de 2012.

#### a) Salário

$$C_{mot} = S_{mot} * (1 + i_{social}) * Fc * 12 \quad (20)$$

Onde:

$C_{mot}$ : Custo com mão de obra por ano

$S_{mot}$ : salário de um motorista

$i_{social}$ : fator que considera os encargos sociais

$Fc$ : frota de caminhões

#### b) Alimentação

A SEEDESP sugere que os motoristas recebam uma cesta básica por mês ou um equivalente em espécie de R\$ 83,50, sendo este último considerado no cálculo dos gastos com mão de obra.

$$C_{alim} = V_{alim} * Fc * 12 \quad (21)$$

Onde:

$C_{alim}$ : custo com alimentação dos motoristas por ano

#### a. Licenciamento

O custo do licenciamento considera também os gastos com Dpvat e IPVA, além da própria taxa de licenciamento.

$$LI = DPVAT + (IPVA * P_{cam}) + TL \quad (22)$$

Onde:

$LI$ : custo do licenciamento por ano por caminhão

$P_{cam}$ : preço do caminhão novo

$TL$ : taxa de licenciamento

#### b. Seguro

Fonseca (2006) sugere que o cálculo do custo com seguro seja a partir do preço original do veículo.

$$SEG = P_{cam} * i_{seg} \quad (23)$$

Onde:

$SEG$ : custo do seguro por caminhão por ano

$i_{seg}$  : taxa do seguro

### 7.3.2.2 CUSTOS VARIÁVEIS

#### i. Manutenção

Com base na planilha de custos para caminhões pesados apresentada no Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas da Associação Nacional de Transporte de Cargas (ANTC, 2001), o custo da manutenção dos caminhões é calculado a partir dos quilômetros rodados.

$$C_{man} = t_{man} * DP \quad (24)$$

Onde:

$C_{man}$ : custo com manutenção de cada caminhão por ano em R\$

$t_{man}$ : taxa de manutenção

$DP$ : distância percorrida por cada caminhão por ano. Este valor é calculado no item iii do DIMENSIONAMENTO LOGÍSTICO

#### ii. Pneus

No Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas da ANTC (2001) menciona-se que o custo com pneus é função da distância percorrida pelo caminhão.

$$C_{pneu} = t_{pneu} * DP \quad (25)$$

Onde:

$C_{pneu}$ : custo com renovação de pneus de cada caminhão por ano

$t_{pneu}$ : taxa de renovação de pneu

#### iii. Combustível

Foi calculado no item iv do DIMENSIONAMENTO LOGÍSTICO.

#### iv. Óleos Lubrificantes

Fonseca (2006) apresenta o consumo de óleo lubrificante em função da distância percorrida.

$$C_{óleo} = c_{óleo} * DP \quad (26)$$

Onde:

$C_{óleo}$ : custo com óleo lubrificante de cada caminhão por ano

$c_{óleo}$ : consumo de óleo lubrificante

### 7.3.2.3 DESPESAS ADMINISTRATIVAS

Também com base em Fonseca (2006), a taxa administrativa adotada para os cálculos foi de 15% em relação aos gastos com mão de obra e manutenção.

$$DA = (C_{man} + C_{mot} + C_{alim}) * 15\% \quad (27)$$

Onde:

DA: despesas administrativas ao ano

### 7.3.3 MODELO PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS

O dado adquirido com a EMAE (2012) referente ao custo de operação da URE considera os custos de transporte e destinação em aterro dos resíduos restantes após a incineração. Paralelamente houve um estudo aprofundado para a obtenção desses valores para a montagem dos custos dos outros cenários. Portanto, houve a necessidade de se retirar as parcelas repetidas e se chegar num custo relacionado apenas a operação da URE.

$$C_T = \frac{C_{TT}}{RSU_{URE}} \quad (28)$$

Onde:

$C_T$ : custo de transporte por tonelada de resíduos que sai da URE (R\$/t)

$C_{TT}$ : custo total de transporte de todo o resíduos que sai da URE ao ano (R\$)

$RSU_{URE}$ : massa total de RSU que sai da URE ao ano (t)

$$C_{URE} = C_{geral} - C_T - C_{aterro} \quad (29)$$

Onde:

$C_{URE}$ : custo operacional da URE por tonelada de RSU que entra no incinerador (R\$/t)

$C_{geral}$ : custo operacional da URE + custos de transporte e de destinação dos resíduos do processo (R\$/t)

$C_{aterro}$ : valor pago ao aterro pelo recebimento dos resíduos (R\$/t)

O cálculo do custo operacional com a Usina de Recuperação Energética, então é apresentado:

$$C_{UREtotal} = C_{URE} * RSU \quad (30)$$

Onde:

$C_{UREtotal}$ : custo operacional total da URE ao ano (R\$)

$RSU$ : massa total de RSU que chega na URE por ano (t)

### 7.3.4 MODELO PARA DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS

O gasto com a destinação dos resíduos em aterros sanitários é calculado da seguinte maneira:

$$C_{aterro} = P_{aterro} * RSU_{aterro} \quad (31)$$

Onde:

$C_{aterro}$ : custo operacional total do aterro sanitário (R\$)

$P_{aterro}$ : preço cobrado pelo aterro sanitário por tonelada de resíduo recebido (R\$/t)

$RSU_{aterro}$ : quantidade de resíduo que vai para o aterro (t)

### 7.3.5 GERAÇÃO DE ENERGIA

- i. Energia elétrica gerada (MWh/ano). Calculada por meio da Equação (32): nas alternativas em que há incineração dos RSUs em URE, a energia elétrica é gerada neste processo de queima dos resíduos, produzindo 0,41 MWh/tonelada de resíduo (PARO; COSTA, COELHO, 2008). Já nas alternativas em que não há incineração em URE considera-se que os RSUs gerarão biogás no aterro, e a queima deste biogás produzirá energia elétrica na proporção de 0,11 MWh/tonelada de resíduo, (PARO; COSTA, COELHO, 2008).

$$EEG = TR * fe \quad (32)$$

Onde

EEG: Energia elétrica gerada (MWh)

TR: Toneladas anuais de resíduos gerados (t/ano)

fe: fator de geração de energia (MWh/t de RSU queimado na URE ou MWh/t de RSU enviado ao aterro *in natura*)

- ii. Receita com a venda de energia (R\$/ano). É o produto da energia elétrica gerada (MWh/ano) pelo valor tomado como referência para preço da energia elétrica gerada a partir do biogás ou da incineração de RSUs: cerca de R\$ 170,00/MWh (PARO, COSTA e COELHO, 2012).
- iii.

$$REg = EEG * VEE \quad (33)$$

Sendo:

REg: Receita com venda de energia elétrica (R\$/ano)

EEG: Energia elétrica gerada por ano (MWh/pessoa)

Valor de referência: (R\$/ano)

### 7.3.6 EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>

- iv. Emissão de CO<sub>2</sub> devida aos processos de incineração (toneladas/ano). Este dado traz apenas a produção de CO<sub>2</sub> decorrente da queima de RSUs em UREs (nas alternativas com URE) ou decorrente da queima de biogás no aterro de Caieiras. Paro; Costa e Coelho (2008), concluem que a emissão de CO<sub>2</sub> resultante da queima de biogás é de cerca de 0,1 kg/tonelada de RSU, e

que a emissão decorrente da incineração em URE é de cerca de 1,0 kg/tonelada RSU.

$$CO_2total = CO_2URE + CO_2aterro \quad (34)$$

$$CO_2URE = tRSU * fGE_{URE} \quad (35)$$

$$CO_2aterro = tRSU * fGE_{aterro} \quad (36)$$

Sendo

$CO_2total$ : Quantidade total de  $CO_2$  liberada no cenário, contando

$CO_2aterro$ :  $CO_2$  liberado na queima de biogás, em aterros (tonelada de  $CO_2$ )

$CO_2URE$ :  $CO_2$  gerado na incineração de RSU, em aterros (tonelada de  $CO_2$ )

$fGE_{aterro}$ : fator de geração de emissão de  $CO_2$  com a queima do biogás do aterro, proveniente de 1 tonelada de RSU (tonelada de  $CO_2$ / tonelada de RSU)

$fGE_{URE}$ : fator de geração de emissão de  $CO_2$  liberado com a incineração de 1 tonelada de RSU

## 7.4 RESULTADOS

Os procedimentos de cálculo apresentados até aqui foram aplicados a cada um dos cenários estudados, gerando os resultados apresentados a seguir. Foram calculadas as emissões de  $CO_2$  de cada cenário, a dimensão da frota, os custos de aquisição, manutenção e operação, para cada cenário.

### 7.4.1 Dimensionamento de frota

Conforme o procedimento de cálculo, a frota de cada cenário é função principalmente da quantidade de resíduo transportada, das distâncias de transporte e da velocidade do modal utilizado. Os resultados obtidos estão na Figura 38.

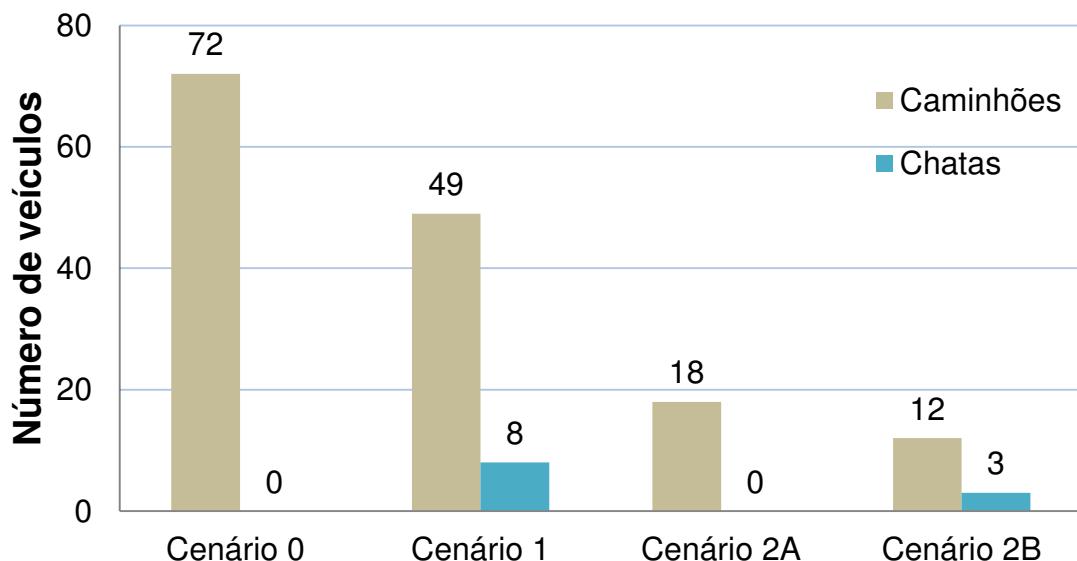


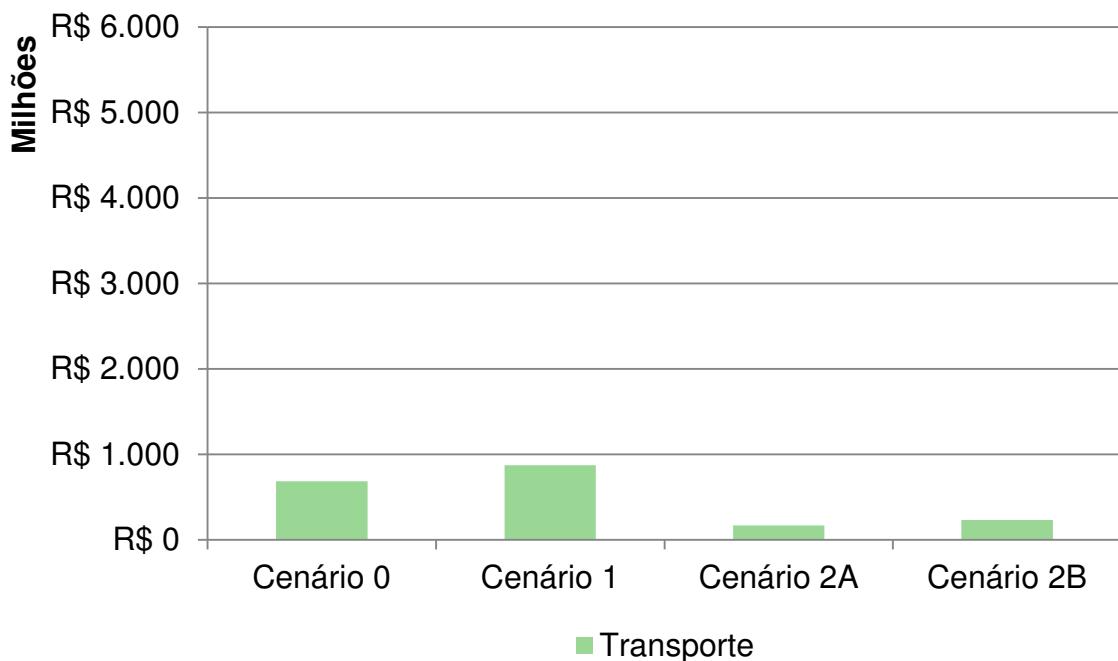
Figura 38: Gráfico da frota de cada cenário

Vê-se, na Figura 38, que a inclusão do transporte hidroviário gera redução da frota de caminhões – que pode ser reduzida em cerca de 33% mediante a substituição de 11% da frota de caminhões por chatas.

O resultado mais relevante, entretanto, é o potencial de redução de frota proporcionado pelo uso da incineração de RSU: 75% dos caminhões se tornam desnecessários quando a URE é incorporada ao cenário atual (resultando no cenário 2A), já que a massa é reduzida a apenas 25% do peso original.

#### 7.4.2 Custos de transporte

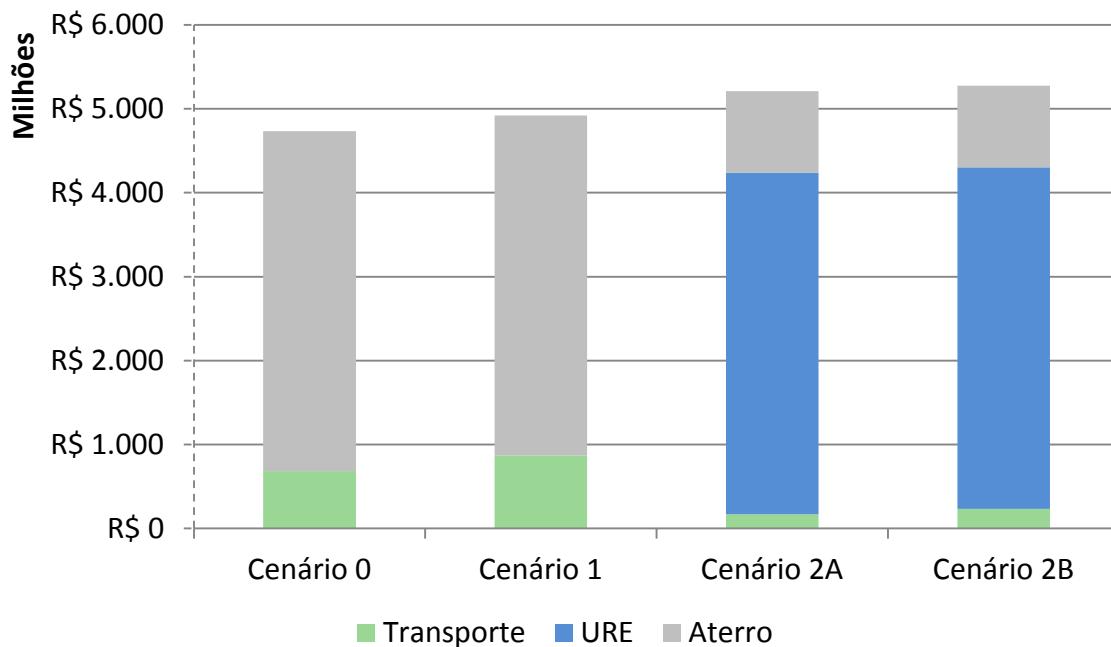
Os custos de transporte de cada cenário são apresentados no gráfico a seguir (Figura 39). Neles estão considerados os gastos com aquisição de maquinário, manutenção da frota, combustíveis e óleos, seguro, mão-de-obra e administrativos, além de pneus e licenciamento, para o modal rodoviário, e transbordo para o hidroviário.



**Figura 39: Custos com transporte**

Observa-se que, na parcela de transporte, o custo do cenário 1 é o maior, pois é o cenário que considera o transporte multimodal, tendo o alto custo do transbordo entre modais como um dos seus componentes. Vale aqui a ressalva de que os custos nos cenários 2A e 2B são bem menores devido à grande diminuição da quantidade de resíduo transportada e, por isso, a diminuição no número de viagens realizadas.

