

CONFERIDO

PROC. N.º 011.13232/07
SUB J.P.P.
PRPG 1.13/06

ERRATA

Eu, Sergio Augusto Lucke, ex-aluno do curso de Engenharia Civil, Nível: Doutorado, informo que se devem considerar as seguintes erratas em folhas 1, 3, 4, 5, 13 e 15:

Onde se lê: Sérgio

Leia-se: Sergio

Sem mais.



Sergio Augusto Lucke



Prof. Dr. Carlos Alberto Mariotoni

Orientador



Prof. Dr. José Roberto Guimarães
Matrícula 245615
Coordenador de Pós-Graduação
FEC/UNICAMP



SÉRGIO AUGUSTO LUCKE

**O resíduo sólido urbano como fonte renovável
para geração de energia elétrica:
aspectos econômicos e sócio-ambientais.**

**CAMPINAS
2012**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

SÉRGIO AUGUSTO LUCKE

**O resíduo sólido urbano como fonte renovável
para geração de energia elétrica:
aspectos econômicos e sócio-ambientais.**

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mariottoni

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais.

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE
DEFENDIDA PELO ALUNO SÉRGIO AUGUSTO LUCKE E
ORIENTADO PELO PROF. DR. CARLOS ALBERTO MARIOTTONI.**

**CAMPINAS
2012**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

L963r Lucke, Sérgio Augusto
O resíduo sólido urbano como fonte renovável para
geração de energia elétrica: aspectos econômicos e sócio-
ambientais / Sérgio Augusto Lucke. --Campinas, SP:
[s.n.], 2012.

Orientador: Carlos Alberto Mariottoni.
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Resíduos sólidos. 2. Energia elétrica. 3. Fontes
alternativas. 4. Energia - Fontes alternativas. 5.
Sustentabilidade. I. Mariottoni, Carlos Alberto. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Municipal solid waste as a renewable source for generation of
electric energy: economical, social and environmental aspects

Palavras-chave em Inglês: Solid waste, Electric energy, Alternative source, Energy -
Alternative source, Sustainability

Área de concentração: Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais

Titulação: Doutor em Engenharia Civil

Banca examinadora: Carlos Alberto Mariottoni, Alberto Luiz Francato, Sérgio Valdir
Bajay, Arcanjo Lenzi, Frederico Fabio Mauad

Data da defesa: 06-11-2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

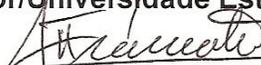
**O resíduo sólido urbano como fonte renovável
para geração de energia elétrica:
aspectos econômicos e sócio-ambientais.**

Sérgio Augusto Lucke

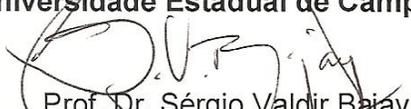
Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



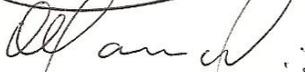
Prof. Dr. Carlos Alberto Mariottoni
Presidente e Orientador/Universidade Estadual de Campinas



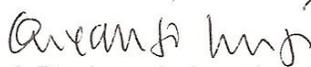
Prof. Dr. Alberto Luiz Francato
Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay
Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Frederico Fabio Mauad
Universidade de São Paulo



Prof. Dr. Arcanjo Lenzi
Universidade Federal de Santa Catarina

Campinas, 06 de Novembro de 2012

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus queridos filhos Thaís, André, Bruno e Eduardo.

Agradecimento

Este trabalho não poderia ser realizado sem a ajuda de diversas pessoas, às quais presto minha homenagem:

Aos meus pais e minha irmã, pelo incentivo à melhoria contínua em todos os aspectos de vida e à motivação para novos horizontes.

Aos meus filhos queridos, pelo apoio e por tantas horas que não mais voltarão.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Alberto Mariottoni, pela constante e sincera demonstração de amizade, apoio, incentivo e motivação aos desafios desta jornada.

Ao Prof. Dr. Alberto Luiz Francato, pela inestimável contribuição na abordagem dos instrumentos de equacionamento e otimização nos cálculos.

Aos professores Dr. Paulo Sérgio Franco Barbosa, Dr. José Anderson do Nascimento Batista e Dr. José Gilberto Dalfré Filho, pelo constante incentivo e suporte.

Ao Prof. Francisco Tomaz Horta Verri, pelo incentivo à atividade acadêmica.

Ao Prof. Antonio Sérgio Cella, pela colaboração e permanente incentivo.

Ao professor Dr. Antonio Marcos Favarin, pela contribuição em aspectos importantes das abordagens econômico-financeira e tributária.

Ao professor Sérgio José de Souza, pela contribuição em aspectos importantes das abordagens econômico-financeira e tributária.

Ao Prof. Dr. Armando Miguel Junior, pelos sábios conselhos e zelo à saúde.

Ao Prof. Dr. Vicente Idalberto Becerra Sablon, pela constante motivação e pelo apoio permanente.

Ao Prof. Dr. Emilio Lebre La Rovere, COPPE/UFRJ, pela contribuição com dados relevantes nos aspectos técnicos.

À primeira amiga Valéria dos Santos Gouveia Martins, pela genial contribuição na conceituação/formatação da revisão e das referências e pelo incentivo permanente.

Às amigas Juliana Ravaschio Franco de Camargo e Danielle Thiago Ferreira, pela contribuição em aspectos importantes das referências e pesquisas.

Ao Dr. Chem. Horst Hardtke, Alemanha, *in memoriam*, pelo trabalho conjunto, apoio permanente e desenvolvimento de tantas inovações e atividades proveitosas.

Ao Dr. Friedrich Leibundgut, Suíça, pelo apoio e acesso a novas perspectivas.

Aos amigos, colegas e professores, pelas inúmeras demonstrações de incentivo e carinho nas horas boas e também nas difíceis.

A diferença entre teoria e prática é maior na prática do que na teoria.

Jay R. Ashworth

Resumo

LUCKE, Sérgio Augusto. **O resíduo sólido urbano como fonte renovável para geração de energia elétrica: aspectos econômicos e sócio-ambientais**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2012. 437p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2012.

Nos últimos anos, a demanda total de energia continua a aumentar em escala mundial e a busca por fontes alternativas renováveis tem progressivamente deixado os aspectos teóricos para se transformar em atividade rotineira nos meios científicos e empresariais. O poder e a sobrevivência de nações são cada vez mais colocados em questionamento quando o fator energético passa a ter maior importância na geração de riquezas e no desenvolvimento. A geração de lixo acompanha o Homem ao longo de sua história. Em tempos mais recentes, o crescimento da população e a cultura de consumo e do descartável levaram a níveis críticos os problemas causados pelo enorme volume gerado. Foram estudados aspectos econômicos e sócio-ambientais da utilização de processamento completo tipo WPC do resíduo sólido urbano como fonte alternativa de energia renovável na geração de energia elétrica e da viabilidade de sua implantação pelos municípios nacionais, conforme a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Palavras-chave: resíduo sólido urbano; energia elétrica; fonte alternativa; energia renovável; lixo; sustentabilidade.

Abstract

LUCKE, Sérgio Augusto. **O resíduo sólido urbano como fonte renovável para geração de energia elétrica: aspectos econômicos e sócio-ambientais**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2012. 437p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP, 2012.

Over the last years, the total demand of energy has increased on a global scale and the search for alternative renewable sources of energy has progressively switched from traditional theoretical aspects to a customary activity in scientific and entrepreneurial environments. Power and survival of nations are now more frequently questioned as the energy factor increases its importance at the generation of wealth and development. The production of waste follows mankind along its history. In more recent times population growth and the culture of consumption and discardable items have led the problems generated by such huge amounts to critical levels. Economic, social and environmental aspects of using WPC type plants for complete processing of municipal solid waste as alternative source of renewable energy at power generation were studied as well as the feasibility of their implantation by national municipalities, according to the new Solid Waste National Policy.

Key words: solid urban residue, electric energy, alternative source, renewable energy, municipal solid waste, sustainability.

Lista de Figuras

	página
FIGURA 3.1 Função custo variável de processamento.....	58
FIGURA 3.2 Função custo unitário de processamento	59
FIGURA 3.3 Função custo total de processamento	59
FIGURA 3.4 Distância entre dois pontos na superfície terrestre.....	64
FIGURA 3.5 Posicionamento em três eixos	66
FIGURA 3.6 Sistema esférico de coordenadas.....	67
FIGURA 3.7 Sistema GPS WGS84.....	69
FIGURA 3.8 Situações desfavoráveis de relevo imediato	72
FIGURA 3.9 Intervalo de validade dos dados processados	73
FIGURA 4.1 Relacionamento das fontes e formas de energia.....	86
FIGURA 4.2 Fontes de oferta de energia e tipos de demanda.....	87
FIGURA 4.3 Oferta mundial de energia 2007.....	88
FIGURA 4.4 Oferta de energia OCDE 2008.....	88
FIGURA 4.5 Oferta de energia Brasil 2008	89
FIGURA 4.6 Oferta de energia Estado de São Paulo 2008	89
FIGURA 4.7 Consumo final energético por fonte Brasil 2010	91
FIGURA 4.8 Consumo final energético por setor Brasil 2010	91
FIGURA 4.9 Processamento de RSU na Europa.....	104
FIGURA 4.10 Hierarquia no tratamento de resíduos.....	109
FIGURA 4.11 Principais efeitos da poluição na saúde humana	123
FIGURA 4.12 Consumo de energia observado (1980-2007) e projetado (2008-2020) no Estado de São Paulo em 10 ⁹ kcal	132

FIGURA 4.13 Opções de processamento de lixo	140
FIGURA 4.14 Valores medidos em emissões de incineração atual e moderna.....	157
FIGURA 5.1 Distribuição acumulada de municípios por faixa de população	165
FIGURA 5.2 Perfil de distribuição acumulada de população nas RA	165
FIGURA 5.3 Distribuição de RSU até 100.000 habitantes.....	166
FIGURA 5.4 Distribuição de RSU de 100.001 até 2.000.000 de habitantes.....	166
FIGURA 5.5 Geração de RSU em função de crescimento e urbanização.....	178
FIGURA 5.6 Geração acumulada de RSU por municípios	179
FIGURA 5.7 Perfil de distribuição acumulada de população nas RA	180
FIGURA 5.8 Perfil de distribuição populacional nos municípios	182
FIGURA 5.9 Distribuição acumulada da população dos municípios.....	183
FIGURA 5.10 Distribuição de RSU até 100.000 habitantes.....	185
FIGURA 5.11 Distribuição de RSU de 100.001 até 2.000.000 habitantes	185
FIGURA 5.12 Geração de RSU em função de crescimento e urbanização.....	187
FIGURA 5.13 Geração acumulada de RSU por municípios	188
FIGURA 6.1 Custo de potência gerada por composições de unidades.....	201
FIGURA 6.2 Custo de potência gerada por potências unitárias equivalentes	204
FIGURA 6.3 Custos de potência instalada x custos mínimos de geração	205
FIGURA 6.4 Prazo de retorno de investimento por porte de instalação	208
FIGURA 6.5 Retorno por porte de instalação, tipos de variáveis e tempo.....	210
FIGURA 6.6 Retorno de investimento para portes 1 a 6 em diferentes condições....	210
FIGURA 6.7 Geração de PIB por município em 2005 (por população)	212
FIGURA 6.8 Geração de PIB por município em 2005 (por PIB)	213
FIGURA 6.9 Geração de PIB <i>per capita</i> em 2005 (por população)	214
FIGURA 6.10 Geração de PIB <i>per capita</i> em 2005 (por PIB)	215
FIGURA 6.11 Comportamento de taxas de crescimento (RSU maior)	217
FIGURA 6.12 Comportamento de taxas de crescimento (POP maior)	218
FIGURA 6.13 Comportamento de taxas de crescimento (PIB maior).....	219
FIGURA 6.14 Comportamento de custo e empenho atual – Santos 2005	221
FIGURA 6.15 Comportamento de custo e empenho atual – S. J. Campos 2005	222

FIGURA 6.16 RMC Cidade de Campinas – Custo x empenho atual.....	222
FIGURA 6.17 Comportamento de custo de usina x empenho atual – RMC.....	223
FIGURA 6.18 Comportamento de custo de usina x empenho atual – RMSP	224
FIGURA 6.19 Custo da usina em porcentagem do PIB – Marília 2005.....	226
FIGURA 6.20 Custo da usina em porcentagem do PIB – Bauru 2005.....	227
FIGURA 6.21 Custo da usina em porcentagem do PIB – Barretos 2005	228
FIGURA 6.22 Custo da usina em porcentagem do PIB – Campinas 2005	229
FIGURA 6.23 Custo da usina em porcentagem do PIB – RMC 2005	230
FIGURA 6.24 Custo da usina em porcentagem do PIB – RMSP 2005	231
FIGURA 6.25 Comportamento típico dos componentes de custos	232
FIGURA 6.26 Comportamento de valores na fase de inicialização.....	234
FIGURA 6.27 Comportamento de valores na fase de inicialização/transição	235
FIGURA 6.28 Comportamento de valores na fase de transição.....	235
FIGURA 6.29 Comportamento de valores na fase de transição/consolidação.....	236
FIGURA 6.30 Comportamento de valores na fase de consolidação	237
FIGURA 6.31 Comportamento de valores na fase de consolidação	238
FIGURA 6.32 Comportamento dos componentes de custos – Campinas 2005.....	239
FIGURA 6.33 Comportamento dos componentes de custos – RMC 2005.....	240
FIGURA 6.34 Comportamento dos componentes de custos – RMSP 2005	241
FIGURA 6.35 Comportamento da diferença entre custos e empenho atual 2005.....	243
FIGURA 6.36 Comportamento da diferença entre custos e empenho atual 2010.....	243
FIGURA 6.37 Comportamento da diferença entre custos e empenho atual 2020.....	244
FIGURA 6.38 Diferença entre custos e empenho atual – Campinas 2005	245
FIGURA 6.39 Diferença entre custos e empenho atual – RMC 2005	245
FIGURA 6.40 Diferença entre custos e empenho atual – RMSP 2005	246
FIGURA A.1 Configuração geográfica da RAC	394
FIGURA A.2 Custo da usina em relação ao empenho - Campinas.....	397
FIGURA A.3 Custo da usina em relação ao empenho – Região Norte	398
FIGURA A.4 Custo da usina em relação ao empenho – Região Sul.....	398
FIGURA A.5 Custo da usina em relação ao empenho – Região Leste	399