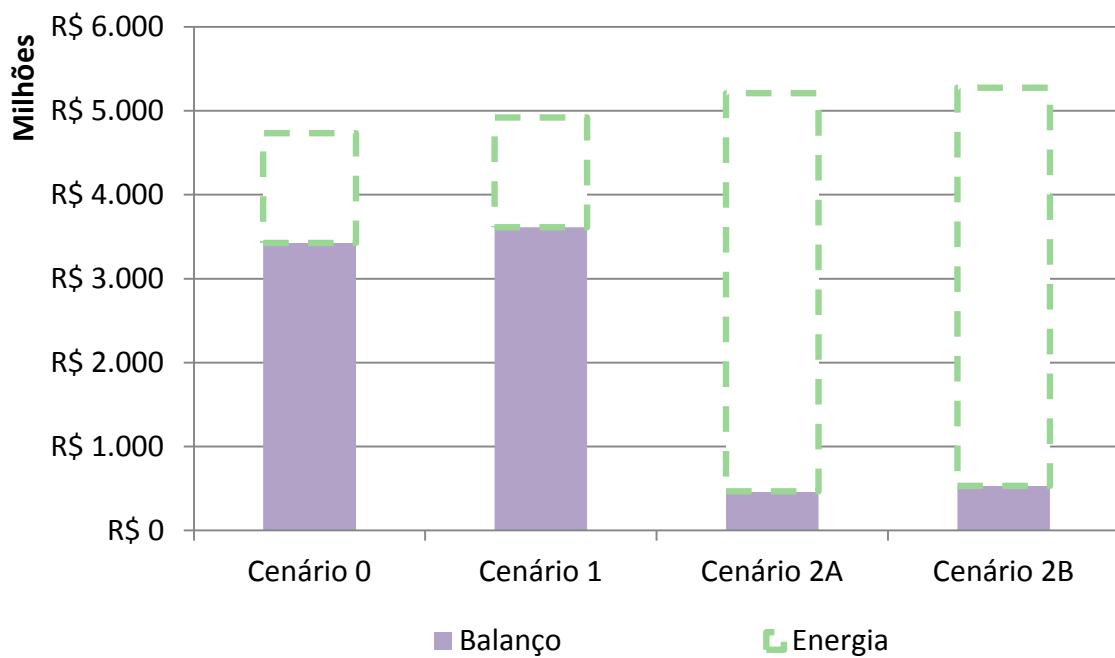
Além dos custos de transporte, cada cenário inclui também custos de tratamento e disposição dos resíduos, como mostrado na Figura 41.



**Figura 40: Custos com transporte, tratamento e disposição dos resíduos sólidos urbanos**

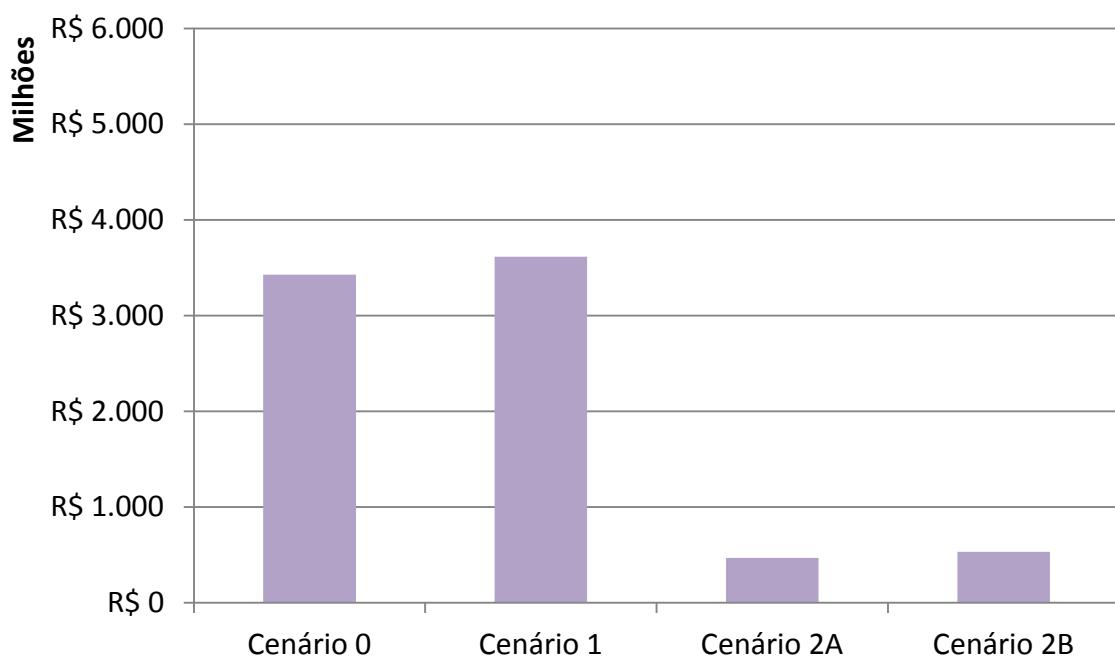
Nota-se que estas parcelas são consideravelmente mais relevantes na composição do custo total do cenário. Nos cenários 0 e 1, a maior parte do custo é devida à disposição dos RSUs em aterros. Já nos cenários 2A e 2B, com o tratamento em UREs, o custo com disposição cai bastante, graças à redução da massa de resíduos. Porém, o gasto total com os resíduos é maior, se comparados com o atual, o que se deve aos custos com o tratamento dos RSUs.

Em contraponto a este maior custo operacional, a URE, por gerar energia mais energia por tonelada de lixo do que o aterro, permite obter uma receita que abate a maior parte dos seus gastos. Este ganho é representado no gráfico a seguir (Figura 41).



**Figura 41: Consideração da venda de energia**

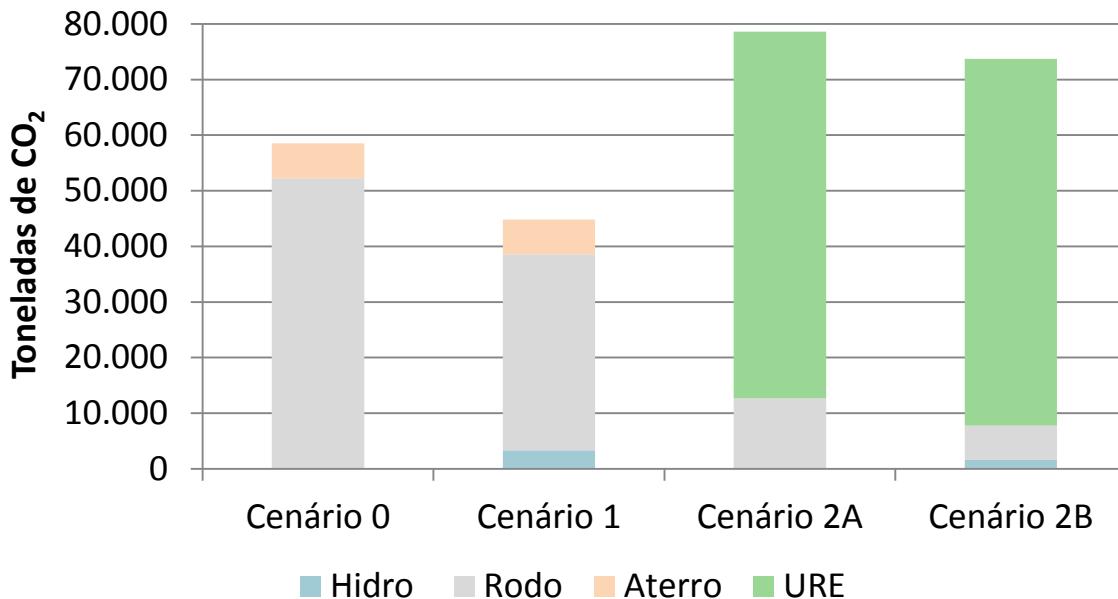
Considerando a receita com a venda de energia, os cenários 2A e 2B passam a ser muito mais atrativos econômicamente.  
A composição dos três gráficos anteriores tem como resultado o seguinte balanço (**Error! Reference source not found.**).



**Figura 42: Resultado econômico**

### 7.4.3 Emissões de CO<sub>2</sub>

As emissões de gás carbônico consideradas neste estudo são de três fontes: queima dos RSUs nas UREs, queima do diesel combustível no transporte dos RSUs e queima do biogás nos aterros (quando o RSU não tiver passado por incineração). A Figura 43 mostra o resultado dos cálculos de cada fator considerado, bem como a relação entre os valores obtidos.



**Figura 43: Gráfico de emissões de CO<sub>2</sub> de cada cenário**

Observa-se, no gráfico da Figura 43, que o principal gerador de CO<sub>2</sub> no cenário atual e no cenário com transporte multi-modal é o transporte rodoviário. Como se esperava, a adoção da incineração de resíduos diminuiu as emissões de transporte por atuar na base do problema, reduzindo a necessidade de transporte em si.

Entretanto, os cenários com URE emitem mais gás carbônico do que os cenários 0 e 1 devido às elevadas emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes da incineração dos RSUs: cada tonelada de RSU gera 10 vezes mais CO<sub>2</sub> na incineração do que na queima do biogás em aterro, se não tiver sido incinerada e se nenhum outro fator for considerado (conforme Paro, Costa e Coelho, 2008).

Há que se considerar, porém, que há políticas de incentivo governamental às fontes de energia renováveis relacionadas à biomassa, como bagaço de cana, o que poderia facilmente se estender a RSUs. A vantagem de usar esses resíduos para a geração de energia é que eles são produzidos no processo de diversas atividades e exigem gestão apropriada. Ao usá-los como matéria-prima para geração de energia, obtém-se, ao mesmo tempo, a redução desses resíduos em massa (com menor necessidade de área de disposição), a geração de energia e a redução da queima de combustíveis fósseis em usinas termoelétricas – necessária para complementar a matriz hidroelétrica quando esta não é suficiente.

Documento da ABEN (2008) mostra que a emissão de CO<sub>2</sub> gerada por usinas termoelétricas é, pelo menos, 100 vezes maior que a gerada por UREs na incineração de lixo. Com isso, a geração de energia com RSUs passa a apresentar um caráter sustentável, na medida em que as emissões resultantes dos cenários 2A e 2B, ao invés de serem comparadas com as dos cenários 0 e 1, podem ser

comparadas com as de termoelétricas, apresentando grande vantagem em relação a estas.

## 8 ESCOLHA DA SOLUÇÃO

A escolha da solução para o problema proposto será definida por um sistema de maior nota. Primeiramente, para cada cenário devem ser atribuídas notas iniciais (N) aos valores de custo e de emissão de CO<sub>2</sub>, calculados conforme metodologia apresentada no item 7. A essa nota serão posteriormente conferidos pesos através da Análise de Decisão Multicritério (ADMC), resultando em uma nota final (NF). As notas iniciais para os Custos e para as Emissões foram atribuídas tendo como referência o Cenário atual de transporte e disposição dos RSUs, conforme a escala mostrada pela **Error! Reference source not found..**

**Tabela 38: Gradação das notas para os critérios de avaliação**

Notas	-3	-2	-1	0	1	2	3
Significado	Muito pior	Pior	Pouco pior	Atual	Pouco melhor	Melhor	Muito melhor
Econômico	Aumento maior que 66%	Aumento de até 66%	Aumento de até 33%	Sem alteração	Redução de até 33%	Redução de até 66%	Redução maior que 66%
Ambiental	Aumento maior que 66%	Aumento de até 66%	Aumento de até 33%	Sem alteração	Redução de até 33%	Redução de até 66%	Redução maior que 66%

Assim, a atribuição de notas resultou na **Error! Reference source not found..**

Tabela 39: Notas atribuídas aos critérios por cenário

Cenário	Custo total (R\$/ano)	Balanço econômico (%)	Nota	Emissão de CO <sub>2</sub> total (t)	Balanço ambiental (%)	Nota
Alternativa 0 (atual): transporte rodoviário	-3.426.412.099	0%	0	58.540	0%	0
Alternativa 1: Transporte hidro e rodoviário	-3.606.072.003	5%	-1	44.806	-23%	1
Alternativa 2A: URE + transporte rodoviário	-467.837.652	-86%	3	78.616	34%	-2
Alternativa 2B: URE + transporte hidro e rodoviário	-532.012.131	-84%	3	73.699	26%	-1

Para compor a nota final de cada um dos cenários propostos é preciso definir os pesos ( $P$ ) que cada critério tem. Antes dessa definição, é possível fazer uma análise da influência dessas ponderações na nota final.

As notas finais são calculadas de acordo com:

$$NF = \frac{P_{Custo} \cdot N_{Custo} + P_{Emissões} \cdot N_{Emissões}}{P_{Custo} + P_{Emissões}} \quad (37)$$

Onde:

$P_{Custo}$ : peso do critério Custo

$P_{Emissões}$ : peso do critério Emissões

$N_{Custo}$ : nota atribuída aos custos

$N_{Emissões}$ : nota atribuída às emissões

Assim, pode-se assumir um  $\alpha$  que representa a proporção entre os pesos, tal que:

$$\alpha = \frac{P_{Ambiental}}{P_{Econômico}} \quad (38)$$

De forma que tem-se:

$$NF = \frac{N_{Custo} + \alpha \cdot N_{Emissões}}{1 + \alpha} \quad (39)$$

Aplicando a Equação (39) para cada um dos cenários, tem-se o gráfico da **Error! Reference source not found..**

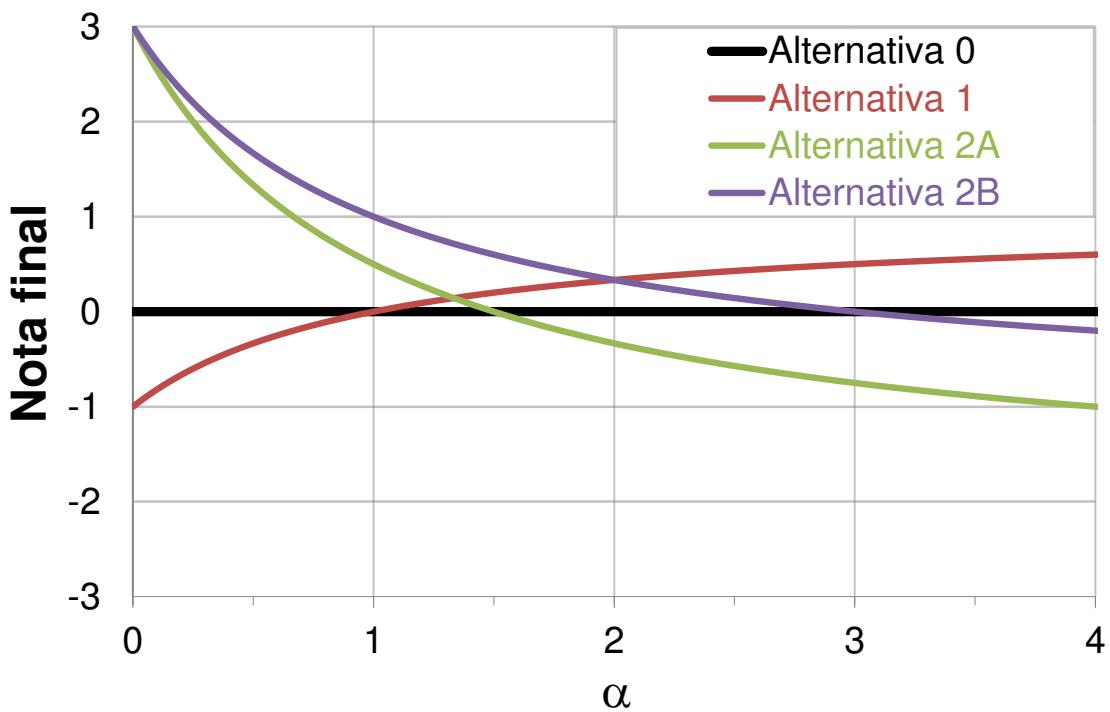


Figura 44: Análise de sensibilidade

Na Figura 44 vê-se como a definição dos pesos pode alterar a alternativa vencedora: quando  $\alpha$  for menor que 2, vence o Cenário 2B; já os valores de  $\alpha$  maiores que 2 fazem com que a alternativa 1 vença.

Na Figura 45, são acrescentadas ao gráfico as posições em que se encontram cada grupo decisivo adotado.

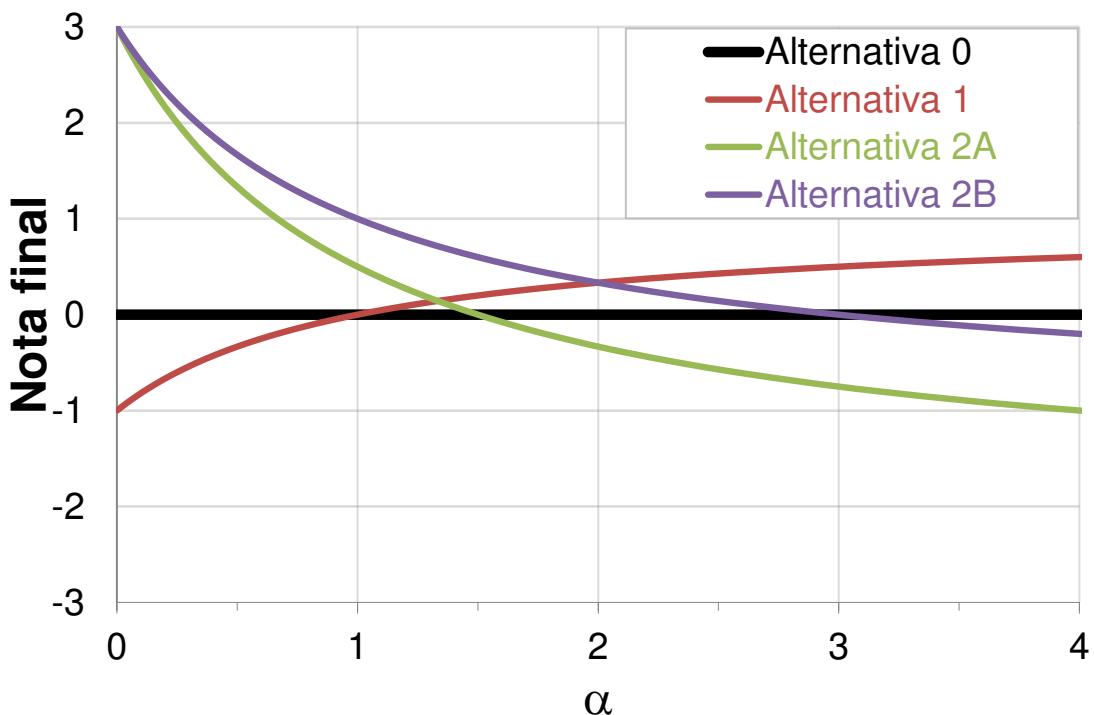


Figura 45: Análise de sensibilidade com opinião de cada grupo decisivo

É interessante notar que, qualquer que seja o cenário com maior nota, ele inclui o transporte multi-modal, composto pela adoção do transporte rodoviário e hidroviário.

Isto é surpreendente, pois há certo consenso de que o transporte hidroviário só seria viável numa cidade como São Paulo se houvesse subsídio do governo. Contudo, a análise de sensibilidade aponta outro caminho: o aumento da consciência ambiental pode ser o contexto que tornará viável o uso do modal hidroviário. Isto pode se dar com a pressão pública sobre as decisões governamentais, ou por meio de taxas a serem pagas por alternativas menos eficientes ambientalmente, que eventualmente tornarão as alternativas mais eficientes – como o modal hidroviário – viável.

É certo que a definição dos pesos é subjetiva, representando a visão que cada pessoa tem dos cenários aqui sugeridos. Observa-se que cada valor de  $\alpha$  representa o estado de consciência ambiental de um grupo num determinado instante.

Assim, para aqueles que moram perto do local onde se pretende instalar UREs, provavelmente o peso a ser dado para o viés ambiental seria maior do que o atribuído aos custos. Por outro lado, para o responsável por arcar financeiramente com a operação, o Governo no caso desse trabalho, o dinheiro dispendido tem um peso relevante.

Assim, buscou-se um método que refletisse a heterogeneidade da percepção da importância de cada um dos critérios, adotando-se a ferramenta de Análise de Decisão Multicritério (ADMC).

A Análise de Decisão Multicritério é uma ferramenta que permite avaliar, de forma estruturada, cenários ou alternativas, para a solução de um problema. Essa avaliação é realizada do ponto de vista de diversos grupos de decisores, baseando-se na atribuição de pesos que eles fariam a diferentes critérios da análise.

Com essa análise, é possível encontrar os pesos com os quais a nota da alternativa se iguala à nota do cenário atual, como mostrado pela Tabela 40.

**Tabela 40: Pesos para os quais a nota da alternativa se iguala à nota do cenário atual**

	Peso para o critério ambiental	Peso para o critério econômico	$\alpha$
Alternativa 1: Transporte hidro e rodoviário	0,5	0,5	1
Alternativa 2a: URE + transporte rodoviário	0,6	0,4	1,5
Alternativa 2b: URE + transporte hidro e rodoviário	0,75	0,25	3

A análise do gráfico apresentado acima mostra que a Alternativa 1 se iguala à atual quando é dado o mesmo peso aos critérios econômicos e ambientais. Esse cenário passa a ter notas maiores quando o peso do ambiental supera o econômico.

Já as Alternativas 2A e 2B tem uma tendência oposta, a partir de um certo valor de  $\alpha$  elas se tornam piores do que a logística atual dos RSUs.

É certo que a definição dos pesos é subjetiva, representando a visão que cada pessoa tem dos cenários aqui sugeridos. Assim, para aqueles que morem perto do local onde se pretende instalar UREs, provavelmente o peso a ser dado para o viés ambiental seria maior do que o atribuído aos custos. Por outro lado, para o

responsável por arcar financeiramente com a operação, o Governo no caso desse trabalho, o dinheiro dispendido tem um peso relevante.

Assim, buscou-se um método que refletisse a heterogeneidade da percepção da importância de cada um dos critérios, adotando-se a ferramenta de Análise de Decisão Multicritério (ADMC).

A Análise de Decisão Multicritério é uma ferramenta que permite avaliar, de forma estruturada, cenários ou alternativas, para a solução de um problema. Essa avaliação é realizada do ponto de vista de diversos grupos de decisores, baseando-se na atribuição de pesos que eles fariam a diferentes critérios da análise.

Para o uso desta ferramenta, inicialmente são definidos grupos decisores relevantes à questão abordada. Para o presente trabalho foram escolhidos três grupos: poder público (que reúne órgãos ambientais, agências reguladoras, esferas executiva e legislativa), a população da cidade de São Paulo (composta por todos aqueles que moram na cidade e pagam impostos) e a comunidade local (que engloba moradores das regiões diretamente impactadas pelas soluções propostas, e pessoas que trabalhem nessas áreas).

Cada grupo atribui pesos aos critérios anteriormente definidos: aspectos econômicos e ambientais. Realizou-se a emulação da opinião de cada grupo decisor<sup>23</sup>, chegando aos pesos apresentados na Tabela 41.

**Tabela 41: Pesos atribuídos aos critérios por cada grupo decisor.**

Grupo decisório	Peso para o critério econômico	Peso para o critério ambiental
População de SP	0,73	0,27
Comunidade local	0,33	0,67
Poder público	0,50	0,50

Aplicando esses pesos, obtêm-se as seguintes notas finais dos grupos decisores:

**Tabela 42: Notas finais dos grupos decisores por cenário, com destaque para a alternativa vencedora**

Grupo decisório	Alternativa 0 (atual): transporte rodoviário	Alternativa 1: Transporte hidro e rodoviário	Alternativa 2A: URE + transporte rodoviário	Alternativa 2B: URE + transporte hidro e rodoviário
População de SP	0	-0,5	1,7	<b>1,9</b>
Comunidade local	0	0,3	-0,3	<b>0,3</b>
Poder público	0	0,0	0,5	<b>1,0</b>

Observa-se que para os grupos decisórios compostos pela população de São Paulo e pelo Poder Público, a alternativa ganhadora é a 2B, que considera a incineração

<sup>23</sup> Para tal, cada uma das integrantes do grupo atribuiu um peso que refletisse, em sua percepção, a ponderação daquele grupo decisor. Para obter os resultados mostrados na tabela, aplicou-se uma média aritmética dos pesos dados pelas alunas.

dos resíduos com aproveitamento energético, somado ao transporte por hidrovia nos trechos viáveis.

Já para a comunidade local, essa alternativa empata com a que considera o transporte hidroviário, mas sem a implantação da URE. Isso ocorre, pois, apesar de a comunidade ter como preferência os critérios ambientais, o transporte por rodovias incorre em altos custos, balanceando, assim, as notas.

Dessa forma, a metodologia empregada nesse Trabalho de Formatura mostra que, pelo ponto de vista dos custos operacionais e das emissões no transporte, destinação e tratamento de RSUs, a melhor alternativa seria a 2B: incinerar os resíduos, aproveitando o calor desse procedimento para geração de energia, além de substituir o modal rodoviário pelo hidroviário nos trechos em que isso seja possível.

## 9 ESPECIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO

O presente capítulo visa melhor detalhar o cenário 2B, apontado como o mais adequado quando avaliado sob a ótica financeira, representada por custos operacionais, e ambiental, avaliada pelas emissões de CO<sub>2</sub>. A alternativa sugere que os resíduos sejam incinerados com aproveitamento energético e que as cinzas resultantes do processo sejam transportadas por hidrovias nos trechos em que isso for possível. A seguir, a logística desse cenário será aprofundada e serão apresentados os resultados para os critérios de avaliação escolhidos.

A proposta desta alternativa é que a parcela dos resíduos coletados no município de São Paulo que são levadas para as Estações de Transbordo Ponte Pequena e Santo Amaro seja tratada em Usinas de Recuperação Energética. Estas usinas seriam localizadas ao lado dessas Estações de Transbordo, o que permite diminuir os custos logísticos devido à proximidade.

Adicionalmente, tais endereços foram considerados por serem localizados próximos aos rios Pinheiros e Tietê, o que permite que os rejeitos do processo (as cinzas) sejam levados por hidrovia até um ponto próximo ao aterro.

Para a quantificação dos critérios escolhidos, foi necessário primeiramente projetar a produção de lixo no horizonte do projeto, resultando nos valores mostrados na Tabela 43.

**Tabela 43: Projeção da produção de RSUs para o período estudado**

Ano	Produção (t/dia)	RSU Santo Amaro (t/ano)	RSU Ponte Pequena (t/ano)
2012	14.651	744.600	1.543.950
2013	14.808	752.353	1.560.376
2014	14.965	760.326	1.576.913
2015	15.122	768.300	1.593.450
2016	15.279	776.273	1.609.987
2017	15.435	784.247	1.626.524
2018	15.592	792.220	1.643.061
2019	15.749	800.194	1.659.597
2020	15.906	808.167	1.676.134
2021	16.063	816.141	1.692.671
2022	16.220	824.114	1.709.208
2023	16.377	832.088	1.725.745
2024	16.534	840.061	1.742.282
2025	16.691	848.035	1.758.819
2026	16.848	856.008	1.775.356
2027	17.005	863.982	1.791.893
2028	17.162	871.955	1.808.430
2029	17.319	879.929	1.824.967
2030	17.476	887.902	1.841.504
2031	17.633	895.876	1.858.041
2032	17.790	903.849	1.874.578
2033	17.946	911.823	1.891.115
2034	18.103	919.796	1.907.652
2035	18.260	927.770	1.924.189
2036	18.417	935.743	1.940.726
2037	18.574	943.717	1.957.263

A partir de informações sobre a operação de uma URE obtidas junto à EMAE (2012) foi possível estimar o custo operacional do tratamento. A soma deste valor aplicado a todos os anos do período estudado é de R\$ 4.067.832.339,00

Para o cálculo da energia gerada com o processo de incineração dos RSUs em usina de recuperação energética considerou-se uma taxa de geração de 413 kWh/tonelada de resíduo incinerada, conforme Paro; Costa e Coelho (2008). A energia resultante e sua receita são apresentadas a seguir, considerando a soma ao final dos 25 anos de projeto. Observa-se que os resíduos que já passaram por processo de tratamento em URE não apresentam produção significativa de biogás quando destinados a aterros após o tratamento.

**Tabela 44: Geração e venda de energia ao fim dos 25 anos de horizonte de projeto.**

	<b>Geração de energia ao final dos 25 anos (MWh)</b>	<b>Receita com a venda da energia ao final dos 25 anos (R\$)</b>
Alternativa 0 (atual): transporte rodoviário	7.678.809	1.305.397.605
Alternativa 2B: URE + transporte hidro e rodoviário	27.892.782	4.741.772.991

Foram também estimadas as emissões de CO<sub>2</sub> com a queima dos resíduos, considerando que a queima de 1 tonelada de resíduos sólidos emite 0,97 kg de CO<sub>2</sub>, resultando em 65.929 toneladas emitidas ao final do período considerado.

Considerando que esse resíduo será incinerado, a massa que deve ser levada ao aterro é cerca de 24% da massa de RSU que adentra o processo. Os resíduos da URE são então transportados por meio hidroviário até um porto localizado no Cebolão. Para isso, foi considerado que nestes trechos (Ponte Pequena a Cebolão e Santo Amaro a Cebolão) as hidrovias são integralmente navegáveis.

Os custos com o transporte hidroviário nestes trechos estão na Tabela 45 e na Tabela 46. Na primeira são apresentados os cálculos para apenas um dia de operação do primeiro ano estudado. Na segunda, eles são apresentados já considerando a soma dos resíduos dos 25 anos de projeto implantado.

**Tabela 45: Custo do transporte hidroviário a partir de cada Estação de Transbordo até o Cebolão por dia no primeiro ano**

<b>Ponte Pequena</b>	<b>Santo Amaro</b>	<b>Total</b>
R\$ 3.123	R\$ 1.506	R\$ 4.628

**Tabela 46: Custo do transporte hidroviário a partir de cada Estação de Transbordo até o Cebolão ao final do período estudado**

<b>Ponte Pequena</b>	<b>Santo Amaro</b>	<b>Total</b>
R\$ 30.380.412	R\$ 14.648.386	R\$ 45.028.797

O consumo de combustível pelas embarcações é apresentado na Tabela 47

**Tabela 47: Custo hidroviário por dia para cada estação de transbordo**

<b>Estação de Transbordo</b>	<b>Consumo de diesel hidrovia (l/dia)</b>	<b>Custo de diesel hidrovia (R\$/dia)</b>
Ponte Pequena	255	510
Santo Amaro	209	417
<b>Total</b>	<b>464</b>	<b>928</b>

Para o trecho hidroviário, foi calculado que a emissão de CO<sub>2</sub> é de 1.625 toneladas, já incluído todo o horizonte de projeto.

Considerou-se que há um porto no Cebolão onde ocorre o transbordo dos resíduos trazidos pelas chatas para caminhões que os levam para o Aterro Sanitário de Caieiras, localizado a 27 km dali.

O custo do transbordo adotado foi de R\$ 1925,00 por viagem, que gera um custo apenas com transbordo de R\$ 60.425.750,00 ao final dos 25 anos de projeto.

**Tabela 48: Detalhamento do custo de transporte hidroviário considerando todo o período de projeto**

Custo de aquisição e remuneração de capital	Custos de transporte	Custo de Transbordo	Custo Total da Hidrovia
R\$ 30.785.987,56	R\$ 45.028.797,40	R\$ 60.425.750,00	R\$ 136.240.534,96

No trecho rodoviário do Cebolão a Caieiras, foi calculado que em um dia do primeiro ano de operação do período estudado são gastos R\$ 8.093,00 com o transporte. Já o valor de todos os anos de projeto somados é de R\$ 86.822.730,00. Estes valores consideram os resíduos vindos das duas estações de transbordo, uma vez que eles se juntam no porto no Cebolão.

O consumo de combustível no trecho rodoviário é de 2.109 litros por dia, o que gera um custo de R\$ 4.219,00. Estes valores são válidos para um dia de operação no primeiro ano do período estudado.

**Tabela 49: Detalhamento do custo de transporte rodoviário considerando a soma dos valores durante todo o período de projeto**

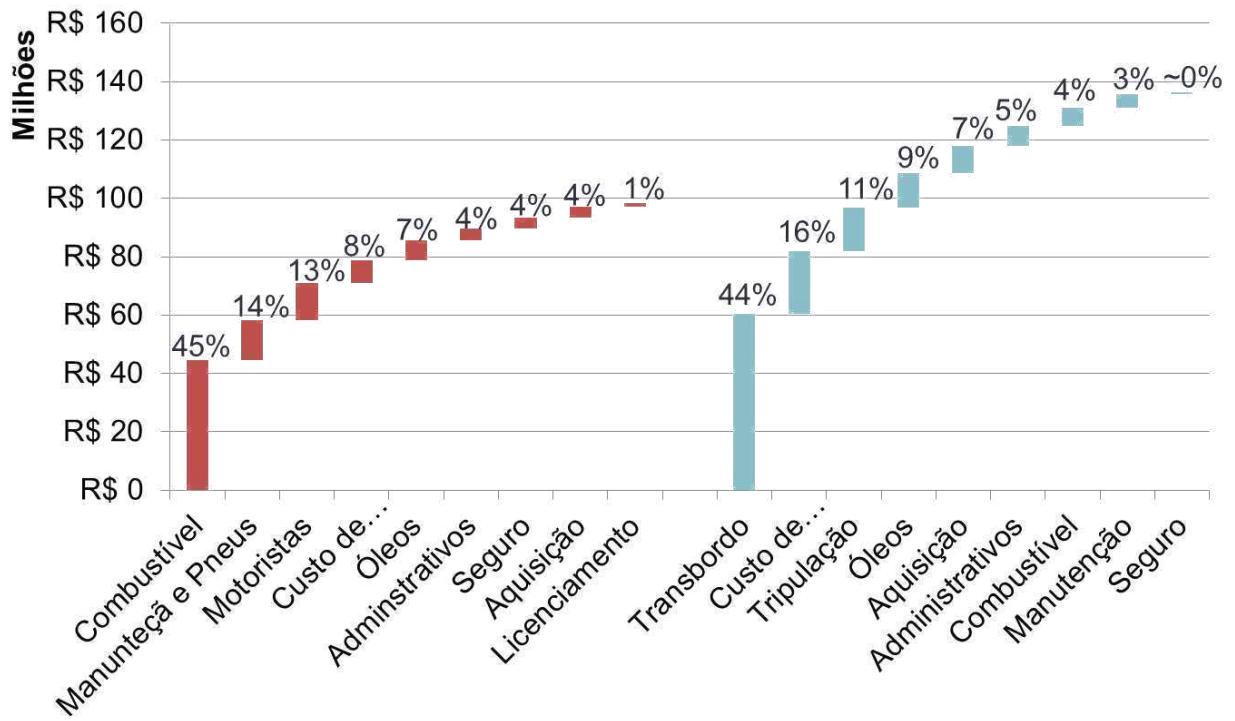
Custo de aquisição e remuneração de capital	Custos de transporte	Custo Total da Rodovia
R\$ 11.446.642	R\$ 86.822.730	R\$ 98.269.372

E as emissões do trecho rodoviário são de: 6.145 toneladas de CO<sub>2</sub> ao final do período estudado.