FIGURA A.6 Custo da usina em relação ao empenho – Região Oeste.....	399
FIGURA A.7 Custo da usina em relação ao PIB – Campinas.....	400
FIGURA A.8 Custo da usina em relação ao PIB – Região Norte.....	401
FIGURA A.9 Custo da usina em relação ao PIB – Região Sul	402
FIGURA A.10 Custo da usina em relação ao PIB – Região Leste.....	403
FIGURA A.11 Custo da usina em relação ao PIB – Região Oeste.....	404
FIGURA A.12 Comportamento de custos – Campinas.....	405
FIGURA A.13 Comportamento de custos – Região Norte.....	405
FIGURA A.14 Comportamento de custos – Região Sul	406
FIGURA A.15 Comportamento de custos – Região Leste.....	406
FIGURA A.16 Comportamento de custos – Região Oeste	407
FIGURA A.17 Diferença custos x empenho - Campinas.	408
FIGURA A.18 Diferença custos x empenho – Região Norte.....	409
FIGURA A.19 Diferença custos x empenho – Região Sul.	409
FIGURA A.20 Diferença custos x empenho – Região Leste.....	410
FIGURA A.21 Diferença custos x empenho – Região Oeste.....	410
FIGURA A.22 Configuração geográfica da RMSP ao redor de São Paulo.....	412
FIGURA A.23 Distribuição geográfica das regiões - RMSP.....	414
FIGURA A.24 Custo da usina em relação ao empenho – Região Norte.	415
FIGURA A.25 Custo da usina em relação ao empenho – Região Nordeste.....	416
FIGURA A.26 Custo da usina em relação ao empenho – Região Leste.	416
FIGURA A.27 Custo da usina em relação ao empenho – Região Sudeste ABC.....	417
FIGURA A.28 Custo da usina em relação ao empenho – Região Sudoeste.....	417
FIGURA A.29 Custo da usina em relação ao empenho – Região Oeste.....	418
FIGURA A.30 Custo da usina em relação ao PIB – Região Norte.....	419
FIGURA A.31 Custo da usina em relação ao PIB – Região Nordeste.....	420
FIGURA A.32 Custo da usina em relação ao PIB – Região Leste.....	421
FIGURA A.33 Custo da usina em relação ao PIB – Região Sudeste ABC.....	422
FIGURA A.34 Custo da usina em relação ao PIB – Região Sudoeste	422
FIGURA A.35 Custo da usina em relação ao PIB – Região Oeste.....	423

FIGURA A.36 Comportamento de custos – Região Norte	424
FIGURA A.37 Comportamento de custos – Região Nordeste.....	424
FIGURA A.38 Comportamento de custos – Região Leste	425
FIGURA A.39 Comportamento de custos – Região Sudeste ABC.....	425
FIGURA A.40 Comportamento de custos – Região Sudoeste	426
FIGURA A.41 Comportamento de custos – Região Oeste.....	426
FIGURA A.42 Diferença custos x empenho – Região Norte	428
FIGURA A.43 Diferença custos x empenho – Região Nordeste	428
FIGURA A.44 Diferença custos x empenho – Região Leste	429
FIGURA A.45 Diferença custos x empenho – Região Sudeste ABC	429
FIGURA A.46 Diferença custos x empenho – Região Sudoeste.....	430
FIGURA A.47 Diferença custos x empenho – Região Oeste	430
FIGURA A.48 Distribuição geográfica de regiões e bairros – São Paulo	432

Lista de Tabelas

	página
TABELA 3.1 Ajustes de interpolação da faixa de geração (RSU) por faixa de população (P).....	53
TABELA 3.2 Ajustes corrigidos de interpolação da faixa de geração (RSU) por faixa de população (P)	54
TABELA 3.3 Municípios-limite para intervalo de validade de dados	74
TABELA 4.1 Os combustíveis fósseis como fontes de energia.....	90
TABELA 4.2 Impactos ambientais.....	93
TABELA 4.3 Tecnologias de energia renovável.....	98
TABELA 4.4 Geração, coleta e não coleta de lixo no Brasil em 2009.....	115
TABELA 4.5 Alternativas de geração de energia elétrica.....	135
TABELA 4.6 Características do setor de RSU	151
TABELA 4.7 Projeção comparativa de custos 2016.....	153
TABELA 4.8. Padrões comparativos de emissões de US EPA, Resolução CONAMA 316 e NBR 11.175.....	161
TABELA 5.1 Distribuição populacional do Brasil por faixas – 2007.....	164
TABELA 5.2 Perfil de grupos geradores de RSU.....	174
TABELA 5.3 Dados populacionais das regiões administrativas de São Paulo.....	176
TABELA 5.4 Regiões administrativas – PIB, RSU e consumo de energia elétrica....	177
TABELA 5.5 Valores relevantes de população por região administrativa	180
TABELA 5.6 Perfil de distribuição populacional do estado.....	181
TABELA 5.7 Perfil de grupos geradores de RSU.....	186
TABELA 6.1 Coleta de lixo no Estado de São Paulo 2005-2020	193

TABELA 6.2	Potencial de geração de energia de RSU 2005-2020	194
TABELA 6.3	Conjunto de usinas WPC para processamento de RSU	195
TABELA 6.4	Distribuição por volume gerado de RSU e capacidade financeira 2005 Total do Estado de São Paulo	198
TABELA 6.5	Distribuição por volume gerado de RSU e capacidade financeira 2005 (excluindo a Cidade de São Paulo)	199
TABELA 6.6	Distribuição por volume gerado de RSU e capacidade financeira Total do Estado de São Paulo 2005 a 2020	200
TABELA 6.7	Distribuição por volume gerado de RSU e capacidade financeira (excluindo a Cidade de São Paulo) 2005 a 2020.....	200
TABELA 6.8	Custos de instalação x custos mínimos de geração	205
TABELA 6.9	Prazo de retorno de investimento (anos) por VPL	208
TABELA A.1	Gestão de resíduos sólidos e 4R.....	321
TABELA A.2	Comparação de gestão de resíduos entre países	322
TABELA A.3:	Comparação de tecnologias	324
TABELA A.4	Processo WTE para geração de energia elétrica	326
TABELA A.5	Aspectos regulatórios	329
TABELA A.6	Processo WTE como fonte renovável de energia.....	333
TABELA A.7	Compatibilidade de reciclagem e processo WTE	337
TABELA A.8	Reciclagem.....	338
TABELA A.9	Aspectos econômicos do processo WTE	340
TABELA A.10	Riscos do empreendimento	344
TABELA A.11	O setor sucroalcooleiro.....	345
TABELA A.12	Gaseificação de resíduos sólidos urbanos	347
TABELA A.13	Comparação entre gaseificação e processo WTE.....	350
TABELA A.14	Comparação entre aterros e processo WTE.....	352
TABELA A.15	Comparação entre processo WTE e opção CDR	354
TABELA A.16	Indicadores de referência e comportamento.....	355
TABELA A.17	Melhorias de processo.....	357
TABELA A.18	Preparação da massa antes da combustão.....	360

TABELA A.19 Melhorias de equipamento	361
TABELA A.20 Metodologias de cálculo	362
TABELA A.21 Metodologias de posicionamento de unidades	366
TABELA A.22 Impactos ambientais	368
TABELA A.23 Créditos de carbono	373
TABELA A.24 Aspectos de trabalho e saúde	375
TABELA A.25 Educação ambiental	377
TABELA A.26 Referências conceituais e numéricas	378
TABELA A.27 Referências institucionais, por mídia ou sites	381
TABELA A.28 Trabalhos do autor	386
TABELA A.29 Regiões propostas para a Cidade de São Paulo 2005.....	433
TABELA A.30 Formação de agrupamentos por bairros – São Paulo 2005.....	436

Lista de abreviaturas e siglas

24x7	regime de operação 24 horas por dia, sete dias por semana
3R	Reduzir, Reutilizar, Reciclar
4R	Reduzir, Reutilizar, Reciclar, Recuperar
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
base	regime contínuo de operação
BEN	Balanço Energético Nacional
CDR	combustível derivado de resíduos
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO	monóxido de carbono
CO ₂	dióxido de carbono
CTL	Centrais termelétricas a lixo
Eco 92	Conferência sobre meio ambiente no Rio de Janeiro em 1992
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
<i>flare</i>	tocha queimadora de gases
GEE	gases de efeito estufa
GIRS	Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos
GPS	Geographical Positioning System
<i>green power</i>	energia verde, energia renovável
HC	Hidrocarboneto
HFCs	Hidrofluorcarbonetos

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ipea	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
kJ	kilo Joule (energia)
MB	Mass Burning
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MSW	Municipal Solid Waste
MWh	megawatt/hora (energia elétrica gerada por hora)
N ₂ O	Óxido nitroso
Nox	Óxidos de nitrogênio
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
<i>per capita</i>	individual, por pessoa
PFCs	Perfluorcarbonetos
PIB	Produto Interno Bruto
pico	regime de operação somente em pico de carga
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RAC	Região Administrativa de Campinas
RCD	resíduo de construção e demolição
RCE	Redução Certificada de Emissão
RMC	Região Metropolitana de Campinas
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
RSU	resíduos sólidos urbanos
SEDAE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados.
SEESP	Secretaria de Energia do Estado de São Paulo
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo
SF ₆	Hexafluoreto de enxofre
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SIG	Sistema de Informação Geográfica

Sox	Óxidos de enxofre
t/dia	toneladas por dia
TWh	terawatt/hora (energia elétrica gerada por hora)
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido
WPC	Waste Processing Center ®
WTE	Waste to Energy

SUMÁRIO

	página
1	INTRODUÇÃO 35
1.1	Estrutura da tese 41
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 43
3	METODOLOGIA 45
3.1	Dados 47
3.2	Custos – valores 49
3.3	Projeções de RSU, população e PIB 50
3.3.1	Modelo de geração de RSU conforme a população 52
3.4	Softwares 55
3.5	Padrões adotados 56
3.5.1	Consistência de dados 56
3.5.2	Dimensionamento dos grupos de fontes geradoras 56
3.5.3	Incidência dos custos 60
3.5.4	Qualidade do lixo gerado 62
3.5.5	Coordenadas de referência 63
3.5.6	Cotas de elevação 70
3.5.7	Distâncias 71
3.5.8	Intervalo de validade dos dados processados 72
3.5.9	Proximidade de linha de transmissão e conexão 74
3.5.10	Dados de zonas rural e urbana 75
3.5.11	Custos logísticos de coleta 75
3.6	Comentários 80

4	ENERGIA E RESÍDUOS SÓLIDOS	83
4.1	Energia	83
4.1.1	Matrizes energéticas	85
4.1.2	A dependência do petróleo e combustíveis fósseis	90
4.1.3	Soluções possíveis	94
4.1.4	Energia renovável	97
4.2	O lixo	102
4.2.1	Geração e disponibilidade	103
4.2.2	Características de processamento	107
4.2.3	Classificação	111
4.3	A problemática do lixo	113
4.3.1	Poluição e saúde	114
4.3.1.1	Poluição do solo	117
4.3.1.2	Poluição da água	118
4.3.1.3	Poluição do ar	119
4.3.1.4	Efeitos na população	120
4.3.2	Lixões e aterros	123
4.3.3	Espaço e destinação comunitária	125
4.4	Política Nacional de Resíduos Sólidos	127
4.5	Geração de energia elétrica	131
4.5.1	Requisitos ambientais	136
4.5.2	Aspectos tecnológicos	139
4.5.3	Geração de energia elétrica a partir de RSU	143
4.5.4	Aspectos econômicos	147
4.5.5	Meio ambiente e controle de poluição	154
5	ÁREA DE ESTUDO	163
5.1	Divisões regionais administrativas	173
5.2	Dados gerais	175
5.3	Geração de resíduos	178
5.4	Projeções futuras	184

6	RESULTADOS	193
6.1	Análise de distribuição por volume gerado de RSU	196
6.2	Análise de viabilidade operacional	202
6.2.1	Determinação do custo mínimo	202
6.2.2	Análise de viabilidade do empreendimento	206
6.3	Análise de agrupamento	211
6.3.1	Geração do PIB municipal	211
6.3.2	Análise do fator de agrupamento	216
6.4	Análise de viabilidade econômico-financeira	220
6.4.1	Custo da usina em relação ao empenho atual	220
6.4.2	Custo da usina em relação ao PIB	225
6.4.3	Custo da usina e custos logísticos em relação ao empenho	231
6.4.4	Diferença entre custos e empenho	241
7	RECOMENDAÇÕES DE AGRUPAMENTO E FINANCIAMENTO	249
7.1	Consórcios	250
7.2	Parceria público-privada (PPP)	253
7.3	Project Finance (PF)	257
8	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS ESTUDOS	263
8.1	Conclusões	263
8.2	Recomendações para futuros estudos	273
	REFERÊNCIAS	275
	APÊNDICE	311
	Apêndice 1. Revisão bibliográfica	313
	Apêndice 2. Lei no. 11.079/2004	389
	Apêndice 3. Análise da Região Administrativa de Campinas	393
	Apêndice 4. Análise da Região Metropolitana de São Paulo	411
	Apêndice 5. Análise da Cidade de São Paulo	431

1. Introdução

Ao longo de sua história, o ser humano tem sobrevivido à custa do uso que tem feito dos recursos naturais do planeta. Como ser orgânico, sua vida depende do consumo de recursos orgânicos, água e minerais e o resultado desse processamento é a produção de resíduos metabólicos, que podem ser absorvidos pelo meio ambiente.

Entretanto, no decorrer de sua evolução, o ser humano desenvolveu conhecimento a respeito de inúmeros assuntos e mudou sua forma de vida, passando a influenciar diretamente o meio ambiente e seus recursos. A natureza dos resíduos produzidos também mudou, passando a depender diretamente de sua forma de vida e consumo, das tecnologias aplicadas e do fator de urbanização.

O resultado prático é que hoje os resíduos representam um enorme problema. De resíduos sólidos urbanos a lixo espacial, todo o entorno da humanidade está repleto de lixo, desde as montanhas mais altas até o centro dos maiores oceanos, do espaço às cavernas profundas.

Como não consegue parar de gerar lixo, o ser humano precisa achar soluções para não ser incomodado, afetado ou contaminado por ele, pois o lixo acumulado gera sérios problemas de saúde, constituindo elemento chave no saneamento público. Na prática, tudo que pode ser feito nesse setor de saneamento público visa reduzir e eliminar a ameaça que os resíduos representam para a saúde do ser humano.

Com o passar do tempo, inúmeras ações foram tomadas, com seus erros e acertos, para ao menos contornar o problema do lixo urbano, mas o crescimento da população, a crescente urbanização e a propagação da cultura de consumo de produtos descartáveis levaram a uma geração maior e desproporcional de resíduos

pelas comunidades, transformando a problemática dos resíduos sólidos urbanos em um tema prioritário da gestão pública em qualquer país.

O tema dos resíduos sólidos hoje é global e bastante intenso. Inúmeras propostas têm sido desenvolvidas nas últimas décadas para solucionar o problema, baseadas principalmente nos princípios de transformar (compostagem), enterrar (aterramento) ou eliminar (queimar). Todas apresentam vantagens e desvantagens, conforme o contexto e as circunstâncias decisórias em que estão inseridas, motivando o contínuo desenvolvimento de alternativas para melhoria dos resultados e da solução do problema básico, pois contexto e circunstâncias mudam com o tempo.

Nesta tese, o processo utilizado como referência nas análises e cálculos é do tipo WPC (Waste Processing Center), desenvolvido e patenteado pela Sauber Technologies e seus parceiros de pesquisa e tecnologia da Alemanha e da Suíça. Esse processo é do tipo completo, abrangendo todo o processamento dos resíduos sólidos urbanos (lixo urbano fresco) em três etapas principais.

Na primeira etapa, o lixo passa por uma etapa de separação de todos os materiais recicláveis, que são posteriormente encaminhados por meio da logística reversa para as empresas de reciclagem.

Na segunda etapa é separada a parcela de água, que passa por tratamento e posterior reaproveitamento, em diversos graus de qualidade.

Na terceira etapa a massa que não pode mais ser separada em seus componentes é processada e incinerada, formando a base para a geração de energia elétrica em turbogerador e posterior transmissão à rede. As cinzas resultantes podem ser reaproveitadas em materiais de construção, como blocos e pisos, ou asfalto.

A tecnologia WPC pode também ser aplicada a aterros já existentes, independentemente de porte ou idade, transformando os materiais depositados em

energia elétrica, eliminando grande fonte de emissão de gases de efeito estufa e poluição e recuperando o espaço físico para fins mais nobres e úteis à comunidade.

Esse processo é inovador, por ser completo, e incorpora de forma diferenciada diversas atividades que, isoladamente, podem se constituir em negócios, empresas ou organizações completas e autônomas.

A contribuição desse processo abrange diversos setores, propiciando resultados positivos como:

- eliminação física do lixo, que é transformado em produtos recicláveis, água, energia elétrica e cinzas;
- promoção da integração social e do pleno emprego nas comunidades;
- integração aos ciclos logísticos e criação de novas atividades e novos empregos;
- eliminação dos problemas de saúde causados por poluição e contaminação e suas respectivas despesas no atendimento do Sistema de Saúde;
- término da geração de gases por lixões e aterros, que aceleram o efeito estufa e o aquecimento global;
- substituição de geração de energia elétrica por meio de recursos naturais nobres, novos e de maior valor;
- compensação de geração de energia por fontes não renováveis, poluentes e mais caras;
- melhor gestão pública dos resíduos sólidos;

- criação de valor para os acionistas do empreendimento;
- ganhos para a sociedade em melhoria de saúde, espaço e qualidade de vida.

O Brasil ainda não dispõe de tecnologia de processamento de resíduos sólidos em condições operacionais. Parte do lixo gerado não é coletada e, do volume coletado, quase a metade é destinada a lixões e o restante é destinado a aterros sanitários.

Pobre cenário, que demanda soluções urgentes e efetivas para eliminação do problema, que afeta gravemente a parcela mais necessitada da população urbana.

Com a aprovação da nova Política Nacional de Resíduos Sólidos pelo governo federal, em 2010, espera-se que possa ter início um novo ciclo de medidas práticas para eliminação dos lixões, implantação de consistente logística reversa e maximização da reciclagem, novas tecnologias para recuperação energética dos materiais, promoção da integração social e do emprego formalizado e registrado, redução das fontes geradoras e dos níveis de emissão de agentes poluidores.

O principal objetivo desta tese é:

- investigar as condições reais de implantação desse tipo de processamento dos resíduos sólidos no Brasil, tomando como amostragem o Estado de São Paulo e todos os seus municípios como fontes geradoras de resíduos sólidos;
- analisar as diferenças entre o potencial nominal e as reais possibilidades locais e regionais de geração de energia elétrica;
- verificar as reais condições de viabilidade econômico-financeira de implantação e operação de usinas WPC em cada contexto, considerando a geração de resíduos e outros fatores associados e necessários aos cálculos em cada caso, e

adotando a minimização dos custos totais resultantes como principal indicador para tomadas de decisão pelos gestores públicos;

- considerar os aspectos sociais e ambientais como fatores determinantes para resultados sustentáveis.

A principal contribuição desta tese é a produção de resultados demonstrando as diferenças entre teoria e prática do aproveitamento dos resíduos sólidos gerados pelos municípios do Estado para o processamento em usinas WPC e geração de energia elétrica, no contexto e nas circunstâncias atualmente vigentes.

1.1 Estrutura da tese

A tese está estruturada em capítulos, sendo o primeiro dedicado à introdução, ao escopo e ao objetivo da tese e sua estrutura.

O segundo capítulo descreve a metodologia utilizada, os dados considerados e a base de tratamento matemático adotada para os cálculos.

O terceiro capítulo é dedicado à revisão bibliográfica.

O quarto capítulo, parte um, enfoca a energia na situação atual, com excessiva dependência do petróleo e combustíveis fósseis; perspectivas de mudança; aspectos do meio ambiente e da economia; o lixo como fonte de energia renovável.

A parte dois aborda o lixo, sua geração, características e classificação.

A parte três descreve a problemática do lixo, em termos de poluição de ar, água e solo, além dos aspectos graves de saúde pública.

A parte quatro aborda a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos, os aspectos de mudança que pode gerar e os impactos no processamento do lixo.

A parte cinco enfoca a situação atual do processamento de resíduos sólidos no cenário mundial, incluindo o Brasil; a necessidade de adoção de novos padrões; fatores críticos e aplicabilidade; aspectos tecnológicos e do meio ambiente.

O capítulo cinco aborda aspectos do Estado de São Paulo como universo de pesquisa e dos seus municípios como fontes geradoras de resíduos sólidos.

O capítulo seis contém a convergência de todos os dados dos capítulos anteriores para as análises de potencial real de geração, enquadramento das fontes geradoras nos portes possíveis de usinas, custos e viabilidades econômico-financeiras, possíveis soluções para viabilidade de implantação e condições de investimento.

O capítulo sete aborda as alternativas de formação de agrupamentos para o processamento de maiores volumes de lixo e benefícios da economia de escala, além de aspectos de financiamento dos projetos.

O capítulo oito, na seção um, contém as conclusões da tese, de forma sequencial e progressiva.

O capítulo oito, na seção dois, sugere trabalhos futuros que poderiam ser desenvolvidos a partir desta tese.

Em seguida são indicadas as referências utilizadas para a realização da tese.

Especificamente o Apêndice 1 detalha a revisão bibliográfica realizada, na forma de enfoques principais relacionados ao tema desta tese.

O Apêndice 2 apresenta conceitos destacados pelo autor da Lei no. 11.079/2004, referente a parceria público-privada no Brasil.

O Apêndice 3 detalha as análises da Região Administrativa de Campinas.

O Apêndice 4 detalha as análises da Região Metropolitana de São Paulo.

O Apêndice 5 detalha as análises da Cidade de São Paulo.

Exceto quando indicado de outra forma específica, as Figuras e Tabelas desta tese são de elaboração, configuração e formatação do autor.

2. Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica referente ao tema e aos enfoques principais desta tese foi realizada com base em pesquisa de teses, dissertações e publicações em periódicos nas bases de dados ISI, Compendex e Scopus, abrangendo material no período de 1987 a 2012 e considerado como relacionado ao desenvolvimento do trabalho. A pesquisa detalhada estabeleceu um universo de 4.654 trabalhos e um refinamento dessas obras resultou em 231 trabalhos, abordados em seus diversos enfoques.

Também foi realizada pesquisa em livros impressos, divulgados por mídia e material disponível por Internet. A pesquisa estabeleceu um universo de 527 títulos e seu refinamento resultou em 69 referências citadas neste trabalho.

Os enfoques principais relacionados ao desenvolvimento desta tese podem ser alinhados como:

1. necessidade de substituição de combustíveis fósseis por alternativas renováveis e sustentáveis;
2. transição da matriz energética dominada pelo petróleo para uma nova estrutura;
3. novo paradigma de desenvolvimento, orientado por uma nova ética de crescimento e baseado em sustentabilidade ambiental, social, cultural e política;
4. alta probabilidade de falta de energia elétrica;
5. implantação de mais fontes geradoras, abrangendo fontes alternativas e renováveis;
6. resíduos sólidos como alternativa para geração de energia elétrica;
7. formação de consórcios intermunicipais para resolução de problemas comuns em relação aos resíduos sólidos;
8. gestão de resíduos sólidos e 4R;
9. comparação de gestão de resíduos entre países;

10. comparação de tecnologias;
11. processo WTE para geração de energia elétrica;
12. aspectos regulatórios;
13. processo WTE como fonte renovável de energia;
14. compatibilidade de reciclagem e processo WTE;
15. reciclagem;
16. aspectos econômicos do processo WTE;
17. riscos do empreendimento;
18. o setor sucroalcooleiro;
19. gaseificação de resíduos sólidos urbanos;
20. comparação entre gaseificação e processo WTE;
21. comparação entre aterros e processo WTE;
22. comparação entre processo WTE e opção CDR;
23. indicadores de referência e comportamento;
24. melhorias de processo;
25. preparação da massa antes da combustão;
26. melhorias de equipamento;
27. metodologias de cálculo;
28. metodologias de posicionamento de unidades;
29. impactos ambientais;
30. créditos de carbono;
31. aspectos de trabalho e saúde;
32. educação ambiental;
33. referências conceituais e numéricas;
34. referências institucionais, por mídia ou sites;
35. trabalhos do autor.

O detalhamento dos enfoques e das obras é apresentado no Apêndice um.

3. Metodologia

O método de trabalho foi constituído de pesquisa bibliográfica sobre o contexto da problemática do lixo, dos modernos enfoques da gestão de empresas ambientais, indicações do controle de processos e equipamentos e métodos de otimização de resultados a partir de conjuntos de relações e restrições.

Foi também empregado o estudo bibliográfico da técnica de processos, para realizar um tratamento qualitativo que pudesse ser aplicado a uma determinada empresa ambiental considerada, além de pesquisa prática junto a fabricantes de equipamentos, para tratamento quantitativo dos valores envolvidos.

O estudo bibliográfico compreendeu pesquisas em livros, revistas e publicações, teses em bibliotecas, bancos de dados e sites de Internet. É importante destacar que, na literatura pesquisada, não foram encontradas aplicações diretas de processos e viabilidade em empresas ambientais do ramo de processamento de lixo, além dos tradicionais enfoques em coleta seletiva, reciclagem básica e aterros.

Da mesma forma, somente poucas obras puderam fornecer suporte direto ao estudo do controle de processo, sob o enfoque da gestão de processos. Com raras exceções, a literatura referente ao controle de processos está fortemente dirigida aos enfoques de controle estatístico de processo (produção e administração), algoritmos matemáticos (sistemas de controle de equipamentos – válvulas automáticas, por exemplo) e algoritmos computacionais (controle de sistemas e sistemas inteligentes).

Para o desenvolvimento do estudo foi aplicada a metodologia de coleta e análise de dados relativos ao universo das fontes geradoras de resíduos sólidos urbanos, especificamente lixo doméstico fresco.

Devido a certa insuficiência e imprecisão de dados referentes ao assunto em todo o território nacional, foi escolhido o Estado de São Paulo como universo de estudo. Além de representar grande parcela do lixo gerado no País, o estado conta com boas fontes de dados bem especificados e precisos. Isso permitiu maior segurança nos cálculos e na interpretação dos resultados obtidos nos anos 2005 e 2010 e na previsão para os anos 2015 e 2020.

A metodologia envolveu coleta, organização e análises diferenciadas de dados referentes a população, geração de lixo, distribuição geográfica e ponderada das fontes. Na fase seguinte envolveu análise comparativa de dados associados referentes a geração de lixo, capacidades de processamento necessárias, níveis de investimento envolvidos, custos e receitas decorrentes e viabilidade de execução dos projetos.

Uma fase seguinte envolveu análise das possibilidades de viabilizar os projetos por meio de iniciativas governamentais e não governamentais, de instituições financeiras e de modalidades de financiamento e investimento disponíveis na prática.

Os resultados desejados visaram separar a idéia inicial e teórica do potencial de realização das condições reais e práticas sob as quais essa realização pode se tornar possível, especialmente aquelas expressas em termos econômicos e financeiros.

À primeira vista, os objetivos parecem claros e bem definidos: buscar a melhor forma de atender à demanda das fontes geradoras dos grupos de municípios pelo menor custo, com vantagens econômicas para todos os municípios. Entretanto, isso parte do pressuposto de um consenso, de um esforço conjunto e de uma administração participativa que dêem o necessário suporte à gestão da problemática, da iniciativa e da solução, e ao sistema de repartição dos custos que seja benéfico e aceitável para todos os envolvidos. Sem esse arranjo administrativo os objetivos e aspectos econômicos podem não se tornar claros nem objetivos, ou mesmo quantificáveis. Em geral, eles acabam se tornando prementemente óbvios após longo tempo de minuetos políticos e omissões. Nessa fase, o assunto já se tornou emergencial.

3.1 Dados

Para este estudo foram adotados e pesquisados dados fornecidos por instituições governamentais e não governamentais, referentes à população e à geração de lixo no Estado de São Paulo, entre outros constantes de Referências da tese.

Considerando o Estado de São Paulo como universo de estudo, para a montagem do banco de dados os valores referentes à população dos 645 municípios analisados têm como fonte o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, levando em conta as previsões até o ano 2050.

Os dados referentes a geração, disposição e custos do lixo são originários da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, da Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo - SEMA, do Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE e da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados - SEDAE.

Os dados referentes a energia e consumo de energéticos, bem como da matriz energética paulista, são da Secretaria de Energia do Estado de São Paulo - SEESP. Os dados da matriz energética nacional são do Balanço Energético Nacional - BEN, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE para o Ministério de Minas e Energia do Governo Federal - MME.

Outros dados e referências foram tomados das fontes diferenciadas citadas nas Referências da tese, sendo citados e analisados dentro do contexto em que se enquadram e para as finalidades propostas.

Foram consultados os manuais e os livros que pudessem acrescentar algo novo e relevante ao assunto e à pesquisa desse porte e dessa natureza, de vez que a maioria das publicações costuma repetir os conceitos básicos e os bordões do enfoque ambiental e ecológico da geração e do descarte de resíduos, na maioria das vezes sem a devida revisão da atualização tecnológica, visando mais um efeito pedagógico a longo prazo do que propriamente uma evolução técnica.

Também foram pesquisados artigos, entrevistas e reportagens relativos ao setor de resíduos sólidos urbanos e de energia elétrica, tanto na geração como no desenvolvimento e na fabricação de equipamento ligado ao setor, disponíveis em jornais, revistas e suas correspondentes bases de dados da internet.

Infelizmente a quantidade de artigos científicos publicados é pequena e geralmente se limita a aspectos específicos ou locais, quando não genéricos demais. O assunto não é parte relevante das prioridades da maioria das instituições de ensino, pesquisa e tecnologia. Em países onde a problemática do lixo já assumiu proporções maiores ou críticas, e a consciência ambiental e pública estão mais despertas ou aguçadas para os riscos dela decorrentes, há mais pesquisa e mais artigos sobre o assunto, embora focando mais nos aspectos de alerta sobre a situação do que propriamente nos aspectos técnicos ou na proposição de soluções viáveis.

Na prática, algumas poucas empresas operam nesse setor, em termos mundiais, e outras poucas em termos locais/regionais, e quase nenhuma publica ou divulga seus dados, levando em conta o caráter contratual e empresarial das atividades que desenvolvem. A principal preocupação é o processamento total do lixo, em volumes diários, com base nos contratos firmados, e a manutenção da rentabilidade. A totalidade das empresas que processam os resíduos pertence ao poder público ou opera sob licitação/concessão do mesmo, geralmente na forma de contratos de médio/longo prazo. A maioria das tecnologias é recente e ainda tomará tempo até que se provem efetivas e economicamente viáveis. Enquanto isso, o poder público continuará arcando com as decisões e os custos de destinação dos resíduos municipais e, onde não houver

legislação atual e moderna sobre seu processamento, envolvendo, no mínimo, aterros sanitários totalmente controlados ou usinas de processamento com geração de energia, continuará fechando os olhos para a conveniente situação de lixões a céu aberto e toda a sua problemática resultante.

Para um estudo dessa natureza, é fundamental que os dados estejam disponíveis de forma clara e confiável e que os objetivos do estudo sejam bem definidos e baseados em critérios objetivos e quantificáveis.

Dos pontos de vista legal e institucional foi incluída análise no capítulo quatro, parte quatro, considerando a recente lei número 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS. Esta, se bem aplicada e fiscalizada, terá a virtude de mudar efetivamente os conceitos, as atividades e o panorama do setor, com significativos impactos em diversas atividades do mercado e no PIB, além de profunda mudança na cultura atual de baixos investimentos e pouca ação.

3.2 Custos - valores

Para a elaboração da base de custos utilizada como referência para as análises comparativas e de viabilidade foram utilizados valores fornecidos por entidades oficiais, não governamentais, bibliografia especializada, empresas envolvidas nas atividades práticas de processamento e empresas fabricantes de equipamentos.

Na medida do possível, os valores espelham uma referência para um setor que ainda não teve condições de definir um padrão consistente, preciso e estável. Os melhores dados ainda são fornecidos pelo setor hidrelétrico que, ao longo do tempo, dominou amplamente o setor de geração de energia elétrica no País.