Para finalizar o processo pelo qual propõe-se que passem os RSUs de São Paulo, calculou-se o custo da disposição em aterro do resíduo que sai da URE. Como o preço cobrado pelo aterro é de R\$ 60,00 por tonelada recebida de RSU, o gasto total ao final dos 25 anos de projeto com disposição é de R\$ 971.422.648,02.

Os resultados para todos os anos do período de projeto são apresentados no Anexo 12.6. Já o modelo financeiro detalhado da solução está no Anexo 12.7.

Os custos de transporte da solução escolhida também são apresentados no gráfico apresentado na Figura 46. A cor vermelha foi escolhida para representar o modal rodoviário, enquanto a cor azul para o hidroviário.



**Figura 46: Custos de transporte**

Como é indicado pelo gráfico, os dois grandes vilões dos custos de transporte são os gastos com combustíveis no trecho rodoviário e os com transbordo entre modais, que são, neste caso, associados ao transporte hidroviário

Já no âmbito do critério ambiental, pode-se observar no gráfico abaixo, gerado através dos valores absolutos de emissões de CO<sub>2</sub> (Figura 47), que a Usina de Recuperação Energética emite em sua operação 89% do total emitido em todo o processo que os resíduos passam desde a Estação de Transbordo até a sua disposição no Aterro de Caiadas.

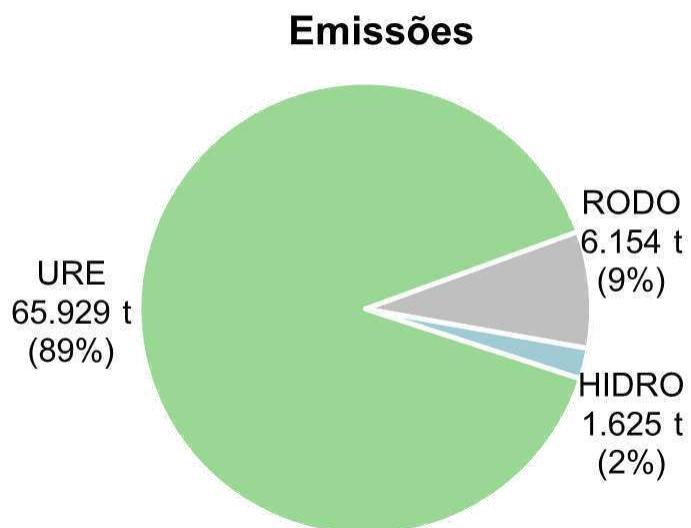


Figura 47: Emissões

## 10 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A logística atual dos resíduos sólidos na cidade de São Paulo não é sustentável: os aterros sanitários estão perto de atingir o limite de sua capacidade e as áreas para a construção de novos são escassas e cada vez mais afastadas dos centros urbanos, gerando altos custos e elevadas emissões. Percebe-se, portanto, que uma mudança nessa logística é premente.

Assim, este trabalho de formatura teve como principal objetivo sugerir e avaliar alternativas para a logística dos resíduos sólidos urbanos da cidade de São Paulo, tendo em vista os custos relativos à operação, a diminuição de emissão de gases de efeito estufa, o curto tempo de vida dos aterros existentes e a falta de áreas para a implementação de novos.

Foram estudadas a viabilidade da incineração de resíduos sólidos urbanos em usinas de recuperação energética (URE) e a operação do transporte de RSUs por hidrovias entre as estações de transbordo Santo Amaro e Ponte Pequena e o aterro de Caieiras. Estas alternativas já vem sendo tema de estudos de renomados institutos brasileiros, tais como o IPT, a EMAE e o CENBIO.

As UREs não isentam a necessidade de aterros. No entanto, diminuem essa demanda em 76%, aumentando a vida útil do aterro e reduzindo a necessidade de transporte e o consumo de combustível. Ainda, a URE gera energia cuja venda abate boa parte de seus custos operacionais. Já a hidrovia possibilita uma maior capacidade de carga transportada por viagem e menores emissões, contribuindo com a revitalização dos rios e o uso múltiplo das águas.

### ***A Melhor Alternativa***

Considerando os custos de operação e a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido, critérios de avaliação escolhidos para este Trabalho, e a visão do problema sob a ótica de diferentes setores, conclui-se que a melhor alternativa seria aproveitar energeticamente esses resíduos através da incineração em URE e transportar as cinzas pelo modal hidroviário no trecho em questão.

Essa alternativa implica em gastos operacionais de R\$ 532 milhões somando todo o horizonte de 25 anos de projeto, representando uma economia de 84% quando comparado com o cenário atual (que custa R\$ 3,43 bilhões). As UREs, por outro lado, aumentam as emissões de gás carbônico em comparação com o cenário atual, de forma que passa-se a emitir 73.699 t de CO<sub>2</sub> ao final do período estudado, versus 58.540 t de CO<sub>2</sub> com a alternativa de nada a fazer (26% a mais).

Cabe ressaltar que os aspectos técnicos foram aqui considerados viáveis e já implantados, de forma que se imagina a hidrovia e as UREs já operacionais.

A hidrovia não teve o destaque inicialmente esperado, principalmente devido ao alto custo de transbordo, usualmente amortecido por longas distâncias e pela eficiência maior em termos de combustível do modal hidroviário.

Cabe também destacar o aumento significativo de emissões, ocasionado pela inserção da URE. Por outro lado, deve-se mencionar que há um potencial de utilização da URE para substituir usinas termoelétricas como complemento da matriz energética, compensando essas emissões.

Adicionalmente, a implantação em um mesmo cenário das duas alternativas apresentadas (URE e hidrovia) tem a vantagem de retirada de carretas da marginal, potencialmente diminuindo o trânsito e aumentando a qualidade de vida pra população.

### ***Consideração do Grupo sobre o Problema***

Dessa forma, o grupo espera que, considerando a escassez de áreas para novos aterros, a diminuição dos custos logísticos e da demanda por combustível, a implantação de UREs e da hidrovia seja uma alternativa estratégica para resolver a questão premente dos resíduos sólidos urbanos, sendo o presente Trabalho a contribuição do grupo para tal discussão.

### ***Recomendações***

Considerando a alta relevância e abrangência da questão trabalhada, não é possível que um único estudo, principalmente o de um Trabalho de Formatura de Graduação, aborde todos os aspectos relevantes do tema.

Tendo isto posto, são deixadas algumas sugestões de trabalhos futuros que venham a complementar o presente estudo.

Sugere-se que seja estudada a alteração na geração de energia, ocasionada pela a mudança na composição gravimétrica dos RSUs devido à evolução do volume de material reciclado com a implementação da PNRS. A redução da parcela de material reciclável no lixo causa alteração no poder calorífico dos resíduos, afetando a geração de energia elétrica.

Um estudo sobre a implementação das Usinas de Recuperação Energética, com mais atenção quanto a aspectos construtivos e de localização, também são recomendados. Assim como estudos sobre a navegabilidade dos trechos hidroviários, com regularização de vazões e, ocasionalmente, obras hidráulicas.

Outro aspecto a ser analisado seria a consideração do transporte de outros tipos de resíduos, de baixo valor unitário, que são movimentados na cidade de São Paulo, pela hidrovia, de modo a aumentar o seu uso e contribuir para sua viabilidade econômica.

Ainda dentro da questão hidroviária, se faz necessária a criação de um marco regulatório quanto ao transporte de resíduos sólidos urbanos em corpos d'água, que, devido ao risco ambiental que pode envolver, ainda não é permitido por lei. A criação de normas para este transporte pode permitir sua permissão, sem o risco de incorrer em danos ao ambiente.

Por fim, mas não menos importante, existe a possibilidade de realização de estudos mais aprofundados dos impactos ambientais, principalmente daqueles relacionados aos aspectos socioeconômicos como, por exemplo, a diminuição dos custos com saúde associados à poluição do ar<sup>24</sup> e o impacto positivo no trânsito com a inserção do modal hidroviário no transporte de resíduos sólidos. Sendo estes de grande relevância para aprimorar a quantificação dos critérios, pesos das notas e escolha da solução.

---

<sup>24</sup> Alguns estudos realizados em alguns poucos países (Lave e Seskin (1977) e Ostro(1992) apud Motta e Mendes, 1994) demonstraram que existe uma associação positiva entre altos índices de poluição e incidência de determinadas moléstias.

## 11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEN – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR, 2008. Análise comparativa das alternativas energéticas quanto às emissões diretas e indiretas de CO<sub>2</sub>.

Disponível em: <[http://www.zonaeletrica.com.br/downloads/20080410\\_ibama\\_3.pdf](http://www.zonaeletrica.com.br/downloads/20080410_ibama_3.pdf)>. Acesso em 05/12/2012

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2011. Disponível em <[http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_apresentacao.cfm](http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm)>. Acesso em: 24 de outubro de 2012.

ADUANEIRA, Guanabara. Porto Velho, 2012. Disponível em <http://www.gbaduaneira.com.br/portugues/containeres.htm>. Acesso em maio de 2012.

Alckmin anuncia construção de eclusa na barragem da penha com investimento de 90 milhões, SÃO PAULO (Estado), Assessoria de Imprensa Secretaria Estadual de Logística e Transportes, São Paulo, 30 de março de 2012. Disponível em: <http://governo-sp.jusbrasil.com.br/politica/8568491/alckmin-anuncia-construcao-de-eclusa-na-barragem-da-penha-com-investimento-de-90-milhoes>. Acesso em 21 de abril de 2012.

AMBIENTAIS, Relatório Final de Estudos. In: PETCON. Estudos de pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental do Hidroanel Metropolitano de São Paulo, São Paulo, junho de 2011, CD-ROM do Departamento Hidroviário do Estado de São Paulo.

ANTC - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE DE CARGAS. Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte Rodoviário de Cargas, 2001. Disponível em: <<http://www.guadotrc.com.br/pdf/MANUAL.pdf>>. Acesso em 07 de novembro de 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023:2002: informação e documentação – referências. Rio de Janeiro, 2002.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Acesso em 11 de novembro de 2012. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?COPOMJUROS>>

BELLI, Pedro; ANDERSON, Jock; HOWARD, Barnum; DIXON, John; TAN, Jee-Peng. Handbook on Economic Analysis of Investment Operations. Operational Core Services Network Learning na Leadership Center. Janeiro de 1998. Disponível em: <<http://siteresources.worldbank.org/INTCDD/Resources/HandbookEA.pdf>>. Acesso em: 17 de agosto de 2012.

CAIXETA, Dalma Maria. Geração de Energia Elétrica a Partir da Incineração de Lixo Urbano: o Caso de Campo Grande/MS. 2005. 86p. Dissertação (Monografia de Especialização) – Universidade de Brasília, Brasília.

CARVALHO, Casemiro Tércio. Investimentos na Hidrovia Tietê-Paraná e Ampliação do Porto São Sebastião. Disponível em:<[http://www.institutodeengenharia.org.br/site/noticias/exibe/id\\_sessao/7/id\\_noticia/6449/Investimentos-na-hidrovia-Tiet%C3%AA-Paran%C3%A1-e-amplia%C3%A7%C3%A3o-do-Porto-S%C3%A3o-Sebasti%C3%A3o](http://www.institutodeengenharia.org.br/site/noticias/exibe/id_sessao/7/id_noticia/6449/Investimentos-na-hidrovia-Tiet%C3%AA-Paran%C3%A1-e-amplia%C3%A7%C3%A3o-do-Porto-S%C3%A3o-Sebasti%C3%A3o)> Acesso em: 01 de novembro de 2012.

CILIP - Centro de Inovação em Logística e Infraestrutura Portuária. Relatório interno disponibilizado exclusivamente para consulta de dados. São Paulo, 2010.

City of London achieves zero to landfill status. City of London Corporation, 2 de novembro de 2011. Disponível em <[http://217.154.230.196/Corporation/media\\_centre/news\\_2011/city\\_landfill\\_status.htm](http://217.154.230.196/Corporation/media_centre/news_2011/city_landfill_status.htm)>. Acesso em 25 de abril de 2012.

CONCEITUAIS, Relatório Final de Estudos. In: PETCON. Estudos de pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental do Hidroanel Metropolitano de São Paulo, São Paulo, junho de 2011, CD-ROM do Departamento Hidroviário do Estado de São Paulo.

CPEA. Rima – Relatório de Impacto Ambiental – Terminal fluvial de Granéis Sólidos da Cargill Agrícola S.A. 2010

ECOURBIS, 2010. Apud CILIP - Centro de Inovação em Logística e Infraestrutura Portuária. Relatório interno disponibilizado exclusivamente para consulta de dados. São Paulo, 2010.

ECOURBIS, 2012. Acesso em: 21 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www.ecourbis.com.br/>>

EMAE – Empresa Metropolitana de Águas e Energia. Material obtido em reunião presencial em junho de 2012 e via correspondências eletrônicas trocadas entre Agosto e Novembro de 2012.

ENGECORPS, Corpo de Engenheiros Consultores Ltda. Avaliação da Capacidade de Tráfego da Futura Eclusa da Penha, 2010.

ESSENCIS SOLUÇÕES AMBIENTAIS, 2012. Acesso em 27 abr. 2012. Disponível em: <http://www.essencis.com.br>

FERNANDES, Juliana Gonçalves. Estudo da Emissão de Biogás em um Aterro Sanitário Experimental. 2009. 116p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte

FERROUS. Rima – Relatório de Impacto Ambiental – Planta de Filtragem e Terminal Portuário Privativo para Embarque de Minério de Ferro – Presidente Kennedy/ES. Bios Editoração

FIPE – FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS. Acesso em 08 de novembro de 2012. Disponível em: < <http://www.fipe.org.br/web/index.aspx?aspx=/web/indices/veiculos/introducao.aspx> >

FONSECA, A. M. GONZAGA, V. C. Metodologia para auditoria de serviços de limpeza urbana, com enfoque nos custos de coleta de resíduos sólidos urbanos. Belo Horizonte, 2006. Disponível em: < <http://www2.tce.pr.gov.br/xisinaop/Trabalhos/Metodologia%20para%20auditoria%20de%20servi%C3%A7os.pdf> >. Acesso em 03 de novembro de 2012.

GARCIA, Hilton Aparecido. Análise dos Procedimentos de Projetos e Desenvolvimento de Método para Determinação de Custos de Construção e Operação de Embarcações Fluviais. 2001. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

GARCILASSO, Vanessa Pecora; VELÁZQUEZ, Sílvia Maria Stortini González; COELHO, Suaní Teixeira. Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás Proveniente de Aterro Sanitário - Estudo de Caso. In: XIII Congresso Brasileiro de Energia - XIII CBE, 2010, Rio de Janeiro/RJ.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Seminário Técnico São Paulo-Baviera sobre Gestão de Resíduos Sólidos no Estado da Baviera, 2011. Disponível em < <http://www.bayern.com.br/images/UserUpload/file/Relat%C3%B3rio%20do%20governo%20de%20S%C3%A3o%20Paulo%20-%20maio%202011.pdf> >. Acesso em 19 de novembro de 2012.

GRUPO METRÓPOLE FLUVIAL, FAU USP. Disponível em < [http://metropolefluvial.fau.usp.br/mapa\\_dos\\_trechos.php](http://metropolefluvial.fau.usp.br/mapa_dos_trechos.php) >. Acesso em 21 de abril de 2012.

HASEGAWA, K; IQBAL, K. S. Inland transportation system planning by life cycle impact assessment: a case study. In: Journal of Naval Architecture and Marine Engineering, Junho. 2000.

HAUSER, Philipp Daniel; LEMME, Celso Funcia. Modelo Financeiro para Avaliação de Projetos de Incineração de Resíduos Sólidos Municipais, no Âmbito de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo. In: 30º Encontro da ANPAD, 2006, Salvador/BA.

IPCC/ONU. Novos Cenários Climáticos – Versão em português: iniciativa da Ecolatina 1, 2007. Disponível em: < <http://www.ecolatina.com.br/pdf/IPCC-COMPLETO.pdf> >. Acesso em 12 de novembro de 2012.

IQBAL, K. S; SHIL, S. K. A Comparative Study Of Two Passenger Transportation Systems Between Two Bangladesh Cities. In: Journal of Naval Architecture and Marine Engineering, vol. 2 n°2, Dezembro. 2005.

IQBAL, K. S; HASEGAWA, K. Inland transportation system planning by life-cycle impact assessment: a case study. 2nd report: single comparison index. In: Journal of Naval Architecture and Marine Engineering, Setembro. 2001.