Na maioria das vezes, os valores resultantes de pesquisas na área representam situações pontuais, isoladas ou mesmo únicas, por falta de seu atrelamento às condições e/ou variáveis utilizadas em seu cálculo, ao seu contexto ou mesmo a uma referência de tempo. Ocorre pouca ou nenhuma discussão sobre os efeitos de variáveis em diversas condições ou em diferentes valores nas faixas de ocorrência, resultando em referências difusas ou mesmo nebulosas.

Sempre que possível, os valores indicados nesta tese estão referenciados em moeda nacional (Real). Quando em outro contexto ou referência, os valores seguem a moeda especificamente indicada.

Buscou-se, sempre que possível, utilizar valores de mesma base e com a mesma referência de tempo, para evitar efeitos de distorção por inflação ou câmbio.

3.3 Projeções de RSU, população e PIB

Considerando que o estudo abre as portas para atividades que poderão ter início nos próximos anos e terão duração e impactos de longo prazo, é importante levar em consideração fatores que poderão influenciar de forma significativa o setor. Os estudos foram realizados para os anos de 2005, 2010, 2015 e 2020, considerando os dados disponíveis de forma consistente para as análises.

A projeção da população nos municípios do Estado de São Paulo foi feita levando em consideração os dados dos anos 2005, 2007 e 2010 disponíveis do IBGE (2008a; 2008b) e as equações fornecidas no capítulo “Metodologia”. O estudo levou em conta diversas projeções de curto e longo prazo, especialmente o relatório do IBGE que

prevê desaceleração do crescimento populacional nos próximos trinta anos e, em seguida, a partir de 2040, redução da população nacional.

O Estado de São Paulo, por se encontrar na dianteira dos processos de crescimento, urbanização, produção, produtividade e condições financeiras, espelha também de forma mais adiantada os efeitos das previsões do IBGE.

Para efeito de verificação dos resultados das projeções em 2010, os dados e projeções de população para os municípios do Estado de São Paulo foram adotados da Fundação SEADE.

Em virtude da inexistência de metodologia adequada para esse tipo de cálculo, a projeção dos valores do PIB dos municípios do estado foi feita adotando proporcionalidade linear com os dados de população. Foram adotados os valores conhecidos dos anos de 2005, 2007 e 2010 para as projeções em função da população.

A projeção da geração de RSU foi feita levando em consideração os dados previstos para a população nos municípios do estado e o efeito constatado de maior geração por habitante conforme o crescimento da população e a urbanização local de cada município (capítulo 5, Figura 5.5).

A base de população foi dividida em faixas de dez mil habitantes e, por meio de análises de regressão, foi estabelecida em cada uma delas a relação entre o volume gerado de RSU e os valores limite (inicial e final) de população responsável por essa geração. Onde necessário, por motivo de insuficiência de dados ou precisão insuficiente, faixas maiores foram adotadas. A seqüência de equações foi então submetida a tratamento de otimização computacional, abrangendo todas as faixas, para suavização da curva (3.3.1).

3.3.1 Modelo de geração de RSU conforme a população

Por meio de análises de regressão foram investigados os comportamentos de geração de RSU em cada faixa de população do total do estado. Para cada faixa de população foi encontrada uma equação que, de forma estatística, atendesse as condições de correlação linear entre os valores de população e de RSU nesse intervalo.

Observando-se a continuidade das equações, especialmente nas interfaces das faixas, pela aplicação do valor de população comum, verificou-se que havia desvios percentuais positivos e negativos significativos entre os valores de RSU de finalização de um intervalo e os de início no intervalo seguinte, como indicado pela Tabela 3.1.

Isso significa quebra de continuidade numérica nos valores de RSU de faixa para faixa dos valores de população, prejudicando a estimativa de geração de RSU para os anos seguintes, em conformidade com o comportamento da população em função do crescimento numérico e do fator de urbanização.

Por meio do aplicativo Solver foi elaborado, em planilha Excel, um conjunto de equações e restrições, envolvendo os extremos inicial e final do universo de análise, as interfaces das faixas consideradas, as condições de correção das equações e a minimização da função soma de todos os desvios nas interfaces.

O sistema de equações foi considerado linear e os limites de operações e integrações foram liberados. Buscou-se, com esse procedimento, reduzir a um mínimo a soma dos ajustes necessários nas interfaces de faixas contíguas.

Tabela 3.1 Ajustes de interpolação da faixa de geração (RSU) por faixa de população (P)

Intervalo de população P (habitantes)	Equação para RSU (t/dia)	Desvio na interface (%)
1 a 10.000	$RSU = - 0,216 + 0,000356 P$	-7,30
10.001 a 20.000	$RSU = - 1,14 + 0,000424 P$	-6,68
20.001 a 30.000	$RSU = - 2,13 + 0,000449 P$	-3,97
30.001 a 40.000	$RSU = - 4,29 + 0,000506 P$	-6,33
40.001 a 50.000	$RSU = - 2,22 + 0,000429 P$	-3,54
50.001 a 60.000	$RSU = - 8,50 + 0,000541 P$	7,43
60.001 a 70.000	$RSU = 17,1 + 0,000144 P$	-1,21
70.001 a 80.000	$RSU = - 19,0 + 0,000655 P$	-6,77
80.001 a 90.000	$RSU = - 9,9 + 0,000513 P$	-4,33
90.001 a 100.000	$RSU = - 85 + 0,00133 P$	5,50
100.001 a 200.000	$RSU = - 1,56 + 0,000522 P$	22,33
200.001 a 300.000	$RSU = 0,4 + 0,000627 P$	-1,75
300.001 a 400.000	$RSU = - 4,4 + 0,000632 P$	2,42
400.001 a 500.000	$RSU = 242 + 0,000031 P$	40,16
500.001 a 2.000.000	$RSU = - 10,3 + 0,000743 P$	-21,15
1.000.001 para mais	$RSU = - 611 + 0,00125 P$	-12,79

As novas equações, com desvio zero nas interfaces, garantindo a continuidade numérica de cálculo nas interfaces e a minimização de erros de transição, estão

indicadas na Tabela 3.2. Os coeficientes originais da regressão C1 e C2 foram transpostos para RSU e P, respectivamente.

Tabela 3.2 Ajustes corrigidos de interpolação da faixa de geração (RSU) por faixa de população (P)

Intervalo P (habitantes)	Equação para RSU (t/dia)		
1 a 10.000	RSU =	-0,19520808 + 0,0005860	P
10.001 a 20.000	RSU =	-1,21289070 + 0,0006878	P
20.001 a 30.000	RSU =	-2,13397879 + 0,0007339	P
30.001 a 40.000	RSU =	-4,54957105 + 0,0008144	P
40.001 a 50.000	RSU =	-2,25578522 + 0,0007570	P
50.001 a 60.000	RSU =	-8,79207488 + 0,0008878	P
60.001 a 70.000	RSU =	32,32928681 + 0,0002024	P
70.001 a 80.000	RSU =	-21,65618504 + 0,0009736	P
80.001 a 90.000	RSU =	-10,39686391 + 0,0008329	P
90.001 a 100.000	RSU =	-119,88131532 + 0,0020494	P
100.001 a 200.000	RSU =	-1,60850896 + 0,0008667	P
200.001 a 300.000	RSU =	0,39891036 + 0,0008566	P
300.001 a 400.000	RSU =	-4,46475774 + 0,0008728	P
400.001 a 500.000	RSU =	331,90902395 + 0,0000319	P
500.001 a 2.000.000	RSU =	-11,09642293 + 0,00071791	P
1.000.001 para mais	RSU =	-1190,9346912 + 0,00130783	P

3.4 Softwares

A ciência e a tecnologia da informação tiveram papel significativo no desenvolvimento e na elaboração deste estudo.

Desde a pesquisa de bancos de dados até o *download* de dados e imagens, o acesso à Internet e o uso de softwares como Google Earth e Explorer foram constantes.

A obtenção de coordenadas e análise dos resultados de agrupamentos foi possível pelo uso do aplicativo Google Earth 6, ajustado para aplicação *on line*.

Para a organização dos dados e bancos relacionados, análises e geração de gráficos foi utilizada a planilha Microsoft Excel 2007, atualizada até a presente data.

A análise dos dados e todos os cálculos e análises de otimização puderam ser feitos com os aplicativos Premium Solver for Education V7.0, da Frontline Systems, com forte integração ao aplicativo Excel e permitindo análises não lineares. Outros aplicativos como SAS, Mathematica, MATLAB, Lingo e outros poderiam igualmente ser utilizados, mas a facilidade de uso e a integração à planilha Excel foram decisivos.

O uso de aplicativos georeferenciados seria também possível, mas a natureza da pesquisa e os resultados desejados dispensaram o uso de aplicativos de maior porte e precisão, que serão indispensáveis em fases seguintes de estudos de viabilidade.

Para análise estatística foi utilizado o aplicativo Minitab 16.0 da Minitab Inc., com forte direcionamento para a área de Qualidade e processos, dispensando assim o uso de aplicativos de maior porte como SPSS e outros.

3.5 Padrões adotados

O desenvolvimento de um estudo dessa natureza somente foi possível por meio da adoção de determinados padrões e premissas, com o objetivo de melhor definir o escopo da pesquisa, garantir a qualidade dos dados, buscar a melhor precisão nos cálculos e análises, além de conferir leveza e facilidade em diversos procedimentos.

3.5.1 Consistência de dados

Para manter a qualidade das análises e a precisão dos cálculos, foram utilizados somente dados de diversas fontes que mantivessem o mesmo padrão de referência na linha do tempo e na origem dos fatos e eventos.

3.5.2 Dimensionamento dos grupos de fontes geradoras

A base inicial de análise desse tipo de estudo deve ser a verificação de economias de escala. Em princípio, a cada fonte ou grupo de fontes geradoras deveria corresponder uma unidade de processamento que atendesse à demanda total apresentada. As questões fundamentais para esse enfoque são:

1. Qual é a capacidade de usina mais adequada ao porte de geração da fonte ou do agrupamento de fontes?

2. Até que limite, ou em que extensão, os custos decorrentes da fonte ou do agrupamento de fontes são suportáveis?

O raciocínio para o agrupamento considera que, inicialmente, duas fontes podem ser agrupadas para atender sua demanda conjunta. A equação demanda x capacidade é otimizada e satisfaz as condições das duas fontes. A próxima fase analisa a equação capacidade x custo e, uma seguinte, a equação custo x recursos. Quando esta não é satisfeita, aumenta a necessidade de crescimento do agrupamento.

Ao se agregarem mais fontes, sucessivamente, a equação demanda x distância pode continuar a ser otimizada, mas as distâncias de todas as fontes até a usina aumentarão e, portanto, os custos logísticos aumentarão. Além disso, a usina se tornará cada vez maior, dificultando cada vez mais sua localização em áreas livres na região geográfica em estudo. A busca pela solução otimizada deve, portanto, passar primeiro pela definição do porte economicamente adequado ao agrupamento formado.

Esse critério pode ser melhor esclarecido pela análise dos custos fixos e variáveis das usinas que serão propostas como soluções aos diversos portes de geração (ZAMBON, 2005).

Em princípio, os custos variáveis de processamento podem ser considerados quase constantes por tonelada processada (a função “processamento” pode ser assumida como linear), conforme a Figura 3.1.

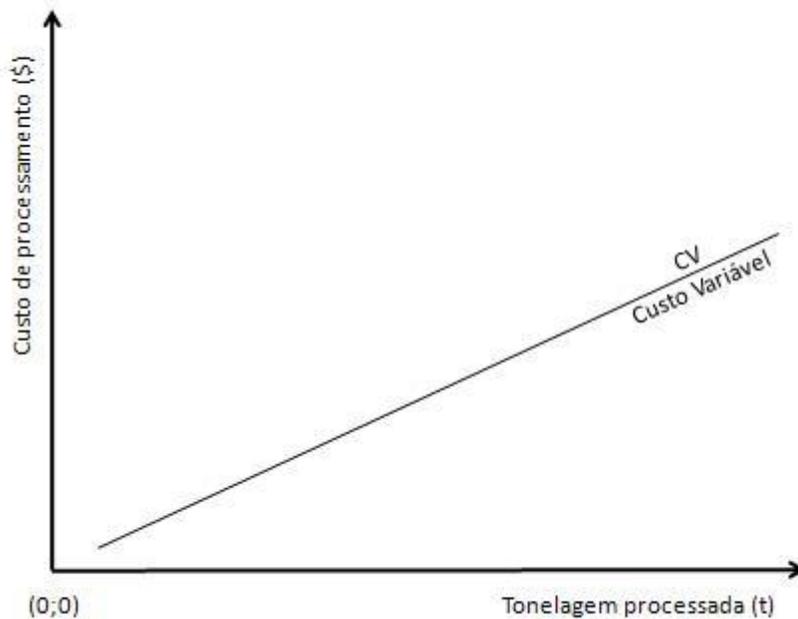


Figura 3.1 Função custo variável de processamento

Essa relação é válida para diversas capacidades de processamento quanto para um determinado porte, com valores mínimo e máximo de operação.

O custo unitário de processamento diminui significativamente conforme aumenta o uso de uma usina com uma determinada capacidade (entre valores mínimo e máximo) ou aumenta o porte da usina selecionada para instalação. O custo unitário de processamento é fortemente reduzido com maior tonelagem processada, devido ao efeito de diluição dos custos fixos por maiores quantidades processadas, conforme Figura 3.2. Em princípio, toda usina deveria operar com a máxima capacidade possível, para maximizar a diluição dos custos fixos pela maior tonelagem possível e, dessa forma, minimizar o custo unitário por tonelada processada. Ao se combinarem as duas curvas, entretanto, a curva resultante do custo total por tonelada processada pode apresentar um formato que induz a um ponto de mínimo, para o qual deveria convergir a solução do problema (função total minimizada), conforme a Figura 3.3.

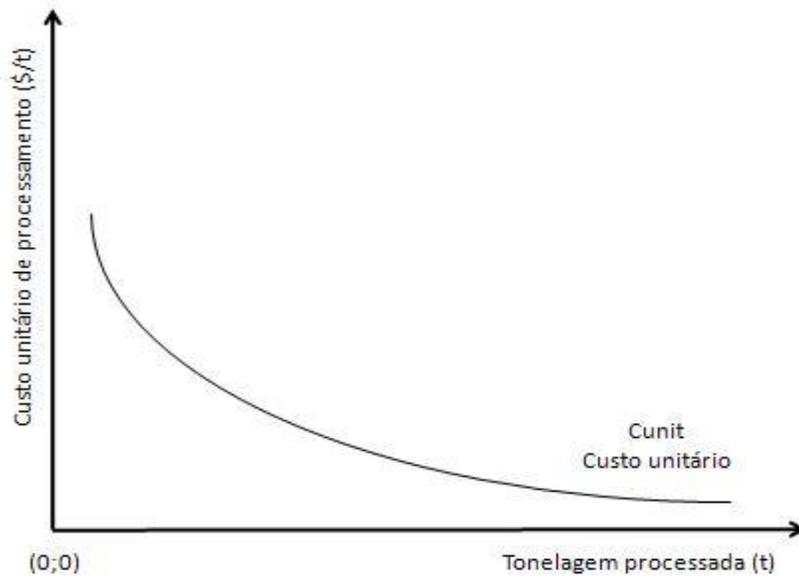


Figura 3.2 Função custo unitário de processamento

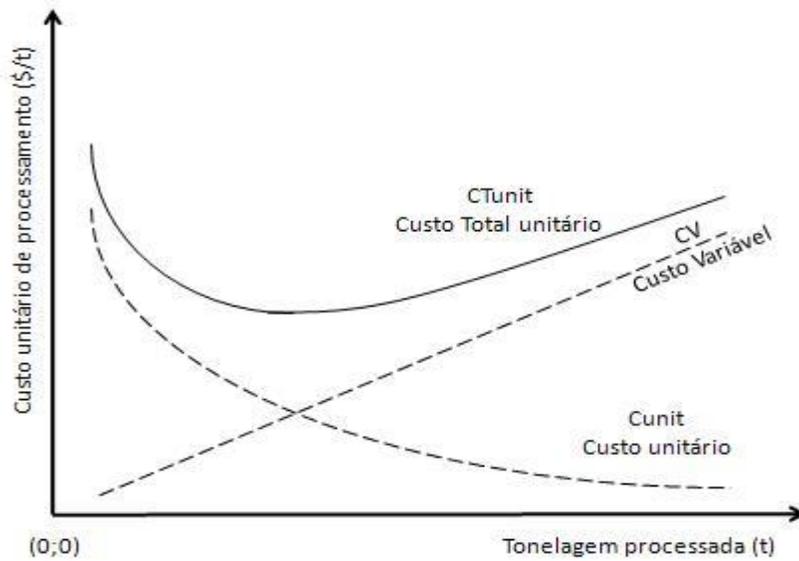


Figura 3.3 Função custo total de processamento

Levando em consideração essa premissa, a questão do agrupamento das fontes geradoras de resíduos, para determinação de uma usina que possa processar o total gerado de forma comum, passa a ser a otimização das fontes participantes em função do total gerado pelo conjunto e da minimização da função custo total desse conjunto em relação aos custos da usina (HEIDERICH, 2011).

3.5.3 Incidência dos custos

No estudo apresentado, a função-objetivo utilizada foi simplificada no fator custo, considerado constante para todas as fontes.

A rigor, há incidência de custos diferentes em cada caso. Normalmente, as empresas que transportam o lixo recebem um determinado valor por tonelada transportada, de forma independente do percurso percorrido. Os custos da transportadora, entretanto, são diretamente dependentes do percurso (rota), em função da quilometragem total e dos custos por veículo, que também variam caso a caso. Podem ocorrer diferenças de frota para frota, de empresa para empresa. O aspecto de manutenção dos veículos se torna muito importante, nesse caso, mas também gera custos.

Em princípio, busca-se a maior produtividade por meio da maior eficiência da frota.

Sejam considerados os componentes:

V_i = número de viagens necessárias (ida e volta) para transporte da carga gerada pelo veículo i

K_i = custo por quilômetro rodado pelo veículo i (R\$/km)

D_i = distância total a percorrer entre a fonte e a usina pelo veículo i (km)

R_i = carga total a transportar pelo veículo i (t)

T_i = receita por tonelada transportada (R\$/t)

O termo K_i depende diretamente das características do veículo i utilizado no transporte, o termo V_i depende indiretamente da capacidade de transporte do veículo i e ambos definem a produtividade do veículo i em relação a custos. Ambos os termos dependem da disponibilidade em cada caso e dos termos negociais em cada caso e, para efeito prático, devem ser equalizados na busca de um valor médio representativo.

O termo T_i depende da negociação do contrato estabelecido com a prefeitura, o termo R_i depende da geração de lixo pela fonte e D_i dependerá da otimização da função demanda x distância apresentada neste estudo. O termo T_i depende de cada contrato firmado, assim como os custos de mão de obra e encargos incidentes, portanto deveria ser equalizado na busca de um valor médio representativo (SANTOS, 1997).

Do ponto de vista da empresa transportadora passaria a valer a restrição:

$$\sum V_i.D_i.K_i \leq \sum R_i.T_i \quad (3.1)$$

A rigor, a diferença entre os termos $\sum(V_i.D_i.K_i)$ e $\sum(R_i.T_i)$ é decisiva na formação de lucro ou prejuízo para a atividade da empresa.

O ideal seria maximizar a função $f = \sum(R_i.T_i) - \sum(V_i.D_i.K_i)$ como consequência do grupo de fontes geradoras participantes e utilizar esse critério como restrição na minimização da função-objetivo do estudo apresentado, referente a demanda x distância.

De qualquer forma, quando se menciona redução de custos, a diferença ocorre nessa relação de termos, com base no custo Ki de cada veículo i.

Na prática, os tribunais de contas costumam considerar a faixa de 1,8 a 4,5 km/litro para o consumo de caminhões a Diesel e o valor mínimo para o cálculo.

O valor do combustível Diesel normalmente assumido para o cálculo é o maior vigente na região no período de análise.

Nos Estados Unidos, por exemplo, assume-se o valor de US\$ 0,50 por tonelada/km.

Vale lembrar que, para veículos menores, passa a ser significativo o custo referente ao pessoal envolvido na operação (motoristas, auxiliares, etc.), desproporcionalmente ao custo inerente ao veículo. Esses termos dependem de cada situação e de cada contrato firmado, que normalmente não são divulgados, portanto deveriam ser equalizados na busca de um valor médio representativo.

3.5.4 Qualidade do lixo gerado

No estudo apresentado, a função-objetivo utilizada foi simplificada no fator qualidade do lixo gerado, considerada constante para todas as fontes.

Do ponto de vista dos componentes do lixo gerado, a qualidade representa o nível de receita obtida na venda de recicláveis, água e energia gerada.

Dessa forma, um lixo que apresente maior nível energético será mais interessante no balanço econômico do equacionamento. Na prática, quanto maior a fonte geradora, mais enriquecido tende a ser o lixo gerado, o que leva a um círculo vicioso em que as maiores fontes tendem a exercer influência crescente no resultado do equacionamento do grupo.

A rigor, adotando o termo E_i como sendo o valor energético médio do lixo da fonte geradora i e considerando a diferenciação inerente às fontes do grupo, a função-objetivo seria:

$$FO = \text{Min } Z = \sum R_i \cdot E_i \cdot T_i \cdot D_i \quad (3.2)$$

Uma análise mais cuidadosa do termo E_i leva à necessidade de caracterizar bem cada termo de sua composição, levando à adoção de uma unidade comum (por exemplo, a equivalência em unidades financeiras ou percentual de participação no resultado final).

$$E_i = \sum (E_{i \text{ recicláveis}} + E_{i \text{ água}} + E_{i \text{ energia}}) \quad (3.3)$$

Na prática, considerando que a composição do lixo pode variar constantemente, essa formulação demandaria análises laboratoriais constantes e freqüentes ajustes, levando à adoção de períodos menores para efeito de cálculo de E_i e a própria FO.

3.5.5 Coordenadas de referência

No estudo apresentado as coordenadas utilizadas se referem ao sistema de paralelos e meridianos, comumente utilizado para referências geográficas, que utiliza o

paralelo 0 (Equador) como referência de latitudes e o meridiano 0 (Greenwich) como referência de longitudes.

No caso apresentado, a região estudada está localizada em meridianos oeste e paralelos sul, o que justifica as coordenadas negativas para cálculo.

A distância entre dois pontos na superfície terrestre pode ser calculada por meio de diversos métodos ou fórmulas, envolvendo diferentes enfoques de coordenadas e trigonometria, em três eixos, conforme Figura 3.4.

Devido à curvatura da Terra, as distâncias se alteram com a mudança da latitude, sendo necessário um mecanismo de compensação no cálculo.

Considerando uma latitude qualquer, por exemplo, temos que $02=13$, mas $01>23$, devido à redução de 23 conforme a latitude diminui.

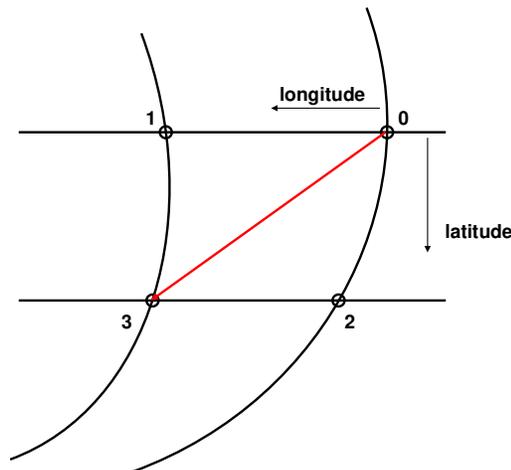


Figura 3.4 Distância entre dois pontos na superfície terrestre

A compensação simples é feita pelo cosseno do ângulo da latitude de referência, ou seja:

$$D_{01} = (\text{Long}_1 - \text{Long}_0) \cdot \cos(\varphi)_{01} \text{ (adotando a latitude de } 01 \text{ como referência)}$$

$$D_{23} = (\text{Long}_3 - \text{Long}_2) \cdot \cos(\varphi)_{23} \text{ (adotando a latitude de } 23 \text{ como referência)}$$

$$D_{\text{int}} = (\text{Long}_3 - \text{Long}_2) \cdot \cos(\varphi)_{\text{int}} \text{ (adotando a latitude intermediária como referência)}$$

Para efeito de comparação, nos três casos acima, seja:

$$D_{0i} = (\text{Long}_i - \text{Long}_0) \text{ (adotando a latitude de } 0i \text{ como referência, sem compensação).}$$

Ao deixar de considerar o efeito de compensação no cálculo da distância, tem-se uma diferença máxima de:

$$D_{01} = 0,4063\%; \quad D_{23} = 0,2052\%; \quad D_{\text{int}} = 0,4005\%$$

Para a distância 03 em milhas:

$$D_{03} = \sqrt{(\text{Long}_3 - \text{Long}_0)^2 + (\text{Lat}_3 - \text{Lat}_0)^2} \quad (3.4)$$

Para cálculo em quilômetros:

$$D_{\text{km}} = D_{03} \times 60 \times 1,852 \quad (3.5)$$

Pode-se relevar a ausência de $\cos^2(\varphi)_{\text{lat}}$ no cálculo da longitude, devido ao pequeno erro introduzido, que pode ser considerado como desprezível neste estudo.

Dessa forma, a longitude $03 = 01$ pode ser considerada como base da triangulação e $13=02$ o outro cateto. A distância 03 será a hipotenusa calculada.

Para cálculos de maior precisão, um dos métodos mais utilizados é o sistema esférico de coordenadas, um sistema de referenciamento que permite a localização de um ponto qualquer em um espaço de formato esférico através de um conjunto de três valores, chamados de coordenadas esféricas e representados no posicionamento da Figura 3.5 por (r, θ, ϕ) . As coordenadas esféricas (r, θ, ϕ) são definidas por convenção internacional como sendo relacionadas:

$$x = r \operatorname{sen}\phi \cos\theta$$

$$y = r \operatorname{sen}\phi \operatorname{sen}\theta$$

$$z = r \cos\phi$$

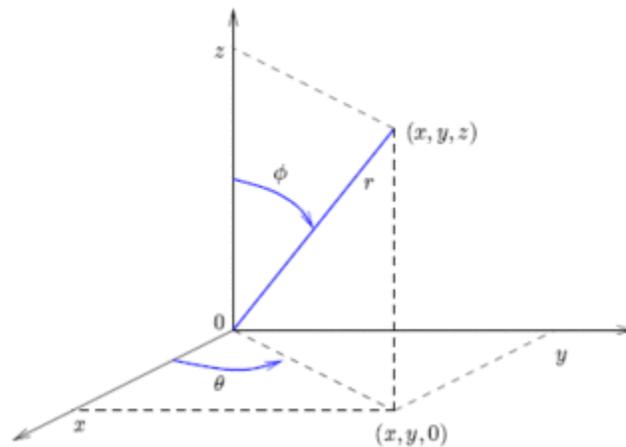


Figura 3.5 Posicionamento em três eixos

No sistema internacional, os graus de variação das três coordenadas são:

$$0 \leq r < \infty \quad 0 \leq \theta \leq \pi \quad 0 \leq \varphi < 2\pi$$

ou em intervalos:

$$r \in [0, \infty], \theta \in [0, 2\pi], \phi \in [0, \pi]$$

A coordenada radial é sempre positiva, sendo θ e ϕ expressos em radianos.

De acordo com a Figura 3.6, $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ designa a distância de cada ponto de coordenadas (x, y, z) à origem $(0,0,0)$, θ é o ângulo formado entre o semi-eixo positivo x e o vetor $(x, y, 0)$ e ϕ designa o ângulo entre o semieixo positivo z e o vetor (x, y, z) .

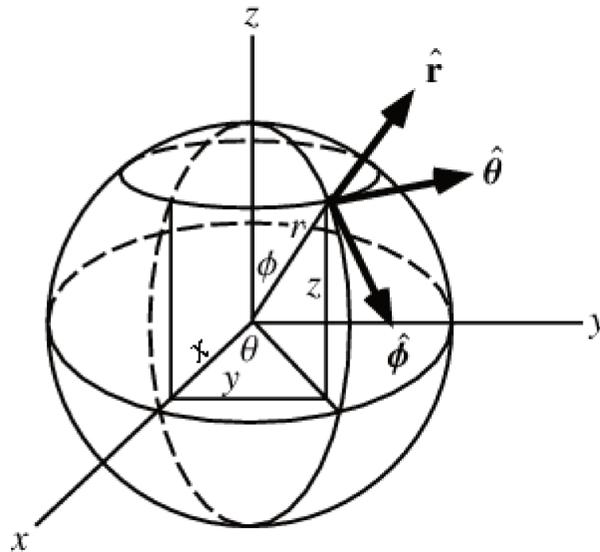


Figura 3.6 Sistema esférico de coordenadas

Outro sistema utilizado é o de coordenadas geográficas ou geodésicas, um sistema referencial de localização terrestre baseado em valores angulares expressos em graus, minutos e segundos de latitude (paralelos) e em graus, minutos e segundos

de longitude (meridianos). Os paralelos correspondem a linhas imaginárias L-O paralelas ao Equador e os meridianos a linhas imaginárias N-S, passando pelos polos, correspondentes à interseção da superfície terrestre com planos hipotéticos contendo o eixo de rotação terrestre.

Embora o sistema de projeção do sistema geodésico seja mais sofisticado que o de coordenadas esféricas, após um tratamento matemático vetorial adequado o cálculo de distância entre dois pontos pode ser feito por meio de coordenadas esféricas, que seguem o sistema anterior e se relacionam como segue:

$$x = r \operatorname{sen}\phi \cos\theta$$

$$y = r \operatorname{sen}\phi \operatorname{sen}\theta$$

$$z = r \cos\phi$$

R = raio geodésico da Terra

A distância D entre os pontos 1 e 2 é dada pela equação:

$$D = R \cdot \operatorname{arccos} \left(\frac{x_1 \cdot x_2 + y_1 \cdot y_2 + z_1 \cdot z_2}{R^2} \right) \quad (3.6)$$

A popularização dos dispositivos para a determinação rápida e precisa das coordenadas geográficas de um dado ponto sobre a superfície da Terra, baseados no “*Geographical Positioning System*” ou “*Global Positioning System*”, simplesmente GPS, tornou importante o conhecimento da expressão matemática que fornece a distância geodésica entre dois pontos, a partir de suas coordenadas geográficas.

Segundo o sistema WGS84, pode-se referenciar a latitude (ϕ) e a longitude (θ) e dois pontos genéricos definidos por suas coordenadas A ~ (ϕ_A , θ_A) e B ~ (ϕ_B , θ_B).