LICENCIAMENTO DE VEÍCULOS. Acesso em 08 de novembro de 2012. Disponível em:< <http://licenciamentodeveiculos.com/ipva-2011-aliquota/> >

LIMPURB, 2010 - Departamento de Limpeza Urbana da Prefeitura de São Paulo , apud CILIP, 2010

MAN – Volkswagen Caminhões e Ônibus. Acesso em 08 de novembro de 2012. Disponível em: < <http://man-la.com/configurador/> >

MINISTÉRIO DA CASA CIVIL. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. < [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 10 de abril de 2012.

MOTTA, Ronaldo Serôa da; MENDES, Ana Paula Fernandes. Custos de Saúde Associados à Poluição do Ar no Brasil. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 1994.

PARO, André de Carvalho; COSTA, Fernando Cörner da; COELHO, Suani Teixeira. Estudo comparativo para tratamento de resíduos sólidos urbanos: Aterros sanitários x Incineração. Revista Brasileira de Energia, v. 14, p. 113-125, 2008

PECORA, Vanessa; VELÁZQUEZ, Sílvia Maria Stortini González; COELHO, Suani Teixeira. Aproveitamento do Biogás Proveniente dos Resíduos Sólidos Urbanos Para Geração de Energia Elétrica: Estudo de Caso em São Paulo. In: IV Congresso Internacional de Bioenergia, 2009, Curitiba/PR

PECORA, Vanessa; FIGUEIREDO, Natalie Jimenez Vérdi de; COELHO, Suani Teixeira; VELÁZQUEZ, Sílvia Maria Stortini González. Biogás e o Mercado de Créditos de Carbono. In: Rio Oil & Gas Expo and Conference 2008, 2008, Rio de Janeiro/RJ

PEREIRA, Newton N. Um Estudo Sobre Instalações Propulsoras Para Empurradores Fluviais. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, São Paulo, 2007.

PETCON, Estudos de Pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental do Hidroanel Metropolitano de São Paulo: Relatório encomendado pelo Departamento Hidroviário do Estado de São Paulo, contrato No. DH-034/2010, Brasília, junho de 2011, CD-ROM.

PIANC. Índices Logísticos. Rio de Janeiro: 2006. Disponível no site: <[http://www.centrodelogistica.com.br/new/indicesAqua\\_Parte\\_1.pdf](http://www.centrodelogistica.com.br/new/indicesAqua_Parte_1.pdf)> (não funciona).

POLETTI, J. A. Viabilidade energética e econômica da incineração de resíduo sólido urbano considerando a segregação para reciclagem. 2008. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2010. Disponível em: <<http://www.capital.sp.gov.br/portalpmesp/homec.jsp>>. Acessos em: 12 mai. 2010 e 27 de abril de 2012.

PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2012. Disponível em: <<http://www.capital.sp.gov.br/portalpmesp/homec.jsp>>.. Acesso em: 27 abr. 2012

- PREFEITURA DE SÃO PAULO. Coleta de Lixo. Disponível em :<[http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/coleta\\_de\\_lixo/index.php?p=4634](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/coleta_de_lixo/index.php?p=4634)>Acesso em: 27 abr. 2012

- PREFEITURA DE SÃO PAULO. Coleta Seletiva. Disponível em :<[http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/amlurb/coleta\\_seletiva/index.php?p=4623](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/amlurb/coleta_seletiva/index.php?p=4623)>Acesso em: 27 abr. 2012

- PREFEITURA DE SÃO PAULO. Concessões. Disponível em :<<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/amlurb/concessao/index.php?p=4630>>Acesso em: 27 abr. 2012

- PREFEITURA DE SÃO PAULO. Ecopontos. Disponível em :<<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/amlurb/ecopontos/index.php?p=4626>>Acesso em: 27 abr. 2012.

SANTOS, Cilene Novaes. Avaliação das medidas mitigadoras relacionadas ao meio físico, formuladas em Estudos de Impactos Ambientais e Relatórios de Impactos Ambientais (EIAs/RIMAs) de Aterros Sanitários no Estado de São Paulo, 2008. Dissertação (mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 2008.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente, Saúde Pública e Proteção do Consumidor. Gerenciamento de Resíduos Sólidos: Uma visão de Futuro. São Paulo, 2010. Pen-drive e obtido com o CENBIO.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, Resolução SMA 079, 04 de novembro de 2010.

SEEDESP – Sindicato dos Empregados em Empresas Distribuidoras de Gêneros em Geral do Estado de São Paulo. Acesso em: 07 de novembro de 2012. Disponível em:<<http://www.seedesp.org.br/novo/conteudo.asp?include=salario.htm&height=13100>>

SEGURO DPVAT, 2012. Acesso em 08 de novembro de 2012. Disponível em:<<http://www.dpvatsegurodotransito.com.br/saiba-quanto-pagar.aspx>>.

SÓCIOECONÔMICOS, Relatório Final de Estudos. In: PETCON. Estudos de pré-viabilidade técnica, econômica e ambiental do Hidroanel Metropolitano de São

Paulo, São Paulo, dezembro de 2010, pen drive obtido com o Centro de Inovação em Logística e Infraestrutura Portuária da USP.

SUZANO, João Batista. Reutilização dos Polímeros Como Fonte de Energia. 2010. 58p. Dissertação (trabalho de conclusão de curso) – Faculdade de Tecnologia de Sorocaba.

TEIXEIRA, K. M. Investigação de opções de transporte de carga geral em contêineres nas conexões com a região amazônica. São Carlos, 2007. Disponível em < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-27112007-110022/pt-br.php> >. Acesso em 19 de outubro de 2012.

ZANCHETTA, Diego; BURGARELLI, Rodrigo. SP terá de reciclar menos 10% de seu entulho. O Estado de S. Paulo, São Paulo, 30 jun. 2011. Disponível em: < <http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,sp-tera-de-reciclar-pelo-menos-10-de-seu-entulho,738714,0.htm> >. Acesso em: 27 abr. 2012.

## 12 ANEXOS

### 12.1 INSTITUIÇÕES INTERVENIENTES NO LICENCIAMENTO AMBIENTAL

As instituições que atuam diretamente nas fases de licenciamento ambiental; de supervisão/fiscalização de aspectos ambientais, sociais e de segurança do trabalho e os órgãos responsáveis pela emissão de autorizações não vinculadas ao processo de licenciamento são listadas a seguir.

#### **Em nível federal**

- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
- IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

#### **Em nível estadual**

- SMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente: o órgão coordena e fiscaliza o processo de licenciamento através de vários departamentos e órgãos coligados, a saber:
  - CPRN (Coordenadoria de Licenciamento Ambiental e de Proteção aos Recursos Naturais), por meio dos departamentos:
    - DAIA (Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental)
    - DEPRN (Departamento de Proteção aos Recursos Naturais)
    - DUSM (Departamento de Uso do Solo Metropolitano)
  - CONSEMA (Conselho Estadual do Meio Ambiente)
- CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, ex-Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico):
- CPLEA (Coordenadoria de Planejamento Ambiental Estratégico e Educação Ambiental)
- SRH – Secretaria de Estado de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras, por meio das seguintes entidades:
  - DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica)
  - CBH-Alto Tietê (Comitê de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê)
- SSP – Secretaria de Segurança Pública
- SEC – Secretaria de Estado da Cultura

#### **Em nível municipal**

- Prefeituras Municipais
- Conselhos Municipais de Meio Ambiente

### **INSTITUIÇÕES NÃO VINCULADAS AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL**

- DNIT (Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, antigo DNER)
- Empresas públicas e concessionárias de serviços públicos: como a SABESP, a EMAE, ELETROPAULO, CPTM, METRÔ, ARTESP, DER-SP, DERSA, CET, EMBRATEL e dentre outras

## 12.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, GEOMORFOLÓGICOS-PEDOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS

Ambientais (2011) relaciona ainda no diagnóstico aspectos geológicos, geotécnicos, geomorfológicos-pedológicos e hidrogeológicos, que serão a seguir descritos.

### 12.2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

As grandes depressões e a topografia extremamente irregular formada no Período Terciário, causada pela intensa mobilização vertical das massas rochosas, passou a ser preenchida, regularizada e recoberta por intensa sedimentação fluvial. A camada espessa de com mais de duas centenas de metros cobre toda a cidade de São Paulo.

Ambientais (2011) cita que, “quanto à litologia, os depósitos terciários são formados pela sucessão alternada de camadas descontínuas e de lentes, constituídas genericamente por argilas siltosas e areias diversas, podendo também conter cascalhos”.

Esse conjunto de sedimentos é reunido sob a denominação de Grupo Taubaté, sendo subdividido, da base para o topo em: Formações Resende, Tremembé e São Paulo, cada uma delas com condições deposicionais próprias (Figura 48). A Formação Itaquaquecetuba fica depositada discordantemente sobre as outras. As rochas sotopostas do embasamento estão sendo expostas devido a erosão, como ocorre, por exemplo, a montante de Mogi das Cruzes.

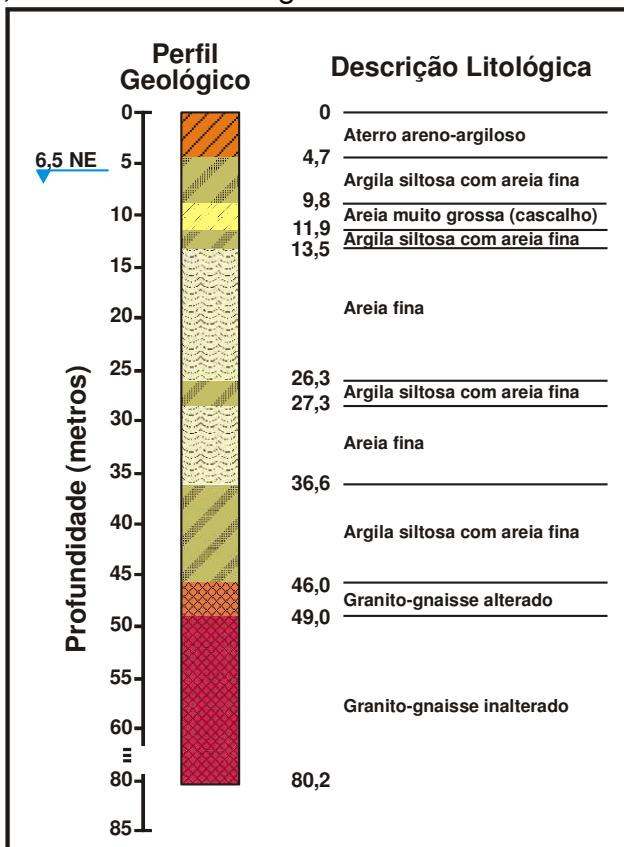


Figura 48: Perfil litológico de um poço na RMSP, onde predominam sedimentos areno-argilosos de idade terciária das Formações São Paulo e Itaquaquecetuba, que capeiam o embasamento gnáissico de idade pré-cambriana

Recobrindo os sedimentos terciários ou as rochas e solos do embasamento cristalino, ocorrem os sedimentos aluviais, geralmente constituídos por camadas e lentes de cascalhos, na base, sucedidas por argilas moles e areias diversas. Nas planícies mais amplas, têm espessuras da ordem de 6 m a 8 m, enquanto que nas de menor expressão as espessuras são de 2 m a 4 m, ou até menos.

Existam ainda materiais de origem não geológica<sup>25</sup> que recobrem principalmente os aluviões nos fundos de vale e que foram lançados artificialmente para regularização topográfica ou para levantar superfícies inundáveis.

A montante da Penha, as conformações meandradas ainda existem. No rio Pinheiros e rio Tamanduateí, no entanto, por causa da retificação e da canalização desses cursos, foram perdidas.

## **12.2.2 ASPECTOS GEOTÉCNICOS**

A Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) identifica as feições geotécnicas das camadas existentes na região em estudo:

### **Formação Resende:**

- Planície aluvial de rios entrelaçados, sempre abaixo da cota 750;
- Região do Vale do Anhangabaú, prolongando-se sobre a Praça da República, Largo do Arouche, até Santa Cecília;
- Apresenta duas litofáceis principais: 1- com matações, conglomerados e seixos em matriz lamítica e arenosa, esverdeada; 2- lamitos arenosos de cor esverdeadada-esbranquiçada ou acinzentada exibindo estratificação cruzada. Correspondem a essa formação as camadas de areias basais, argilas pouco arenosas cinza esverdeadas e de areias cinzentas pouco argilosas (VARGAS, 2002 apud AMBIENTAIS, 2011).

### **Formação Tremembé**

- Formada de camadas tabulares de argila verde intercaladas com argila cinza escura e preta, ricas em matéria orgânica relacionadas a depósitos de origem lacustre.

### **Formação São Paulo**

- Entre as cotas de 750m a 820m;
- Ao longo do espião central da cidade de São Paulo, seguindo a direção das ruas Heitor Penteado, Dr. Arnaldo, Av. Paulista, Vergueiro, Domingos de Moraes, isto é, do Sumaré até a Vila Clementino;
- Depósitos do sistema fluvial meandrante com sedimentos siltosos com areias finas e grossas, sotopostos a sedimentos superficiais argilosos testemunhos de lagoas;
- Segundo pesquisadores, essa formação sobrepõe-se ao sistema de leques aluviais da Formação Resende.

### **Formação Itaquaquecetuba**

---

<sup>25</sup> Por serem geralmente feitos com materiais de bota-foras de obras de escavações, possuem uma constituição extremamente variada.

- Corresponde aos depósitos do sistema fluvial entrelaçado que ocorre sobre os aluviões homogêneos dos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí;
- Portos de areia explorados na margem do rio Tietê com a finalidade de produzir concreto (esgotados);
- Eventualmente esses depósitos são intercalados por lentes de argila de cor esverdeada ou marrom escuro e também pedregulho de quartzo ou blocos de rochas do embasamento.

### **12.2.3 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS-PEDOLÓGICOS**

Seguem as características das unidades de relevo da RMSP:

Planalto Paulistano/Alto Tietê: tem configuração de morros médios e altos de topos convexos, com altimetria predominantemente compreendida entre 800 m e 1.000 m e declividades entre 10% e 20%, sofrendo ação de processos erosivos generalizados de denudação. São três as serras que têm destaque: Itapeti, Cantareira e Itaqui, com altitudes entre 1.000 m e 1.150 m. De acordo com Ambientais (2011), “o padrão da drenagem é do tipo dendrítico, comumente controlada pelos lineamentos estruturais das rochas. De acordo com a litologia presente (xistos, migmatitos e granitos), os solos são Argissolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos”. A área é classificada como de nível de fragilidade potencial médio.

Planalto de São Paulo: abrange grande parte da RMSP, e as formas de relevo indicam a atividade de processos denudacionais, com formas de relevo de colinas e de patamares aplanados e os vales apresentam cabeceiras bastante entalhadas. Esses patamares aplanados estão a cerca de 740 m e as colinas entre 760 m e 800 m. As vertentes das colinas apresentam declividades variando entre 20% e 30%. Os solos são predominantemente Latossolos Vermelho-Amarelos e Vermelho-Escuros.

Planícies Fluviais: áreas situadas ao longo do rio Tietê e de seus principais afluentes, tendo como declividades valores inferiores a 2% e estando entre as cotas 720 m e 730 m (constituídas por Gleissolos). Região com elevado potencial de fragilidade, definindo um elevado índice de erodibilidade dos terrenos.

Planalto de Jundiaí, na região de influência do Hidroanel, está restrito à sub-bacia do rio Juqueri, onde os modelados dominantes são de colinas e morros baixos, de topos convexos, com declividades das vertentes de 30% a 40%. A altimetria dominante situa-se entre 800 m e 900 m. A drenagem é do tipo dendrítica, e predomina também o processo denudacional. O nível de fragilidade potencial do terreno é considerado alto, estando a área sujeita a ocorrência de movimentos de massas, com desenvolvimento de processos erosivos do tipo linear.