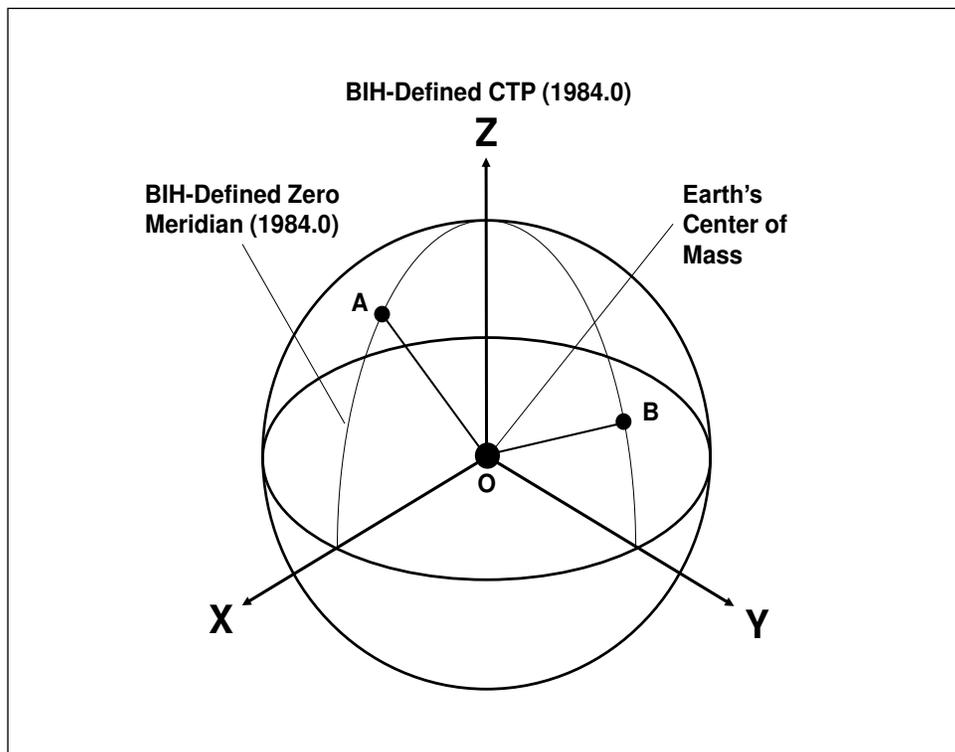
Seja o ângulo \widehat{AOB} , onde O é o centro da Terra, conforme a Figura 3.7, e este ângulo formado entre os raios que ligam o centro da Terra a cada um dos pontos A e B, dado pela expressão:

$$\gamma = \arccos(\cos\phi_A \sin\theta_A \cos\phi_B \sin\theta_B + \cos\phi_A \cos\theta_A \cos\phi_B \cos\theta_B + \sin\phi_A \sin\phi_B)$$

[radianos] (3.7)

Então, a distância entre A e B é dada por:

$$d_{AB} = \frac{20000 \cdot \gamma}{\pi} \text{ [km]} \quad (3.8)$$



Fonte: EUROCONTROL; IfEN

Figura 3.7 Sistema GPS WGS84

Segundo EUROCONTROL (1998), a precisão no sistema WGS84 em três dimensões é de $1,54\sigma$. Sendo $\sigma = 1$ m na horizontal e $\sigma = 1$ a 2 m na vertical, a precisão final será de 1,54 m na horizontal e de 1,54 a 3,08 m na vertical.

A forma de cálculo por essas equações, utilizando as funções PI() e RADIANS(GRAUS) inerentes ao software Excel, permite ainda uma precisão dos cálculos de 0,00023% contra a precisão de 0,00040% obtida na forma livre de preenchimento dos dados.

Esse sistema WGS84, com essa forma de funções, apresenta a melhor precisão e foi adotado para os cálculos.

3.5.6 Cotas de elevação

No cálculo das distâncias, por exemplo entre as fontes geradoras e a usina central, foi desprezado o fator referente às cotas de elevação das fontes.

A rigor, em três dimensões, a fórmula da distância entre dois pontos seria:

$$D_i = \sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2} \quad (3.9)$$

No estudo apresentado, o cálculo de D_i considerando somente as coordenadas $(x_i; y_i)$ em relação a D_i com as coordenadas $(x_i; y_i; z_i)$ apresentou uma diferença máxima de 0,014%. Considerando a proposta do estudo e os valores envolvidos, essa diferença

pode ser considerada como desprezível, validando o cálculo realizado somente com as coordenadas $(x_i; y_i)$.

3.5.7 Distâncias

As distâncias calculadas na solução dos equacionamentos representam valores matemáticos em função das coordenadas apresentadas e não consideram detalhes reais da topografia do local. A rigor, essa modelagem não poderia considerar esse tipo de característica, sob pena de não haver recurso informatizado para dar suporte à resolução do problema. Seria necessário utilizar referências geográficas (SIG).

Entretanto, após a apresentação de soluções, cabe a análise de detalhes como a verdadeira rota a ser percorrida e de detalhes topográficos como rios, barreiras naturais, áreas de preservação, etc. Em uma região montanhosa, por exemplo, o cálculo das soluções seria meramente teórico.

Em função dessas análises torna-se necessário novo cálculo de otimização, buscando nova solução que atenda as novas condições com minimização da função-objetivo. De certa forma, considerando que o processo de otimização leva em conta todos os parâmetros de todas as fontes envolvidas, fica implícito que esse enfoque afeta todas as distâncias calculadas e, portanto, reduz possíveis desequilíbrios.

Na prática, muitas vezes se utilizam fatores de correção para aproximar as distâncias calculadas dos percursos reais. Ainda assim, trata-se de aproximação sujeita a novos ajustes. No cálculo de projetos mais detalhados, envolvendo locais específicos para tomada de decisão da localização da unidade de processamento, deveriam ser

considerados os detalhes topográficos da região analisada, visando evitar situações de relevo imediato desfavoráveis, como as indicadas na Figura 3.8 (MOREIRA, 2005).

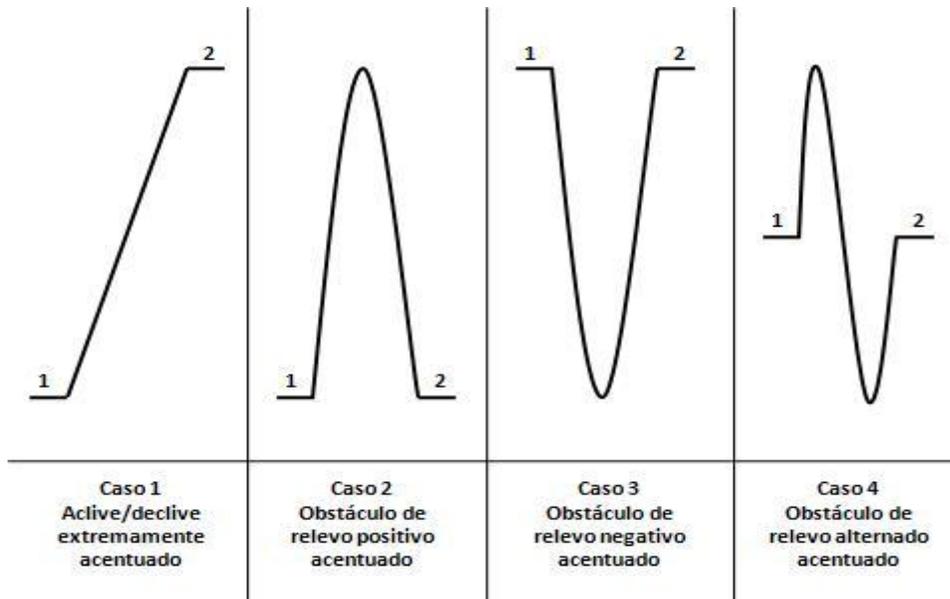


Figura 3.8 Situações desfavoráveis de relevo imediato

3.5.8 Intervalo de validade dos dados processados

Por definição, o centro ponderado de um conjunto de pontos deve pertencer ao conjunto de pontos e sua localização deverá ser interna aos pontos.

Ou seja, as coordenadas das soluções propostas para este estudo devem estar em posição interna em relação aos valores de máximo e de mínimo de longitude e latitude, conforme indica a Figura 3.9 (HEIDERICH, 2011).

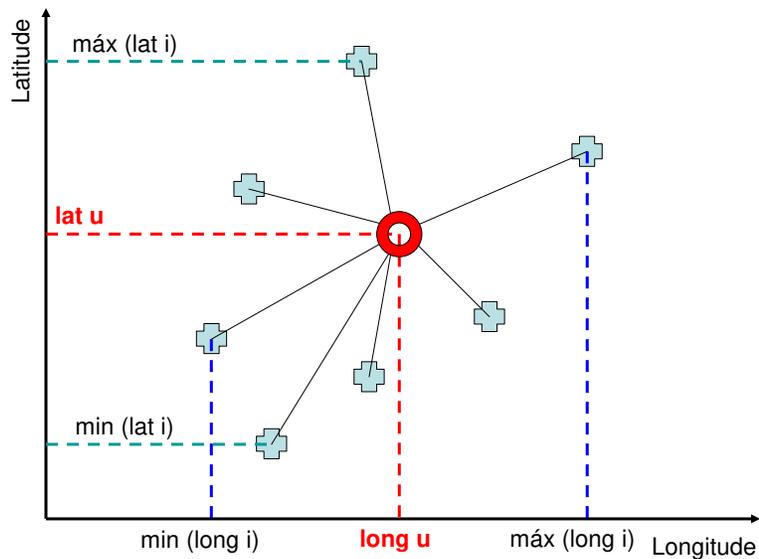


Figura 3.9 Intervalo de validade dos dados processados

O valor de longitude da solução deverá ser maior que o mínimo das longitudes das fontes geradoras e menor que seu valor máximo.

O valor de latitude da solução deverá ser maior que o valor mínimo das latitudes das fontes geradoras e menor que seu valor máximo.

Essas condições devem ser impostas como restrições ao equacionamento para resolução do problema, visando garantir que sejam consideradas para qualquer caminho matemático.

$$\text{Mín (long i)} \leq \text{Long u} \leq \text{Máx (long i)}$$

$$\text{Mín (lat i)} \leq \text{Lat u} \leq \text{Máx (lat i)}$$

Para este estudo foram adotados os municípios-limite no Estado de São Paulo, indicados na Tabela 3. 3, para efeito de intervalo de validade dos dados processados.

Tabela 3.3 Municípios-limite para intervalo de validade de dados

Referência	Limite	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Latitude	Norte	Populina	-19,943730	-50,540623	430,00
Latitude	Sul	Cananéia	-25,024352	-47,932277	6,00
Longitude	Leste	Bananal	-22,680678	-44,323661	458,00
Longitude	Oeste	Rosana	-22,571851	-53,047993	241,00

Fonte: Google Earth

3.5.9 Proximidade de linha de transmissão e conexão

A rigor, os custos decorrentes da conexão à rede de energia elétrica deveriam ser considerados no equacionamento para minimização da função custo, especialmente por aumentarem com a distância à rede. Entretanto, considerando que o cálculo de otimização pressupõe uma solução que vise o equilíbrio final dos termos de cada fonte participante, eventuais diferenças entre as fontes passam a ser compensadas no cálculo (SANTOS, 1997). Somente os custos decorrentes da proximidade e da conexão da unidade de processamento que atenda a todo o conjunto deveriam ser considerados para fins de investimento na geração de energia. Normalmente esses custos dependem do posicionamento de cada caso e não serão considerados nestes cálculos.

Além disso, fatores como o tipo de linha, o nível de tensão transmitido e o padrão de conexão adotado pela empresa distribuidora são também significativos na determinação do custo de conexão à rede, levando a grandes variações na prática.

Nesse estudo, todos os casos foram calculados na modalidade “sem conexão”.

3.5.10 Dados de zonas rural e urbana

Considerando que o lixo gerado na zona rural de um município não conta com os serviços de coleta e processamento municipal, os dados constantes das fontes consultadas foram diretamente alocados para as respectivas zonas rural e urbana. Para efeito de cálculo, somente os dados referentes à zona urbana foram levados em consideração, pois somente essa parcela contribui efetivamente com o volume de resíduos utilizados na coleta, no processamento e na geração de energia elétrica.

3.5.11 Custos logísticos de coleta

Segundo BRASIL (2006) – Manual de Saneamento, os custos logísticos da coleta de lixo na área urbana do município podem ser calculados em função de parâmetros de cada município referentes a configuração do município, cadastro imobiliário da prefeitura ou do inquérito sanitário, planialtimetria, localização de regiões e ruas comerciais e industriais, tipos de pavimentação, localização de polos de

concentração de certas atividades (ensino, saúde, transporte, etc.), sentido de tráfego de avenidas e ruas, disponibilidade de veículos da frota e respectivas capacidades.

Para frotas de cidades de pequeno e médio porte vale a expressão:

$$N_f = (L_c \times F_r) / (C_v \times N_v) \quad (3.10)$$

onde

- N_f = quantidade de veículos;
- L_c = quantidade de resíduos a ser coletada, em t ou m^3 ;
- F_r = fator de frequência, dado pela expressão (número de dias de produção de resíduos por semana / número de dias efetivamente coletados);
- C_v = capacidade do veículo em t ou m^3 , considerando-se 80% da capacidade nominal;
- N_v = número de viagens por dia, limitado a três.

Segundo IPT (2000), para o dimensionamento de frotas de cidades de grande porte vale a expressão:

$$N_s = (1/J) \times [(L/V_c) + 2 \times (D_g/V_t) + 2 \times (D_d/V_t) \times (Q/C)] \quad (3.11)$$

onde

- N_s = frota necessária a cada setor;
- J = duração útil da jornada de trabalho da equipe (em número de horas, desde a saída da garagem até o seu retorno, excluindo intervalo para refeições e outros tempos improdutivos);
- L = extensão total das vias (ruas e avenidas) do setor de coleta, em km;
- V_c = velocidade média de coleta, em km/h;
- D_g = distância entre a garagem e o setor de coleta, em km;
- V_t = velocidade média do veículo nos percursos de posicionamento e de transferência, em km;
- D_d = distância entre o setor de coleta e o ponto de descarga, em km;
- Q = quantidade total de resíduos a ser coletada no setor, em t ou m^3 ;
- C = capacidade dos veículos de coleta, em t ou m^3 (em geral adota-se um valor que corresponde a 70% da capacidade nominal, considerando-se a variabilidade da quantidade de resíduos coletados a cada dia).

Deve-se buscar a otimização do itinerário de coleta, ou seja, o percurso que um veículo de coleta deve percorrer em um mesmo setor, em um mesmo período, transportando o máximo de lixo por um mínimo de percurso improdutivo (no qual não é realizada qualquer coleta), com o menor desgaste possível para o veículo e a equipe.

O projeto da coleta de lixo é um processo dinâmico e deve ser alterado caso haja alteração de qualquer das variáveis envolvidas, incluindo-se aqui a pavimentação de novas ruas ou avenidas do setor, a mudança na geração do volume a ser coletado, a mudança no sentido de tráfego das vias e a mudança do tipo/capacidade do veículo (HEIDERICH, 2011).

Segundo BRASIL (2006) – Manual de Saneamento, podem ser aplicados os Índices de Produtividade Média para coleta de 16m³ por três garis em quatro horas (4,30 a 6,8 casa/gari/minuto); velocidade média de coleta de 6,5 km/h; descarga de caminhão basculante em cinco minutos e de caminhão sem basculante, com três garis, em 15 a 20 minutos; custos de coleta de lixo de 15 a 45 US\$/t e custos de transporte a aterros de 6 a 20 US\$/t.

A partir das variáveis envolvidas e do dimensionamento das frotas é possível aplicar os valores de custos relacionados com as atividades e determinar as condições otimizadas (menor custo logístico total) em que a coleta deve ser realizada. No presente estudo essa consideração foi especialmente útil nos grandes municípios e na capital.

A Cidade de São Paulo demandou estudos adicionais devido ao porte de geração de RSU da cidade como um todo, que ocorre de forma concentrada na cidade de São Paulo, centro da região administrativa, e de forma distribuída nos demais municípios da região.

O problema central para a análise da Cidade de São Paulo é caracterizado por conurbação contínua e orgânica de áreas pertencentes a diversos bairros e municípios contíguos, praticamente desprezando fronteiras, e por forte concentração da população, gerando contínuo desenvolvimento de um complexo sistema de polos de concentração de atividades.

A forte conurbação e a falta de dados representativos dos bairros constituintes da Cidade de São Paulo levaram à consideração de uma densidade homogênea de

geração de RSU em todo o seu território, para efeito de cálculo de distribuição e formação de agrupamentos. Nessa configuração os custos logísticos de transporte para as usinas de processamento praticamente se confundem com os custos logísticos de coleta.

A realidade da geração de PIB por bairros não é conhecida e não seria prudente estimar ou distribuir valores nas análises, pois nesse caso a relação entre as curvas estaria diretamente dependente das taxas de geração de RSU *per capita* e das taxas de geração de PIB *per capita*, que praticamente estariam dependentes do valor atribuído à população e conhecido e estimado para diversos períodos (IBGE, 2008b). A razão entre os dois fatores seria, portanto, uma constante, e a análise perderia seu sentido (DE LEO, 2006).

Um dos fatores de restrição para a análise foi considerar a região central como imprópria para processamento do RSU gerado. A concentração urbana na área central é muito alta e a sua disponibilidade de áreas livres para instalação de usinas é quase nula, o que leva a considerar que todo o lixo gerado seja processado em outra região adjacente. As análises indicaram que a melhor solução seria a Região Norte.

Com essa base de dados, buscou-se a formação de agrupamentos que pudessem ser associados a portes de usina disponíveis e que indicassem um início de configuração. Nesse processo, as análises convergiram para resultados que não mantiveram a configuração inicial de diversos bairros em suas regiões originais.

Foi necessário sugerir a alteração de região de 27 bairros, na formação de agrupamentos, para obter conjuntos consistentes que permitissem enquadramento adequado nos portes de usina disponíveis ao estudo.

Com base na geração de RSU e no novo escalonamento dos bairros nas regiões, os cálculos de otimização indicaram que seria possível formar agrupamentos ideais a partir das regiões originais, mas com as devidas inclusões/exclusões de bairros.

Não foi considerada a possibilidade de interação das regiões com as outras da RMSP que lhes são adjacentes, devido ao critério anterior de manter as regiões administrativas da cidade e da RMSP como unidades.

A localização das usinas poderia ser determinada por cálculos mais precisos, levando em conta as coordenadas de cada bairro e os respectivos dados logísticos de movimentação e valores, buscando a otimização do custo total resultante.

Infelizmente os dados não estão disponíveis e esse cálculo não pode ser realizado nesse estudo, que representa uma primeira aproximação para o ano de 2005.

Há necessidade de se calcular ou estimar melhores valores para os períodos de 2010 a 2020 para detectar eventuais mudanças nas posições recomendadas para as usinas nesse período futuro.

3.6 Comentários

No desenvolvimento deste estudo foi possível entender as razões pelas quais os instrumentos de programação para otimização representam uma metodologia matemática robusta para dar suporte ao processo de tomada de decisões, em especial para os problemas que envolvem minimização de custos associados a variáveis como distâncias, capacidades, portes de processamento e valores interrelacionados.

Através dos cálculos foi possível evidenciar a aplicação direta da metodologia de programação não linear para avaliar cada caso real de estudo, com a determinação de:

- viabilidade de atendimento aos requisitos de investimento em relação às capacidades de processamento exigidas,
- viabilidade de alternativas para agrupamento;
- viabilidade de localização de uma ou diversas usinas que pudessem dar atendimento ao fluxo diário de geração de lixo de um conjunto de fontes geradoras na região analisada;
- viabilidade do nível de custos resultantes para as usinas em relação à capacidade de processamento necessária.

Foram levantados dados reais e estabelecidos critérios para o equacionamento direto das variáveis envolvidas com localização e demandas (geração de lixo).

A análise dos mesmos com o apoio da planilha Excel, acrescida do recurso Solver Premium, como um sistema informatizado para facilitar o processo de resolução e tomada de decisões, demonstrou a segurança e a facilidade de se poder contar com esse tipo de suporte.

Foi possível chegar a conclusões imediatas a respeito das soluções apontadas como pontos de localização das usinas centrais dos diversos grupos propostos e, da mesma forma, após interpretação geográfica dos dados, à necessidade de ajustes ao processo, por motivos inerentes à própria disponibilidade de áreas livres e adequadas à implementação das instalações com a finalidade prevista.

Foi possível também verificar a convergência do processo de cálculo para obtenção de soluções otimizadas de menor distância em função das demandas e das projeções ao longo do período de tempo de análise.

É necessário esclarecer, entretanto, que o processo macro demonstrado nesse estudo é parte inicial e abrangente de um conjunto maior de estudos detalhados, típicos e necessários para a tomada de decisão de localização de unidades de processamento, em que outras considerações micro precisam ser feitas e outras variáveis devem ser consideradas para a otimização de cada situação de desempenho e viabilidade.

Da mesma forma, recomenda-se nessa fase posterior do projeto a utilização de aplicativos georeferenciados.

4. Energia e resíduos sólidos

4.1 Energia

O ser humano é uma entidade orgânica dependente de energia. Para sua sobrevivência física, o ser humano precisa de energia para manter seu corpo aquecido a uma determinada temperatura média. Respeitadas as faixas de tolerância para mais e para menos, acima ou abaixo dessa temperatura o ser humano pode morrer por hipertermia ou hipotermia. Para sua mobilidade o ser humano também necessita de energia, fornecendo aos seus músculos o combustível a ser consumido em troca dos movimentos. Devido à sua composição orgânica, necessita também de água, de forma quase diária e constante, para manter seu corpo funcionando.

Do ponto de vista orgânico, o Sol tem fornecido energia para manter o corpo na temperatura adequada, sendo substituído pelo fogo em sua ausência ou insuficiência. E a humanidade logo aprendeu que a fonte de energia era o material a ser queimado, e não o fogo em si. Os alimentos têm fornecido a energia necessária aos movimentos e ao aquecimento interno. A água potável tem garantido a sobrevivência da espécie até agora. O problema humano passou a ser a disponibilidade de materiais e alimentos.

Em sua evolução, o ser humano criou outras necessidades para sua vida e elas levaram a novas e maiores necessidades de energia. Enquanto essas necessidades se resumiam a formas de acionamento de dispositivos de mobilidade ou movimentação, como carroças, guas, armas de maior porte, barcos, moinhos, a força era provida por seres humanos que necessitavam de alimentos como fonte de energia (combustível).

Na busca de maior capacidade de acionamento e menor esforço próprio, animais foram utilizados como elementos de tração (cavalos, bois, elefantes) mas, na forma de seres orgânicos, também necessitavam de alimentos e energia para sua própria sobrevivência e garantia de mobilidade, que era fornecida ao ser humano. Em terra, o acionamento dependia dos alimentos...

Desde esses primórdios de existência até hoje, o cenário mudou radicalmente nas formas, mas não na essência. O ser humano continua necessitando de alimentos e energia para sua sobrevivência física, mas criou uma variada quantidade de formas de necessidades de energia para o restante de sua vida. A forma como a humanidade vive hoje determina os tipos e quantidades de energia necessários ao atendimento de suas necessidades de consumo e mobilidade.

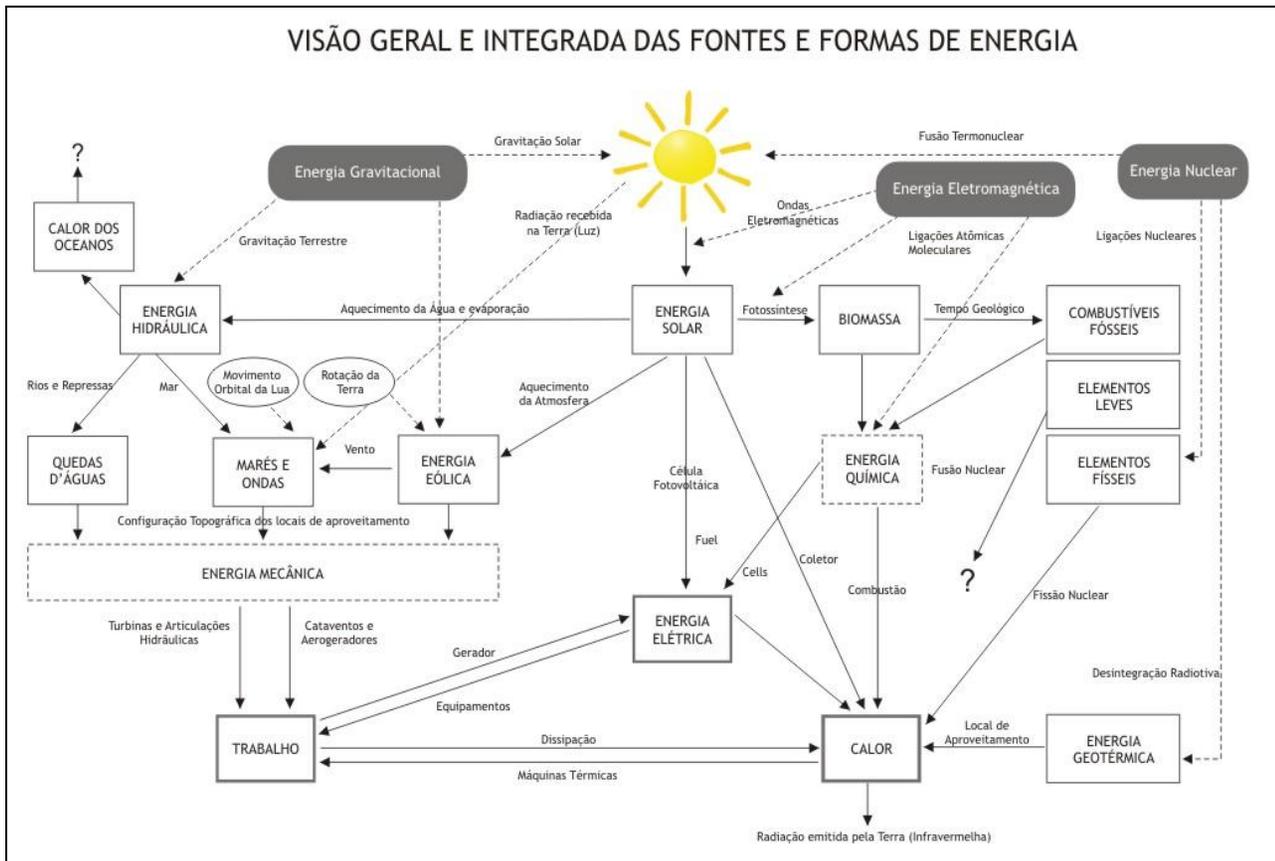
Velas foram incorporadas aos barcos para substituir o esforço humano nos remos, fluxos de água foram utilizados para substituir o esforço humano em moinhos e outros tipos de instalações de processamento, outros tipos de energia disponível foram utilizados, mas em geral dependiam de sua disponibilidade na natureza. São famosos na História os casos de “calmaria”, em que a falta de ventos deixava os navios parados em alto mar por períodos críticos, colocando em risco a vida dos tripulantes. Períodos longos de seca ou mudança radical dos regimes hídricos também se tornaram clássicos motivos de grandes mudanças sociais, gerando grandes mobilizações de povos. A dependência da queima da madeira praticamente destruiu as florestas da Europa. Em função disso, a humanidade sempre buscou fontes de energia que ela pudesse disponibilizar e controlar à sua vontade, para uso conforme sua necessidade, no tempo e pelo tempo que desejasse. A energia fornecida pelas máquinas a vapor iniciou a Revolução Industrial e mudou o mundo. O uso da energia elétrica causou a multiplicação e a polivalência de formas de acionamento no mundo todo. O motor a combustão eliminou as fronteiras da mobilidade. A energia nuclear permitiu vislumbrar poderes antes nunca sonhados. Mas, de que forma e por quanto tempo?

4.1.1 Matrizes energéticas

Segundo PINTO JR. (2007), a energia hoje é um elemento essencial para a organização econômica e social de todos os países. As diferentes formas de produção e consumo de energia têm uma série significativa de impactos sobre o desenvolvimento econômico e social dos países, além do meio ambiente. A energia ocupa um papel de forte destaque no processo de definição das estratégias empresariais e na agenda de políticas e diretrizes governamentais. Atualmente, não há desenvolvimento econômico e social sem suprimento de energia. Em diversos países de governo forte a logística energética suficiente à demanda popular é utilizada como elemento de pacificação interna, para evitar protestos da população e movimentos sociais e políticos.

Conforme GOLDEMBERG (2003), a energia pode se apresentar de diversas formas, como química, nuclear, térmica, mecânica, elétrica, magnética, elástica e de radiação. Uma característica essencial da energia é sua capacidade de conversão. Uma forma de energia pode eventualmente ser convertida em outra, de forma a se adequar a uma utilização desejada. Outra característica é que todos os processos de conversão energética são regidos pelas leis fundamentais da Conservação da Energia (Primeira Lei da Termodinâmica e Segunda Lei da Termodinâmica).

Segundo GOLDEMBERG (2003), a energia original utilizada pelo ser humano tem origem em quatro fontes distintas: radiante (emitida pelo Sol), das marés, geotérmica (do interior da Terra), e nuclear, com pequena contribuição de outras fontes renováveis (eólica, solar, geotérmica, hidrelétricas e biomassa), além das fósseis (petróleo, gás e carvão), consideradas como biomassa sob atuação dos efeitos do tempo geológico. A Figura 4.1 ilustra uma visão geral do relacionamento das fontes e formas de energia de forma integrada.