### **12.2.4 ASPECTOS PEDOLÓGICOS-HIDROLÓGICOS**

Ambientais (2011) cita as seguintes características, de acordo com United States Soil Conservation Service (USSCS):

- Solos decorrentes da meteorização de xistos e de filitos: mais argilosos e apresentam elevados índices de escoamento superficial (grupos hidrológicos C e D / USSCS);
- Solos derivados de gnaisses e migmatitos: um pouco mais arenosos e com maior potencial de infiltração (grupo hidrológico B / USSCS);
- Solos derivados de granitos: melhores condições de infiltração do que os exemplos acima (grupos hidrológicos A e B / USSCS);

- Solos derivados dos sedimentos terciários com horizontes siltoargilosos: potencial de escoamento superficial considerado elevado (classes hidrológicas C e D / USSCS);
- Solos derivados de sedimentos aluviais: infiltração das águas limitada até que seja atingida a sua saturação (classes hidrológicas B, C e D / USSCS)

## 12.3 FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE TOXICIDADE - FTEQ PARA CONGÊNERES DE DIOXINAS E FURANOS

**Tabela 50: Fatores de Equivalência de Toxicidade - FTEQ para Congêneres de dioxinas e Furanos (Fonte: Resolução SMA 079/2009)**

	Congêneres	Fator de Equivalência de toxicidade
	mono-, di-, e tri-CDDs (mono-, di- e tri-cloro-dibenzo-p-dioxinas)	0
2,3,7,8	TCDD (tetracloro-dibenzo-p-dioxina)	1
	outros TCDDs (tetracloro-dibenzo-p-dioxinas).	0
1,2,3,7,8	PeCDD (pentacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,5
	outros PeCDDs (pentacloro-dibenzo-p-dioxinas)	0
1,2,3,4,7,8	HxCDD (hexacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,1
1,2,3,6,7,8	HxCDD (hexacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,1
1,2,3,7,8,9	HxCDD (hexacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,1
	outros HxCDDs (hexacloro-dibenzo-p-dioxinas)	0
1,2,3,4,6,7,8	HpCDD (heptacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,01
	outros HpCDDs (heptacloro-dibenzo-p-dioxinas)	0
	OCDD (octacloro-dibenzo-p-dioxina)	0,001
	Mono-, di-, tri-CDFs (mono-, di- e tri-cloros-dibenzofuranos)	0
2,3,7,8	TCDF (tetracloro-dibenzofurano)	0,1
	outros TCDFs (tetracloro-dibenzofuranos)	0
1,2,3,7,8	PeCDF (pentacloro-dibenzofurano)	0,05
2,3,4,7,8	PeCDF (pentacloro-dibenzofurano)	0,5
	outros PeCDFs (pentacloro-dibenzofuranos)	0
1,2,3,4,7,8	HxCDF (hexacloro-dibenzofurano)	0,1
1,2,3,6,7,8	HxCDF (hexacloro-dibenzofurano)	0,1
1,2,3,7,8,9	HxCDF (hexacloro-dibenzofurano)	0,1
2,3,4,6,7,8	HxCDF (hexacloro-dibenzofurano)	0,1
	outros HxCDFs (hexacloro-dibenzofuranos)	0
1,2,3,4,6,7,8	HpCDF (heptacloro-dibenzofurano)	0,01
1,2,3,4,7,8,9	HpCDF (heptacloro-dibenzofurano)	0,01
	outros HpCDFs (heptacloro-dibenzofuranos)	0
	OCDF (octacloro-dibenzofurano)	0,001

## 12.4 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DE TEIXEIRA (2007)

O modelo segue a seguinte formulação:

$$COTR = \left( \left( \frac{CFM}{CAP * NVM} \right) + \left( \frac{CV}{CAP} \right) + COP + DAT \right) \quad (40)$$

Em que:

COTR = Custo operacional do transporte rodoviário (R\$/t.km)

CFM = Custos fixos mensais (R\$/mês)

CV = Custos variáveis por quilômetro (R\$/km)

CAP = Capacidade do caminhão (t)

COP = Custo operacional do contêiner (essa parcela é considerada apenas para os caminhões porta-contêiner, caso contrário é omitida) (R\$/t)

NVM = Número médio de viagens por mês

DAT = Despesas administrativas (R\$/t)

### - Número médio de viagens por mês

$$NVM = \frac{HTM}{\left( \frac{Dis}{Velm} \right) + Tcd} \quad (41)$$

Em que:

HTM = Horas totais trabalhadas por mês (h)

Dis = Distância da viagem (km)

Velm = Velocidade média (km/h)

Tcd = Tempo de carga e descarga (h)

### 1. Custos Fixos Mensais

$$CFM = Rc + Sm + Sof + Rv + RC + L + Sv + Se + SRF \quad (42)$$

Em que:

CFM = Custos fixos mensais (R\$/mês)

Rc = Remuneração de capital (R\$/mês)

Sm = Salário do motorista (R\$/mês)

Sof = Salário dos mecânicos da oficina (R\$/mês)

Rv = Reposição do veículo (R\$/mês)

RC = Reposição da carroceria (R\$/mês)

L = Licenciamento (R\$/mês)

Sv = Seguro do veículo (R\$/mês)

Se = Seguro do equipamento (R\$/mês)

SRF = Seguro de responsabilidade civil facultativa (R\$/mês)

#### A. Remuneração de Capital

$$RC = (VARC + VARP) \div 12 \quad (43)$$

Em que:

VARC = Valor anual da remuneração do capital (R\$/ano)

VARP = Valor anual de remuneração de peças (R\$/ano)

Como o valor total do veículo participa tanto do cálculo valor anual da remuneração do capital quanto do valor anual de remuneração de peças, a equação será descrita primeiro.

### **Valor Total do Veículo (VTV)**

$$VTV = (Vv + Vr + Vc + V_{3e} + (Qp * (Vp + Vc + Vprot))) \quad (44)$$

Em que:

VTV = Valor Total do Veículo (R\$)

Vv = valor do veículo (R\$)

Vr = Valor do Rodoar (R\$)

Vc = Valor da Carroceria sem pneus (R\$)

V3e = Valor do 3º eixo sem pneus (R\$)

Qp = Quantidade de pneus da carreta

Vpc = Valor do pneu (R\$)

Vca = Valor da câmara (R\$)

Vprot = Valor do protetor do pneu (R\$)

#### **a) Valor anual da remuneração do capital (VARC)**

$$VARC = VTV * Trc \quad (45)$$

Em que:

VARC = Valor anual da remuneração do capital (R\$/ano)

Trc = Taxa de remuneração do capital ao ano (%).

#### **b) Valor anual de remuneração de peças (VARP)**

$$VARP = VTV * Trp \quad (46)$$

Em que:

VARP = Valor anual de remuneração de peças (R\$/ ano)

Trp = Taxa de remuneração de peças ao ano (%).

### **B. Salário Mensal dos Motoristas**

$$SM = NM * S * Es \quad (47)$$

Em que:

SM = Salário mensal dos motoristas (R\$/ mês)

NM= Número de motoristas

S = Salário do motorista (R\$)

Es = Encargos Sociais sob salário (%)

### C. Salário dos Mecânicos da Oficina (Sof)

$$Sof = \left( \frac{Smm}{QVM} \right) * Es \quad (48)$$

Em que;

Sof = Salário dos Mecânicos da oficina (R\$/mês)

Smm = Salário médio de um mecânico

QVM = Quantidade de veículos atendidos por mecânico

Es = Encargos Sociais sob salário (%)

### D. Reposição do Veículo (RV)

$$RV = \left( (Vv - (Vp + Vc + Vprot)) + V_{3e} + Vr \right) * Trv \div VUV \quad (49)$$

Em que:

RV = Reposição do veículo (R\$/mês)

Vv = Valor do veículo (R\$)

Qpv = Quantidade de pneus do veículo

Vp = Valor do pneu (R\$)

Vc = Valor da câmara (R\$)

Vprot = Valor do protetor (R\$)

V3e = Valor do 3º eixo sem pneus (R\$)

Vr = Valor do Rodoar (R\$)

Trv = Taxa reposição do veículo (%) Apêndice A 199

VUV = Vida útil do veículo (meses)

### E. Reposição da carroceria (Rc)

$$RC = (Vc * Trc) \div VUC \quad (50)$$

Em que:

RC = Reposição da carroceria (R\$/mês)

Vc = Valor da carroceria (R\$)

Trc = Taxa de reposição da carroceria (%)

VUC = Vida útil da carroceria (meses)

### F. Licenciamento (L)

$$L = (I_1 + I_2 + Tl) \div 12 \quad (51)$$

Em que:

L = Licenciamento (R\$/mês)

I1= DEPVAT (R\$/ano)

I2= IPVA (R\$/ano)

Tl = Taxa para licenciamento (R\$)

### G. Seguro do Veículo (Sv)

$$Sv = \left[ ((CIS * (Vv + Vr)) + Cav) * IOF \right] \div 12 \quad (52)$$

Em que:

Sv = Seguro do veículo (R\$/mês)

Vv = Valor do veículo (R\$)

Vr = Valor do Rodoar (R\$)

Cav = Custo da apólice do veículo (R\$/ano) 200 Apêndice A

IOF = Imposto sob Operações Financeiras (%)

CIS = Coeficiente sem importância segurada

### H. Seguro do Equipamento (Se)

$$Se = \left[ ((CIS * (Vc + VTPC)) + Cav) * IOF \right] \div 12 \quad (53)$$

Em que:

Se = Seguro do equipamento (R\$/mês)

Vc = Valor da carreta (R\$)

Cae = Custo da apólice do equipamento (R\$/ano)

IOF = Imposto sob Operações Financeiras (%)

CIS = Coeficiente sem importância segurada

#### - Valor total dos pneus da carreta (VTPC)

$$VTPC = (Vp + Vc + Vprot) * Qpc \quad (54)$$

Em que:

VTPC = Valor total dos pneus da carreta (R\$)

Qpc = Quantidade de pneus da carreta

### I. Seguro Responsabilidade Civil Facultativa (SRF)

$$SRF = [(PRDM + PRDP + Cae) * IOF] \div 12 \quad (55)$$

Em que:

PRDM = Prêmio danos materiais (R\$/ano)

PRDP = Prêmio danos pessoais (R\$/ano)

Cae = Custo da apólice do equipamento (R\$/ano)

IOF = Imposto sem Operações Financeiras

## 2. Custos Variáveis por Quilômetro

$$CV = Vp + Vc + Vl + Vp \quad (56)$$

Em que:

Vp = Valor das peças, acessórios e materiais de manutenção (R\$/km)

Vc = Valor do combustível (R\$/km)  
 Vol = Valor Do óleo lubrificante (R\$/km)  
 VI = Lavagem e lubrificação (R\$/km)  
 Vp = Valor dos pneus (R\$/km)

#### A. Valor das Peças, acessórios e materiais de manutenção (Vp)

$$VP = \left( Vv - (Qp * (Vpv + Vcv + Vprotv)) + Vc + V_{3e} + Vr + Ve \right) * T \div Qmp \quad (57)$$

Em que:

Vv = Valor do veículo (R\$)  
 Qp = Quantidade de pneus - veículo  
 Vpv = Valor do pneu – veículo (R\$)  
 Vcv = Valor da câmara – veículo (R\$)  
 Vp = Valor do protetor – veículo (R\$)  
 Vc = Valor da carroceria ou carreta (R\$)  
 V3e = Valor do 3º eixo sem pneus (R\$)  
 Vr = Valor do rodoar (R\$)  
 Ve = Valor do estepe – veículo (R\$)  
 T = Taxa sem peças, acessórios e materiais de manutenção (0.01)  
 Qpm = Quilometragem percorrida mensalmente (km)

#### B. Valor do Combustível (Vc)

$$Vc = P_c \div R_c \quad (58)$$

Em que:

P<sub>c</sub> = Preço do combustível por litro (R\$/litro)  
 R<sub>c</sub> = Rendimento do combustível (litros/km)

#### C. Lubrificantes (L)

$$L = ((Poc * Coc) + Rep) \div Toc + (Pod * Cod) \div Tod \quad (59)$$

Em que:

Poc = Preço do óleo de cárter (R\$/litro)  
 Coc = Capacidade de óleo do cárter (litros)  
 Rep = Reposição até a próxima troca (litros)  
 Toc = Troca de óleo do cárter (km)  
 Pod = Preço do óleo de câmbio diferencial (R\$/litro)  
 Cod = Capacidade de óleo do diferencial (litros)  
 Tod = Troca de óleo do diferencial (km)

#### D. Valor da Lavagem e lubrificação (VI)

$$Vl = Plv + Pelv \quad (60)$$

Em que:

$P_{lv}$  = Preço de lavagem do veículo (R\$)

$P_{elv}$  = Periodicidade de lavagem (km)

#### E. Valor dos Pneus e recauchutagens (VPR)

$$VPR = (V_{pv} + V_{cr} + V_{prot}) * Qp * 1,2 + (V_{vr} * Qp) \div V_{up} \quad (61)$$

Em que:

$V_{pv}$  = Valor do pneu – veículo (R\$)

$V_{cv}$  = Valor da câmara – veículo (R\$)

$V_{prot}$  = Valor do protetor – veículo (R\$)

$V_{rv}$  = Valor de recauchutagem – veículo (R\$)

$Qp$  = Quantidade de pneus – veículo

$CP$  = Coeficiente para computar as perdas de carcaças antes da recauchutagem (1,2)

$V_{up}$  = Vida útil do pneu (km)

## 12.5 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO CILIP (2010)

### Preço da maquinaria

Nesta seção é apresentado o procedimento utilizado para determinar o custo da instalação Diesel convencional.

Pode-se estimar o custo de maquinaria da seguinte maneira:

$$\text{Custo de Maquinaria} = P_{MCP} * X + P_{MCA} * Y \quad (1)$$

Onde:

$P_{MCP}$  – potência de MCP, em HP;

$P_{MCA}$  – potência de MCA, em HP

X - custo motor + custo redutor + diversos + mão de obra, em R\$/HP;

Y -custo (motor+gerador) + materiais de eletricidade + mão de obra, em R\$/HP

Segundo Garcia (2001), deve-se adicionar 25% de Custos Indiretos e 10% de Taxa de Lucro, que incidirão sobre esses valores. Assim tem-se:

$$P_{maq} = 1,10 * 1,25 * (P_{MCP} * X + P_{MCA} * Y) \quad (2)$$

Onde:

$P_{maq}$  - preço de maquinarias, incluindo instalações propulsoras e o básico de eletricidade, em R\$

### Determinação dos custos operacionais dos comboios

Nesta seção são apresentados os custos operacionais do comboio.

#### Custo de aquisição do veículo fluvial

##### A) Custo de aquisição do empurrador

O custo do empurrador pode ser estimado através da equação desenvolvida por Garcia (2001), que relaciona o custo da estrutura do empurrador com o custo de aquisição da maquinaria. Como os outros elementos de acabamento e pintura têm pouca influência no custo total do veículo, não são levados em consideração nesta equação.

Em relação aos elementos estruturais, admite-se que o preço de todos os elementos estruturais de aço apresentados pelo autor devam ser atualizados em 150%, aumento que ocorreu no preço do aço no mercado nacional durante os últimos quatro anos. Este valor foi obtido através de consultas a dois estaleiros que constroem embarcações de aço. Atualmente o quilo do aço processado varia de R\$

10,00 a R\$ 16,00 dependendo do estaleiro. Deste modo, o valor considerado neste estudo é R\$ 10,00, conforme mostrado na equação abaixo:

$$P_{EST} = 10,00 * P_{aço} \quad (3)$$

Onde:

$P_{EST}$  é o preço do veículo ou da estrutura, como chata ou outros sem maquinaria, em R\$;

10,00 é o custo por quilo de aço processado dos elementos estruturais utilizados na construção da embarcação, em R\$;

$P_{aço}$  é o peso em aço da estrutura, em quilos (kg), estimado por:

$$P_{aço} = K_e * (LBD) \quad (4)$$

Onde:

L, B e D são, respectivamente, o comprimento, boca e pontal moldado, em metros;

$K_e$  é a constante de material estrutural, que depende do tipo da embarcação. Para empuradores (casco + casaria) adota-se valor de 21% e para chatas 11%.

O preço do empurador é determinado através da seguinte expressão:

$$P_V = 10,00 * P_{aço} + P_{MCP} * X + P_{MCA} * Y \quad (5)$$

Onde:

$P_V$  – Preço do veículo hidroviário (autopropelido ou não), em R\$;

### Custo de manutenção e reparo

Garcia (2001) estabeleceu uma equação que calcula o custo de manutenção e reparo anual para embarcações fluviais. Esta equação foi realizada conforme os procedimentos estabelecidos pela NORMAM 02 (1998) e por Sociedades Classificadoras que estabelecem a periodicidade das inspeções e, consequentemente, a manutenção e reparo dos componentes danificados da instalação propulsora e dos outros elementos da embarcação.

Para as instalações admitiram-se os valores propostos por Garcia (2001). Deste modo, o custo de manutenção e reparo pode ser obtido através da seguinte equação:

$$C_{MR} = KMR * P_V \quad (6)$$

Onde:

$C_{MR}$  é o custo de manutenção e reparo, em R\$/ano;

$K_{MR}$  é a constante de manutenção e reparo, com valores indicados abaixo:

$K_{MR,A} = 4,0\%$ , para empuradores e autopropelidos;

$K_{MR,C} = 2,5\%$ , para chatas;

$P_V$  é o preço do veículo novo, em R\$.

Nesses custos estão inclusas as despesas com manutenção e reparo de pequena monta, realizadas ao longo do ano operacional, até as docagens longas, realizadas quinquenalmente, conforme o tipo de embarcação.

### **Custo de combustíveis lubrificantes e miscelâneas**

Os custos com combustíveis e lubrificantes são os fatores que mais encarecem o frete em qualquer modal de transporte.

Os gastos com combustíveis para as instalações foram calculados a partir da equação proposta por Garcia (2001):

$$COC = PC \cdot TOP \cdot COD \quad (7)$$

Onde:

$PC$  é o preço do óleo combustível, em R\$/litro;

$TOP$  é o tempo diário de operação da embarcação.

$COD$  é o consumo de óleo combustível, para os motores em funcionamento expresso por:

$$COD = (CEC \cdot MFHP) / Do \quad (8)$$

Onde:

$CEC$  é o consumo específico de combustível, em g/(HP\*h) ou g/(kW\*h). Valores situados entre 150 e 170 para motores usuais em embarcações. O combustível usual é o óleo Diesel;

$Do$  é a densidade do óleo combustível. Valor típico é 850 g/litro;

$MFHP$  é a potência das máquinas em funcionamento durante a viagem. O usual são os motores de propulsão (MCP) e um motor auxiliar (MCA) para embarcações com propulsão Diesel convencional. Assim:

$$MFHP = PMCP + 1 \cdot PMCA \quad (9)$$

Adota-se 5% para representar o gasto com óleo lubrificante e filtro de óleo do carter, para motores usuais da Hidrovia Tietê-Paraná, tomando o volume de óleo, troca

desse óleo e filtro a cada 250 horas (conforme recomendação dos fabricantes). Assim, a consideração de custo com lubrificantes faz-se multiplicando a expressão (7) por 1,05.

Os demais itens são estimados através de:

$$\text{Outros} = K_{\text{MIS}} * PMHP / 1000 \quad (10)$$

Onde:

Outros é o custo com miscelânea (filtros, aditivos, estopa, etc);

$K_{\text{MIS}}$  é a constante de miscelânea.  $K_{\text{MIS}} = R\$ 60,00/\text{dia}$  (para cada 1000 HP de potência instalada PMHP é a potência das máquinas.  $PMHP = P_{\text{MCP}} + P_{\text{MCA}}$  (somatório da potência dos motores principais e auxiliares de bordo);

1000 é o fator que considera unidade da constante de miscelânea.

Assim, o custo com combustíveis, lubrificantes e miscelânea, é dado por:

$$COL = C_{\text{OD}} * P_C * T_{\text{OP}} * 1,05 \quad (11)$$

$$CCL = C_{\text{OD}} * P_C * T_{\text{OP}} * 1,05 + K_{\text{MIS}} * PMHP / 1000 \quad (12)$$

Onde:

COL é o custo com combustíveis e lubrificantes, em R\$/dia;

CCL é o custo com combustíveis, lubrificantes e miscelânea, em R\$/dia operacional;

### **Custo com tripulação**

Os custos de salários e benefícios da tripulação usados na avaliação econômica das instalações propulsoras refletem os valores atribuídos à operação e manutenção da instalação e todos os equipamentos sob jurisdição da seção de máquinas.

O custo anual com tripulação pode ser expresso por Garcia (2001):

$$C_{\text{TR}} = K_{\text{HE}} * Nt * SM * F_{\text{ES}} * 12 \quad (13)$$

Onde:

$C_{\text{TR}}$  é o custo de Tripulação, em R\$/ano;

$K_{\text{HE}}$  é a constante de horas extras, relativas aos gastos com horas extras realizadas pela tripulação durante as viagens. A consideração do tempo de operação diária (até 24 horas/dia) e a prática do revezamento dos tripulantes em funções vitais (praça de máquinas e pilotagem) têm levado à operações seguras e número de tripulante adequado, sem necessidade de horas extras.

Nt é o número de tripulantes a bordo;

SM é o salário médio da tripulação. F<sub>ES</sub> é o fator de encargos sociais. Para a legislação atual, F<sub>ES</sub> = 2,10;

12 é o fator que considera esse custo como anual (número de meses/ano).

Além dos salários e encargos, deve-se considerar ainda o custo de alimentação e hospedagem. As despesas com alimentação e hospedagem da tripulação são determinadas por:

$$C_A = Nt \cdot D_A \cdot 365 \quad (14)$$

Onde:

C<sub>A</sub> é o custo de alimentação, em R\$/ano;

Nt é o número de tripulantes;

D<sub>A</sub> é a diária alimentícia, em R\$/dia;

### **Custo com seguro**

Os seguros de proteção e indenização protegem o armador da embarcação contra processos de responsabilidade.

Garcia (2001) mostra que os valores praticados na navegação fluvial são de 1,8 a 2,5% do valor do veículo novo, na vigência da vida útil do mesmo. O valor usual praticado é de 2%, referindo-se ao preço da embarcação nova. Ressalte-se que esse seguro não considera a carga transportada, devendo ser feito à parte.

Assim, o valor do seguro pode ser calculado como:

$$C_S = K_S \cdot P_V \quad (15)$$

Onde:

C<sub>S</sub> é o Custo de Seguro, em R\$/ano;

K<sub>S</sub> é a constante que considera a taxa de seguro; K<sub>S</sub> = 2,0% é valor típico;

P<sub>V</sub> é o preço do veículo (aquisição ou novo), em R\$.

### **Custo de capital**

Segundo Garcia (2001), uma vez estimado o preço da embarcação, é possível relacioná-lo aos diferentes itens de custo. Assim, o custo de capital, que representa a recuperação do capital investido para aquisição do veículo de transporte, pode ser obtido através da seguinte equação:

$$C_C = P_V \cdot FRC(i, n) - V_r \cdot FFC(1, n) \quad (16)$$

Onde:

$C_C$  é o custo de capital, em R\$/ano;

$P_v$  é o preço do veículo hidroviário;

$V_r$  é o valor residual do veículo, neste caso assumido como valor da residual da instalação propulsora, é normalmente tomado como zero, pois o desgaste do equipamento após 20 anos de uso é muito grande.

$FRC(i, n)$  é o fator de recuperação de capital;  $FRC(i, n) = \frac{i * (1+i)^n}{[(1+i)^n - 1]}$ ;

$FFC(i, n)$  é o fator de formação de capital;  $FFC(i, n) = \frac{i}{[(1+i)^n - 1]}$ ;

$i$  – valor de remuneração de capital. Deve-se considerar valores praticados no mercado de capital; na atualidade são comuns valores entre 10 e 12% a.a., ou a taxa de financiamento, quando a aquisição for financiada, sendo comuns valores de 6 a 8% a.a. que é praticada pelo BNDES;

$n$  - é o período de tempo (em anos) para recuperar o capital. É normal para embarcações de carga o uso de 20 anos. Para empuradores e autopropelidos esse valor se aproxima da vida útil ( $N$ ), adotada, normalmente, como 20 anos.

### Custo de Administração

Garcia (2001) explica que este custo refere-se, basicamente, às atividades realizadas em terra, consistindo em:

- **Pessoal de escritório:** contabilidade, compras de materiais de consumo (óleo combustível; óleo lubrificante; graxas; tintas; sobressalentes de pequena monta: lâmpadas, filtros, parafusos, etc); recursos humanos (pessoas que realizam a seleção, contratação e treinamento da tripulação e do próprio pessoal de escritório) e instalações;
- **Vendas:** pessoal destinado a angariar cargas e divulgar serviços prestados pela empresa. No caso fluvial, são pessoas que contatam os clientes atuais e clientes potenciais para realizarem contratos para transportes. No longo curso, são empresas espalhadas pelas localidades portuárias atendidas pelo navio;
- **Técnico:** pessoal que vistoria a embarcação e controla consumo de materiais, execução das manutenções rotineiras de bordo pela tripulação, contrata e fiscaliza trabalhos de manutenção não realizados pela tripulação. Serviço de manutenção e reparo, normalmente, é terceirizado.

O custo de administração pode ser determinado por:

$$C_{AD} = K_{AD} * (C_{TR} + C_A + C_{MR}) \quad (17)$$

Onde:

$C_{AD}$  é o custo de administração, em R\$/ano;  
 $K_{AD}$  é a constante de administração;  
 $C_{MR}$  é o custo de manutenção e reparo;  
 $C_{TR}$  é o custo de tripulação;  
 $C_A$  é o custo de alimentação.

### **Custo de Portos e Terminais**

Na navegação interior, é muito comum cada empresa transportadora dispor de terminal próprio, devendo incluir, no custo de transporte, esse item de forma adequada. O custo de portos e terminais representa, então, o retorno do capital investido nas instalações portuárias (cais, área de acostagem, outros), equipamentos de transbordo, armazéns, vias internas, instalações para alfândega, etc.

A determinação desse item de custo será feita por:

$$C_{PT} = K_B * (W/C_{HE} + W/C_{HD}) + (K_{TE} * W + K_{TD} * W) + N_{HR} * K_{EMP} + K_{OU} \quad (18)$$

Onde:

$C_{PT}$  é o custo de portos e terminais, em R\$/viagem redonda;  
 $K_B$  é a constante devida ao uso de berço de atracação;  
 $W$  é a quantidade de carga transbordada, em toneladas.  $W = f * DWTC$ ;  
 $f$  é o fator de ocupação do veículo.  $f$  varia entre 0 e 100%;  
 $C_{HE}$  é a cadência horária de enchimento, em tonelada/hora;  
 $C_{HD}$  é a cadência horária de descarregamento, em tonelada/hora;  
 $K_{TD}$  é a constante de taxa de transbordo no descarregamento, em R\$/tonelada;  
 $K_{TE}$  é a constante de taxa de transbordo no carregamento, em R\$/tonelada;  
 $N_{HR}$  é o número de horas de serviço de rebocadores usados na viagem, tanto na origem como no destino, em horas;  
 $K_{EMP}$  é a constante custo horário de rebocador;  
 $K_{OU}$  são os custos devidos ao uso de outros serviços, como, despacho de Capitânia dos Portos, alfândega, etc.

### **Tempos em Operação e Parado durante a viagem**

O tempo de operação (navegação) considera o tempo gasto em viagem e também o tempo gasto em eventuaisclusagens, em que a embarcação permanece com motores ligados e desacoplados. Assim:

$$T_N = (d/V_S + d/V_D + T_{ECLS} + T_{ECLD} + T_{DF})/24 \quad (19)$$

Onde:

$T_N$  é o tempo gasto em viagem, entre origem e destino, em dias;

$d$  é a distância entre origem e destino, em km;

$V_S$  é a velocidade de subida (contra eventual correnteza), em km/h.  $V_S = V - \Delta V$ ;

$V$  é a velocidade de operação da embarcação, em km/h;

$\Delta V$  é a variação de velocidade devida à ação da correnteza, em km/h, valor adotado como constante, tanto na subida como na descida;

$V_D$  é a velocidade de descida (a favor da correnteza), em km/h.  $V_D = V + \Delta V$ ;

$T_{ECLS}$  é o tempo de eclusagens na subida, em horas. Determinado por:  $T_{ECLS} = N_{ECL} * T_{1ECL}$ ;

$N_{ECL}$  é a quantidade de eclusas no trecho navegado;

$T_{1ECL}$  é o tempo gasto em uma eclusagem, em horas. O tempo médio por eclusa pode ser tomado como igual a uma hora. Para eclusas duplas (Nova Avanhandava e Três Irmãos), duas horas;

$T_{ECLD}$  é o tempo de eclusagens na descida, em horas.  $T_{ECLD} = N_{ECL} * T_{1ECL}$ ;

$T_{DF}$  é o tempo gasto para desmembramento, eclusagem e formação do comboio;

O tempo parado pode ser determinado pela seguinte equação:

$$T_P = [T_{ESP} + (W/C_{HE} + W/C_{HD}) + N_{HR} + T_{FOP}]/24 \quad (20)$$

Onde:

$T_P$  é o tempo total parado em portos e/ou fundeados, em horas;

$T_{ESP}$  é o tempo de espera nos portos e terminais, tanto na origem como no destino, em horas;

$W$ ,  $C_{HE}$ ,  $C_{HD}$ ,  $N_{HR}$  são termos definidos na expressão (18);

$T_{FOP}$  é o tempo fora de operação, quando a operação diária não é realizada durante 24 horas/dia.

### Custo de viagem redonda

Para determinar a influência de cada instalação no custo de frete final praticado pelo comboio é necessário determinar o custo de viagem de redonda do comboio. O custo total por viagem considera todos os itens de custos que ocorrem na realização de uma viagem redonda (custos fixos e variáveis).

Os custos fixos são: capital, seguro, tripulação, alimentação, manutenção e reparo; e os custos em viagem são: combustível e lubrificantes e uso da via; os custos para o comboio parado e em porto são: portos e terminais.

Baseando em Garcia (2001), o custo de viagem redonda foi determinado pela seguinte equação:

$$C_{TV} = [(C_{VP} + C_{OL} \cdot F_{TOP} + \text{outros}) \cdot T_N + C_{UV}] + \{(C_{VP} + \text{outros}) \cdot T_P + C_{CP} + C_{PT}\} \quad (21)$$

Onde:

$C_{TV}$  é o custo total por viagem redonda, em R\$/viagem redonda;

$C_{VP}$  são os custos que ocorrem tanto em viagem como parado, em R\$/dia;

$$C_{VP} = [(C_C + C_S + C_{TR} + C_A + C_{MR} + C_{AD}) / A_{OP}];$$

Onde:

$C_{MR}$  é o custo de manutenção e reparo;

$C_{TR}$  é o custo de tripulação;

$C_A$  é o custo de alimentação;

$C_S$  é o custo de seguro;

$C_C$  é o custo de capital;

$C_{AD}$  é o custo de administração;

$A_{OP}$  é o ano operacional; é definido em função da existência de carga e realização de manutenção e reparo do veículo; no longo curso e na navegação fluvial as cargas estão disponíveis durante o ano todo; adota-se um ano operacional de 350 dias, sendo que os outros 15 são acumulados ao longo de cinco anos para docagens e manutenção de grande porte;

$C_{OL}$  é o custo de combustível e lubrificantes;

$F_{TOP}$  é o fator de tempo de operação. Leva em consideração o fato da operação não ser realizada durante 24 h/dia;

Outros se refere aos custos com miscelânea;

$T_N$  é o tempo em viagem ou navegando;

$C_{UV}$  é o custo de uso da via, como não são cobradas taxas pelo uso da hidrovia este valor será considerado nulo;

$T_P$  é o tempo parado;

$C_{PT}$  é o custo de Portos e Terminais.

$C_{cp}$  é o custo de combustível quando o veículo encontra-se parado (portos, terminais e fundeados), expressa por:

$$C_{cp} = [(CEC \cdot MPH) / Do] \cdot P_C \cdot T_{cp} \cdot 1,05 \quad (22)$$

Onde:

CEC; Do; Pc; 1,05 são termos definidos na expressão (F.13);

T<sub>cp</sub> é o tempo em que a embarcação fica parada e consome combustível;

M<sub>PHP</sub> é as potencias das maquinas usadas quando o veiculo está parado. Via de regra, M<sub>PHP</sub> = P<sub>mca</sub>;

## 12.6 TABELAS DE RESULTADOS

**Tabela 51: Energia gerada e receita com a sua venda por ano**

	Energia elétrica gerada (MWh/ano)	Receita com a venda de energia (R\$/ano)
2012	946.251	R\$ 160.862.729
2013	956.248	R\$ 162.562.240
2014	966.383	R\$ 164.285.087
2015	976.517	R\$ 166.007.935
2016	986.652	R\$ 167.730.782
2017	996.786	R\$ 169.453.630
2018	1.006.920	R\$ 171.176.477
2019	1.017.055	R\$ 172.899.325
2020	1.027.189	R\$ 174.622.173
2021	1.037.324	R\$ 176.345.020
2022	1.047.458	R\$ 178.067.868
2023	1.057.592	R\$ 179.790.715
2024	1.067.727	R\$ 181.513.563
2025	1.077.861	R\$ 183.236.410
2026	1.087.996	R\$ 184.959.258
2027	1.098.130	R\$ 186.682.106
2028	1.108.264	R\$ 188.404.953
2029	1.118.399	R\$ 190.127.801
2030	1.128.533	R\$ 191.850.648
2031	1.138.668	R\$ 193.573.496
2032	1.148.802	R\$ 195.296.344
2033	1.158.936	R\$ 197.019.191
2034	1.169.071	R\$ 198.742.039
2035	1.179.205	R\$ 200.464.886
2036	1.189.340	R\$ 202.187.734
2037	1.199.474	R\$ 203.910.581
Total	27.892.782	R\$ 4.741.772.991

**Tabela 52: Custos com transporte hidroviário**

	<b>Custo de aquisição e remuneração de capital</b>	<b>Custos de transporte</b>	<b>Custo de Transbordo</b>	<b>Custo Total da Hidrovia</b>
2012	R\$ 10.204.788	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 14.002.039
2013	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2014	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2015	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2016	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2017	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2018	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2019	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2020	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2021	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2022	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2023	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2024	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2025	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2026	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2027	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2028	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2029	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2030	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2031	R\$ 823.248	R\$ 1.689.376	R\$ 2.107.875	R\$ 4.620.499
2032	R\$ 823.248	R\$ 1.807.062	R\$ 2.810.500	R\$ 5.440.810
2033	R\$ 823.248	R\$ 1.807.062	R\$ 2.810.500	R\$ 5.440.810
2034	R\$ 823.248	R\$ 1.807.062	R\$ 2.810.500	R\$ 5.440.810
2035	R\$ 823.248	R\$ 1.807.062	R\$ 2.810.500	R\$ 5.440.810
2036	R\$ 823.248	R\$ 2.006.519	R\$ 3.513.125	R\$ 6.342.892
2037	R\$ 823.248	R\$ 2.006.519	R\$ 3.513.125	R\$ 6.342.892
Total	R\$ 30.785.987,56	R\$ 45.028.797,40	R\$ 60.425.750,00	R\$ 136.240.534,96

**Tabela 53: Custo com transporte no trecho rodoviário**

	<b>Custo de aquisição e remuneração de capital</b>	<b>Custos de transporte</b>	<b>Custo Total da Rodovia</b>
2012	R\$ 3.201.036	R\$ 2.953.849	R\$ 6.154.885
2013	R\$ 258.236	R\$ 2.965.113	R\$ 3.223.349
2014	R\$ 258.236	R\$ 3.004.843	R\$ 3.263.080
2015	R\$ 258.236	R\$ 3.022.667	R\$ 3.280.903
2016	R\$ 258.236	R\$ 3.022.667	R\$ 3.280.903
2017	R\$ 488.665	R\$ 3.110.512	R\$ 3.599.177
2018	R\$ 509.385	R\$ 3.176.450	R\$ 3.685.836
2019	R\$ 299.185	R\$ 3.216.181	R\$ 3.515.366
2020	R\$ 299.185	R\$ 3.234.004	R\$ 3.533.189
2021	R\$ 299.185	R\$ 3.273.734	R\$ 3.572.919
2022	R\$ 299.185	R\$ 3.291.558	R\$ 3.590.743
2023	R\$ 299.185	R\$ 3.291.558	R\$ 3.590.743
2024	R\$ 299.185	R\$ 3.331.288	R\$ 3.630.473
2025	R\$ 299.185	R\$ 3.349.111	R\$ 3.648.297
2026	R\$ 299.185	R\$ 3.388.841	R\$ 3.688.027
2027	R\$ 299.185	R\$ 3.406.665	R\$ 3.705.850
2028	R\$ 299.185	R\$ 3.424.489	R\$ 3.723.674
2029	R\$ 544.929	R\$ 3.512.334	R\$ 4.057.262
2030	R\$ 334.729	R\$ 3.512.334	R\$ 3.847.062
2031	R\$ 334.729	R\$ 3.552.064	R\$ 3.886.792
2032	R\$ 334.729	R\$ 3.569.887	R\$ 3.904.616
2033	R\$ 334.729	R\$ 3.587.711	R\$ 3.922.440
2034	R\$ 334.729	R\$ 3.627.441	R\$ 3.962.170
2035	R\$ 334.729	R\$ 3.645.264	R\$ 3.979.993
2036	R\$ 334.729	R\$ 3.667.171	R\$ 4.001.900
2037	R\$ 334.729	R\$ 3.684.995	R\$ 4.019.723
Total	R\$ 11.446.642	R\$ 86.822.730	R\$ 98.269.372

**Tabela 54:Custos com tratamento e destinação dos resíduos**

	<b>Custo de tratamento</b>	<b>Custo de destinação</b>
2012	R\$ 137.999.565	R\$ 32.955.120
2013	R\$ 139.457.527	R\$ 33.303.290
2014	R\$ 140.935.509	R\$ 33.656.241
2015	R\$ 142.413.491	R\$ 34.009.192
2016	R\$ 143.891.473	R\$ 34.362.143
2017	R\$ 145.369.455	R\$ 34.715.094
2018	R\$ 146.847.437	R\$ 35.068.045
2019	R\$ 148.325.419	R\$ 35.420.996
2020	R\$ 149.803.401	R\$ 35.773.947
2021	R\$ 151.281.383	R\$ 36.126.897
2022	R\$ 152.759.365	R\$ 36.479.848
2023	R\$ 154.237.347	R\$ 36.832.799
2024	R\$ 155.715.329	R\$ 37.185.750
2025	R\$ 157.193.311	R\$ 37.538.701
2026	R\$ 158.671.293	R\$ 37.891.652
2027	R\$ 160.149.275	R\$ 38.244.603
2028	R\$ 161.627.257	R\$ 38.597.554
2029	R\$ 163.105.239	R\$ 38.950.505
2030	R\$ 164.583.221	R\$ 39.303.456
2031	R\$ 166.061.203	R\$ 39.656.407
2032	R\$ 167.539.185	R\$ 40.009.358
2033	R\$ 169.017.167	R\$ 40.362.309
2034	R\$ 170.495.149	R\$ 40.715.259
2035	R\$ 171.973.131	R\$ 41.068.210
2036	R\$ 173.451.113	R\$ 41.421.161
2037	R\$ 174.929.095	R\$ 41.774.112
Total	R\$ 4.067.832.339	R\$ 971.422.648

## 12.7 MODELO FINANCEIRO

**Tabela 55: Modelo financeiro (1/4)**

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Volume de resíduos</b>							
População	11.499.867	11.623.049	11.746.231	11.869.413	11.992.595	12.115.777	12.238.959
Geração de resíduos (t/dia)	14.651	14.808	14.965	15.122	15.279	15.435	15.592
Geração de resíduos (t/ano)	5.347.553	5.404.834	5.462.115	5.519.396	5.576.677	5.633.957	5.691.238
Quantidade de RSUs que chega nas Estações Santo Amaro e Ponte Pequena (t/ano)	2.288.550	2.312.728	2.337.239	2.361.749	2.386.260	2.410.770	2.435.281
Quantidade de RSUs que sai das Estações Santo Amaro e Ponte Pequena após incineração (t/ano)	549.252	555.055	560.937	566.820	572.702	578.585	584.467
<b>Custos com aquisição de frota</b>							
Rodoviária	R\$ 3.201.036	R\$ 258.236	R\$ 258.236	R\$ 258.236	R\$ 258.236	R\$ 488.665	R\$ 509.385
Hidroviária	R\$ 10.204.788	R\$ 823.248					
<b>Custos operacionais de transporte e transbordo</b>							
Rodoviário	R\$ 2.953.849	R\$ 2.965.113	R\$ 3.004.843	R\$ 3.022.667	R\$ 3.022.667	R\$ 3.110.512	R\$ 3.176.450
Hidroviário	R\$ 3.797.251						
<b>Custos de operação do Tratamento e Destinação</b>							
UREs	R\$ 137.999.565	R\$ 139.457.527	R\$ 140.935.509	R\$ 142.413.491	R\$ 143.891.473	R\$ 145.369.455	R\$ 146.847.437
Aterros	R\$ 32.955.120	R\$ 33.303.290	R\$ 33.656.241	R\$ 34.009.192	R\$ 34.362.143	R\$ 34.715.094	R\$ 35.068.045
<b>Receita com a venda de energia</b>							
UREs	R\$ 160.862.729	R\$ 162.562.240	R\$ 164.285.087	R\$ 166.007.935	R\$ 167.730.782	R\$ 169.453.630	R\$ 171.176.477
<b>Saldo Anual</b>							
	-R\$ 30.248.880	-R\$ 18.042.425	-R\$ 18.190.241	-R\$ 18.316.150	-R\$ 18.424.235	-R\$ 18.850.594	-R\$ 19.045.338

**Tabela 56: Modelo financeiro (2/4)**

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
<b>Volume de resíduos</b>							
População	12.362.141	12.485.323	12.608.505	12.731.687	12.854.869	12.978.051	13.101.233
Geração de resíduos (t/dia)	15.749	15.906	16.063	16.220	16.377	16.534	16.691
Geração de resíduos (t/ano)	5.748.519	5.805.800	5.863.081	5.920.362	5.977.643	6.034.923	6.092.204
Quantidade de RSUs que chega nas Estações Santo Amaro e Ponte Pequena (t/ano)	2.459.791	2.484.302	2.508.812	2.533.323	2.557.833	2.582.344	2.606.854
Quantidade de RSUs que sai das Estações Santo Amaro e Ponte Pequena após incineração (t/ano)	590.350	596.232	602.115	607.997	613.880	619.763	625.645
<b>Custos com aquisição de frota</b>							
Rodoviária	R\$ 299.185						
Hidroviária	R\$ 823.248						
<b>Custos operacionais de transporte e transbordo</b>							
Rodoviário	R\$ 3.216.181	R\$ 3.234.004	R\$ 3.273.734	R\$ 3.291.558	R\$ 3.291.558	R\$ 3.331.288	R\$ 3.349.111
Hidroviário	R\$ 3.797.251						
<b>Custos de operação do Tratamento e Destinação</b>							
UREs	R\$ 148.325.419	R\$ 149.803.401	R\$ 151.281.383	R\$ 152.759.365	R\$ 154.237.347	R\$ 155.715.329	R\$ 157.193.311
Aterros	R\$ 35.420.996	R\$ 35.773.947	R\$ 36.126.897	R\$ 36.479.848	R\$ 36.832.799	R\$ 37.185.750	R\$ 37.538.701
<b>Receita com a venda de energia</b>							
UREs	R\$ 172.899.325	R\$ 174.622.173	R\$ 176.345.020	R\$ 178.067.868	R\$ 179.790.715	R\$ 181.513.563	R\$ 183.236.410
<b>Saldo Anual</b>	<b>-R\$ 18.982.954</b>	<b>-R\$ 19.108.863</b>	<b>-R\$ 19.256.678</b>	<b>-R\$ 19.382.587</b>	<b>-R\$ 19.490.672</b>	<b>-R\$ 19.638.488</b>	<b>-R\$ 19.764.397</b>

**Tabela 57: Modelo financeiro (3/4)**

	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Volume de resíduos							
População	13.224.415	13.347.597	13.470.779	13.593.961	13.717.143	13.840.325	13.963.507
Geração de resíduos (t/dia)	16.848	17.005	17.162	17.319	17.476	17.633	17.790
Geração de resíduos (t/ano)	6.149.485	6.206.766	6.264.047	6.321.328	6.378.609	6.435.890	6.493.170
Quantidade de RSUs que chega nas Estações Santo Amaro e Ponte Pequena (t/ano)	2.631.365	2.655.875	2.680.386	2.704.896	2.729.407	2.753.917	2.778.428
Quantidade de RSUs que sai das Estações Santo Amato e Ponte Pequena após incineração (t/ano)	631.528	637.410	643.293	649.175	655.058	660.940	666.823
Custos com aquisição de frota							
Rodoviária	R\$ 299.185	R\$ 299.185	R\$ 299.185	R\$ 544.929	R\$ 334.729	R\$ 334.729	R\$ 334.729
Hidroviária	R\$ 823.248						
Custos operacionais de transporte e transbordo							
Rodoviário	R\$ 3.388.841	R\$ 3.406.665	R\$ 3.424.489	R\$ 3.512.334	R\$ 3.512.334	R\$ 3.552.064	R\$ 3.569.887
Hidroviário	R\$ 3.797.251	R\$ 4.617.562					
Custos de operação do Tratamento e Destinação							
UREs	R\$ 158.671.293	R\$ 160.149.275	R\$ 161.627.257	R\$ 163.105.239	R\$ 164.583.221	R\$ 166.061.203	R\$ 167.539.185
Aterros	R\$ 37.891.652	R\$ 38.244.603	R\$ 38.597.554	R\$ 38.950.505	R\$ 39.303.456	R\$ 39.656.407	R\$ 40.009.358
Receita com a venda de energia							
UREs	R\$ 184.959.258	R\$ 186.682.106	R\$ 188.404.953	R\$ 190.127.801	R\$ 191.850.648	R\$ 193.573.496	R\$ 195.296.344
Saldo Anual							
	-R\$ 19.912.212	-R\$ 20.038.121	-R\$ 20.164.030	-R\$ 20.605.704	-R\$ 20.503.589	-R\$ 20.651.405	-R\$ 21.597.625

**Tabela 58: Modelo financeiro (4/4)**

	<b>2033</b>	<b>2034</b>	<b>2035</b>	<b>2036</b>	<b>2037</b>
<b>Volume de resíduos</b>					
População	14.086.689	14.209.871	14.333.053	14.456.235	14.579.417
Geração de resíduos (t/dia)	17.946	18.103	18.260	18.417	18.574
Geração de resíduos (t/ano)	6.550.451	6.607.732	6.665.013	6.722.294	6.779.575
Quantidade de RSUs que chega nas Estações Santo Amaro e Ponte Pequena (t/ano)	2.802.938	2.827.449	2.851.959	2.876.470	2.900.980
Quantidade de RSUs que sai das Estações Santo Amaro e Ponte Pequena após incineração (t/ano)	672.705	678.588	684.470	690.353	696.235
<b>Custos com aquisição de frota</b>					
Rodoviária	R\$ 334.729				
Hidroviária	R\$ 823.248				
<b>Custos operacionais de transporte e transbordo</b>					
Rodoviário	R\$ 3.587.711	R\$ 3.627.441	R\$ 3.645.264	R\$ 3.667.171	R\$ 3.684.995
Hidroviário	R\$ 4.617.562	R\$ 4.617.562	R\$ 4.617.562	R\$ 5.519.644	R\$ 5.519.644
<b>Custos de operação do Tratamento e Destinação</b>					
UREs	R\$ 169.017.167	R\$ 170.495.149	R\$ 171.973.131	R\$ 173.451.113	R\$ 174.929.095
Aterros	R\$ 40.362.309	R\$ 40.715.259	R\$ 41.068.210	R\$ 41.421.161	R\$ 41.774.112
<b>Receita com a venda de energia</b>					
UREs	R\$ 197.019.191	R\$ 198.742.039	R\$ 200.464.886	R\$ 202.187.734	R\$ 203.910.581
<b>Saldo Anual</b>					
	-R\$ 21.723.534	-R\$ 21.871.350	-R\$ 21.997.259	-R\$ 23.029.332	-R\$ 23.155.241

**Tabela 59: Emissões (1/4)**

	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Emissões totais (t/ano)</b>	<b>2.502</b>	<b>2.528</b>	<b>2.555</b>	<b>2.581</b>	<b>2.605</b>	<b>2.632</b>	<b>2.658</b>
<b>Transporte (t/ano)</b>	<b>266</b>	<b>267</b>	<b>271</b>	<b>273</b>	<b>273</b>	<b>276</b>	<b>278</b>
Rodoviário (kg/ano)	208.955	210.527	214.232	215.804	215.804	219.509	221.081
Hidroviário (kg/ano)	56.940	56.940	56.940	56.940	56.940	56.940	56.940
<b>Emissão de CO2 pela URE (t/ano)</b>	<b>2.237</b>	<b>2.260</b>	<b>2.284</b>	<b>2.308</b>	<b>2.332</b>	<b>2.356</b>	<b>2.380</b>
Emissão de CO2 pela URE (kg/ano)	2.236.600	2.260.230	2.284.184	2.308.138	2.332.092	2.356.046	2.380.000

**Tabela 60: Emissões (2/4)**

	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>
<b>Emissões totais (t/ano)</b>	<b>2.686</b>	<b>2.711</b>	<b>2.739</b>	<b>2.764</b>	<b>2.788</b>	<b>2.816</b>	<b>2.842</b>
<b>Transporte (t/ano)</b>	<b>282</b>	<b>283</b>	<b>287</b>	<b>289</b>	<b>289</b>	<b>292</b>	<b>294</b>
Rodoviário (kg/ano)	224.787	226.359	230.064	231.636	231.636	235.341	236.913
Hidroviário (kg/ano)	56.940	56.940	56.940	56.940	56.940	56.940	56.940
<b>Emissão de CO2 pela URE (t/ano)</b>	<b>2.404</b>	<b>2.428</b>	<b>2.452</b>	<b>2.476</b>	<b>2.500</b>	<b>2.524</b>	<b>2.548</b>
Emissão de CO2 pela URE (kg/ano)	2.403.954	2.427.908	2.451.862	2.475.816	2.499.770	2.523.725	2.547.679

**Tabela 61: Emissões (3/4)**

	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>	<b>2032</b>
<b>Emissões totais (t/ano)</b>	<b>2.869</b>	<b>2.895</b>	<b>2.920</b>	<b>2.948</b>	<b>2.972</b>	<b>3.000</b>	<b>3.040</b>
<b>Transporte (t/ano)</b>	<b>298</b>	<b>299</b>	<b>301</b>	<b>304</b>	<b>304</b>	<b>308</b>	<b>325</b>
Rodoviário (kg/ano)	240.618	242.190	243.762	247.467	247.467	251.173	252.745
Hidroviário (kg/ano)	56.940	56.940	56.940	56.940	56.940	56.940	72.351
<b>Emissão de CO2 pela URE (t/ano)</b>	<b>2.572</b>	<b>2.596</b>	<b>2.620</b>	<b>2.643</b>	<b>2.667</b>	<b>2.691</b>	<b>2.715</b>
Emissão de CO2 pela URE (kg/ano)	2.571.633	2.595.587	2.619.541	2.643.495	2.667.449	2.691.403	2.715.357

**Tabela 62: Emissões (4/4)**

	<b>2033</b>	<b>2034</b>	<b>2035</b>	<b>2036</b>	<b>2037</b>
<b>Emissões totais (t/ano)</b>	<b>3.066</b>	<b>3.094</b>	<b>3.119</b>	<b>3.171</b>	<b>3.197</b>
<b>Transporte (t/ano)</b>	<b>327</b>	<b>330</b>	<b>332</b>	<b>360</b>	<b>362</b>
Rodoviário (kg/ano)	254.317	258.022	259.594	261.727	263.299
Hidroviário (kg/ano)	72.351	72.351	72.351	98.470	98.470
<b>Emissão de CO2 pela URE (t/ano)</b>	<b>2.739</b>	<b>2.763</b>	<b>2.787</b>	<b>2.811</b>	<b>2.835</b>
Emissão de CO2 pela URE (kg/ano)	2.739.311	2.763.265	2.787.220	2.811.174	2.835.128