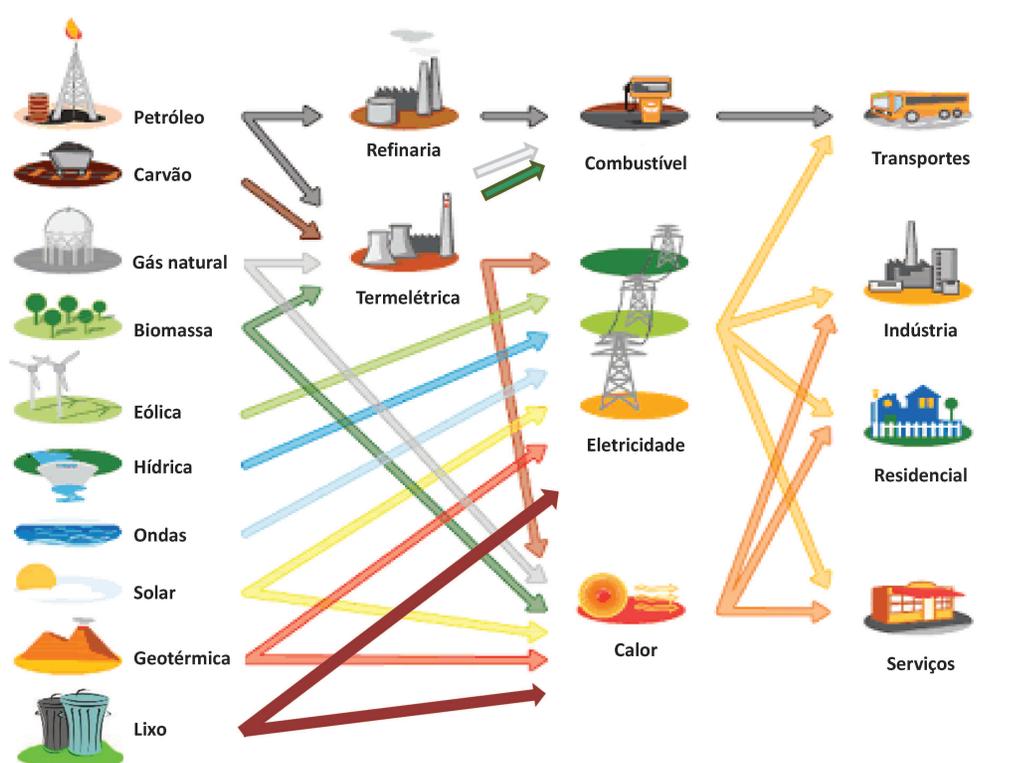
Fonte: ASPE.ES

Figura 4.1 Relacionamento das fontes e formas de energia

Na outra ponta, a de demanda, as principais destinações da energia gerada são a geração de combustíveis, de eletricidade e de calor. Cada tipo se subdivide principalmente em transportes (para combustível e eletricidade), indústria (para eletricidade e calor), comercial (para eletricidade e calor) e residencial (para eletricidade e calor). Eventualmente a indústria pode ser ligada a combustíveis, na forma de queima de óleo em caldeiras ou similares, mas essa demanda foi substituída por outras fontes. Da mesma forma, o aquecimento residencial em países frios, por meio de queima de óleo, tem sido substituído por outras fontes mais baratas e viáveis tecnicamente.

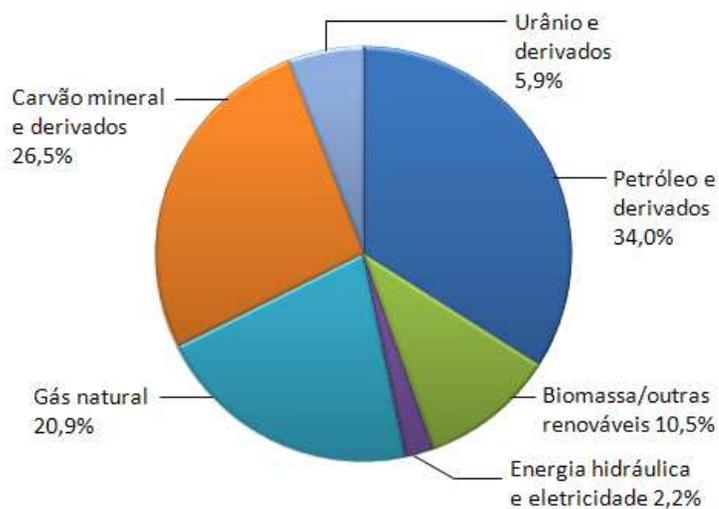
A Figura 4.2 ilustra a relação entre as pontas de oferta e demanda de energia. A fonte “lixo”, tradicionalmente incluída em biomassa, foi destacada por se tratar do principal assunto discutido nesta tese, como material a ser processado de forma completa.

Do ponto de vista do MME (2011), as pontas de demanda são os setores de transportes, industrial, residencial, energético, agropecuário, comercial e público. As Figuras 4.3 a 4.6 ilustram as situações de oferta de energia em termos mundiais, na OCDE, no Brasil e no Estado de São Paulo, para efeito comparativo das matrizes de energia conforme os contextos geográficos e políticos.



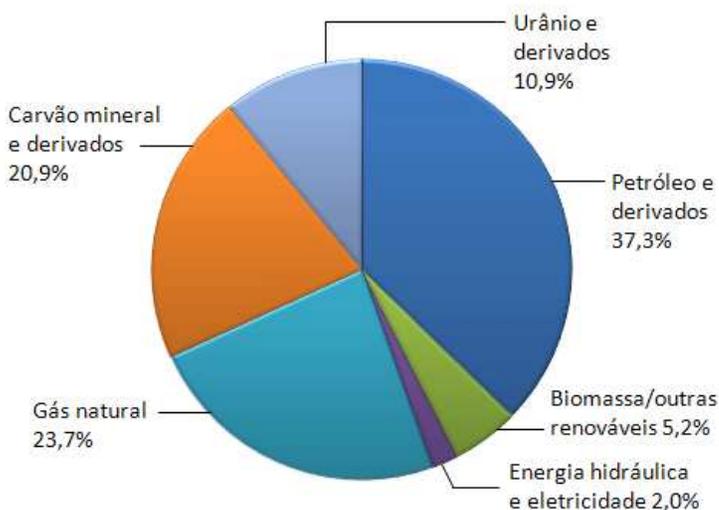
Fonte: Adaptado de Portal-Energia

Figura 4.2 Fontes de oferta de energia e tipos de demanda



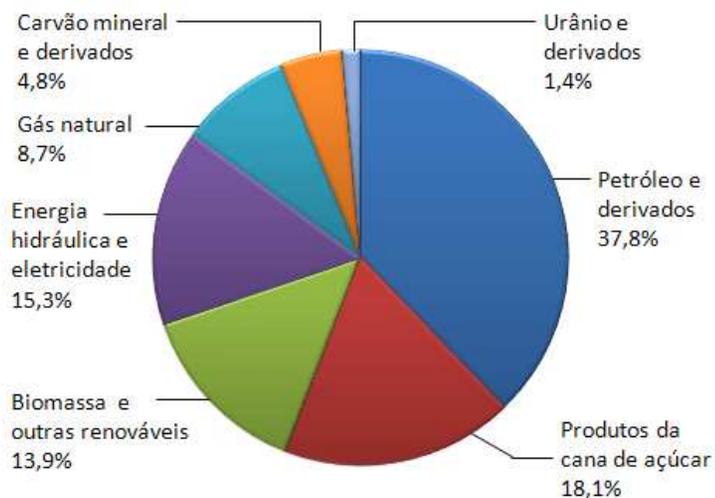
Fonte: MME (2011)

Figura 4.3 Oferta mundial de energia 2007



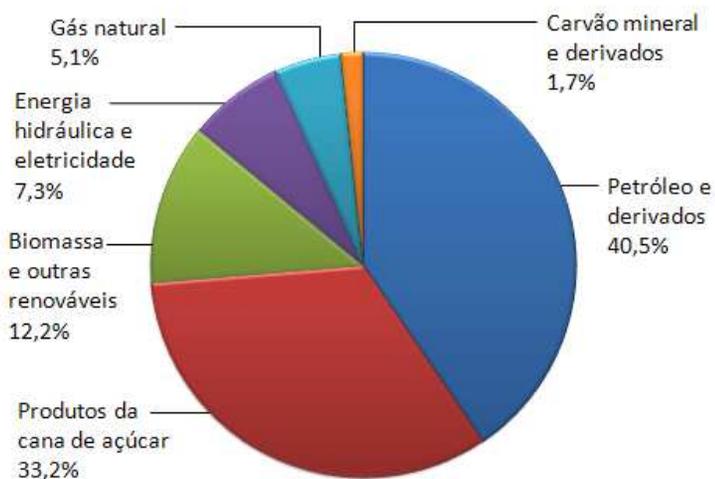
Fonte: MME (2011)

Figura 4.4 Oferta de energia OCDE 2008



Fonte: MME (2011)

Figura 4.5 Oferta de energia Brasil 2008



Fonte: SEESP (2009)

Figura 4.6 Oferta de energia Estado de São Paulo 2008

4.1.2 A dependência do petróleo e combustíveis fósseis

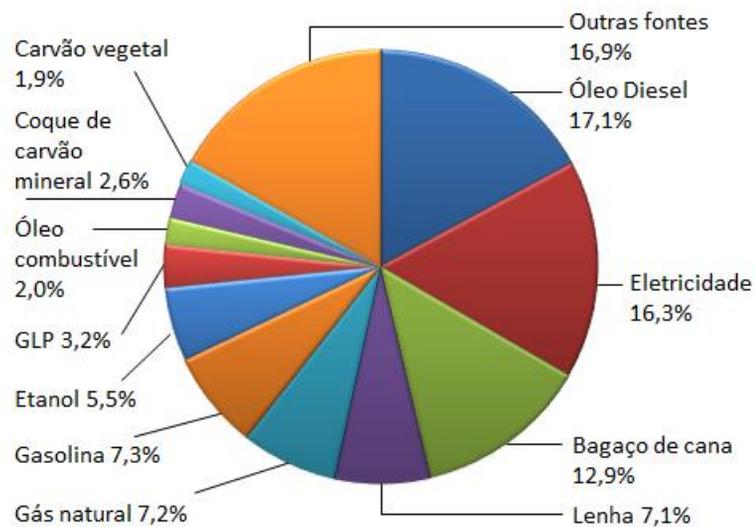
Nas diferentes matrizes das Figuras 4.3 a 4.6 pode-se observar que a maior fonte de energia ainda é constituída pelo petróleo e seus derivados. No conjunto, os combustíveis fósseis (petróleo, gás e carvão) têm a maior participação, conforme a Tabela 4.1. O Brasil, e mais especificamente São Paulo, apresentam menores taxas de participação dos combustíveis fósseis, devido principalmente ao alto percentual dos produtos de cana de açúcar, na forma do etanol como combustível automotivo. Ele é utilizado como combustível para os motores *flex*, como aditivo à gasolina, e a tendência futura é que substitua progressivamente os combustíveis para motores a combustão interna e turbinas a jato.

Tabela 4.1 Os combustíveis fósseis como fontes de energia (2010)

Matriz	Mundial	OCDE	Brasil	São Paulo
Combustíveis fósseis	81,4%	81,9 %	51,3 %	47,3 %
Outros combustíveis	18,6 %	18,1 %	48,7 %	52,7 %

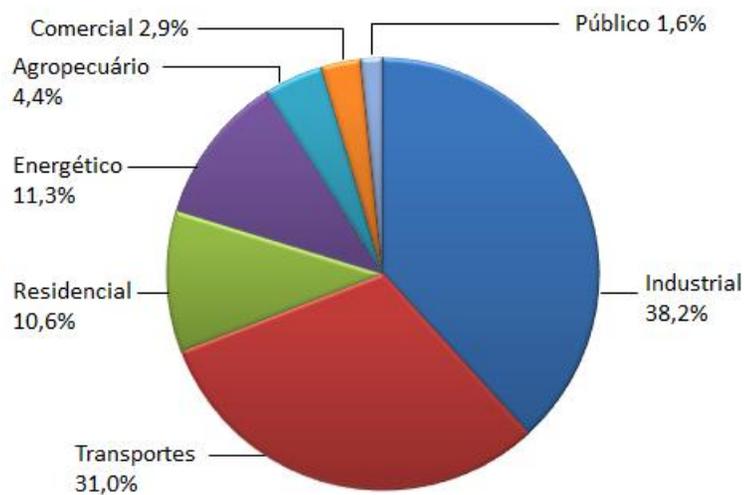
Fonte: BEN 2010

Neste cenário, conforme BRASIL (2011) no Balanço Energético Nacional 2010, os principais setores de consumo de energia estão ilustrados nas Figuras 4.7 e 4.8.



Fonte: MME (2011)

Figura 4.7 Consumo final energético por fonte Brasil 2010



Fonte: MME (2011)

Figura 4.8 Consumo final energético por setor Brasil 2010

Verifica-se ainda, em todos os casos, a forte participação dos combustíveis fósseis na oferta e no consumo de energia no Brasil, embora a matriz nacional tenha significativas vantagens em relação à matriz mundial e de OCDE, sendo hoje mais limpa e contando com a significativa participação do etanol nesse aspecto.

Segundo PINTO JR. (2007), dois grupos de fatores contribuem para a mudança do rumo da política energética de forma global a partir de 2005. Um é a percepção crescente dos impactos perversos da queima de combustíveis fósseis sobre o meio ambiente, gerando o efeito estufa e as mudanças climáticas, cujas consequências já começam a se manifestar de modo global sobre todos os aspectos de vida. O outro é composto por instabilidades políticas e sociais no contexto das reservas de petróleo da OPEP, alocando em primeiro plano o tema da segurança do abastecimento energético.

Como consequência direta, uma série de ações locais, regionais e mundiais pode ser identificada na busca de dois objetivos principais: a diversificação das fontes de suprimento de petróleo e a ampliação da participação de fontes renováveis e mais limpas na matriz energética. Também ganham importância crescente a busca de novas tecnologias, o aumento da eficiência energética, a redução/eliminação de perdas e desperdícios, e o tratamento conjunto do trinômio tecnologia-energia-meio ambiente.

De modo geral, os desafios atuais e futuros podem ser sintetizados em: a) fatores ambientais (resposta ao aquecimento global); b) fatores ligados à garantia e segurança do abastecimento energético; c) fatores relacionados à perspectiva do esgotamento do petróleo (PINTO JR., 2007). Enquanto isso, a população mundial cresce, aumenta o consumo *per capita* e cresce a demanda por energia.

Conforme GOLDEMBERG (2003), como resultado dessas mudanças, novos tipos de problemas e áreas de interesse no campo ambiental se tornaram objeto de estudo e de muita preocupação, como ilustrado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Impactos ambientais

Efeito	Problema	Principal causa
Local	Poluição urbana do ar.	Uso dos combustíveis fósseis para transporte.
	Poluição do ar em ambientes fechados.	Uso de combustíveis sólidos (biomassa e carvão) para aquecimento e cocção.
Regional	Chuva ácida.	Emissões de enxofre e nitrogênio, matéria particulada e ozônio na queima de combustíveis fósseis, principalmente no transporte.
Global	Efeito estufa.	Emissões de CO ₂ na queima de combustíveis fósseis.
	Desmatamento.	Produção de lenha e carvão vegetal e expansão da fronteira agrícola.
	Degradação costeira e marinha.	Transporte de combustíveis fósseis.

Fonte: GOLDEMBERG (2003)

Em tempos recentes, esses impactos se tornaram comparáveis aos causados por efeitos naturais, sobre os quais o ser humano não tem qualquer tipo de controle, e o que os caracteriza é o fato de ocorrerem num curto período de tempo (décadas). Para GOLDEMBERG (2003), a pergunta “porque esses problemas são tão importantes hoje e não o eram há 100 anos?” tem uma resposta simples: há um século, a população mundial era de 1,5 bilhão e o consumo anual de recursos minerais era menor que duas toneladas *per capita*. Hoje a população passou de seis bilhões de pessoas e cada uma consome em média oito toneladas de recursos minerais por ano (total de 48 bilhões de

toneladas). O impacto total hoje é 16 vezes maior e isso corresponde a forças de proporções geológicas, considerando-se que as forças naturais movimentam cerca de 50 bilhões de toneladas de material por ano. Os problemas têm várias causas, além das mudanças de padrões de consumo, mas a forma como a energia é produzida e utilizada, com combustíveis fósseis, está na raiz de muitas dessas causas.

4.1.3 Soluções possíveis

Uma vez conhecidos os problemas gerados ao meio ambiente e ao ser humano pela utilização de combustíveis fósseis e, por outro lado, reconhecida a extrema dependência que ainda se tem deles, os desafios são grandes e urgentes para a inserção crescente de fontes alternativas de energia que possam substituí-los. Nesse conjunto de opções a melhor solução parece ser a diversificação, por meio de seleção e implantação das fontes que melhor sirvam aos propósitos desejados em determinado contexto sócio-econômico e político local/regional. De forma progressiva, os efeitos de complementaridade e multiplicação das diversas fontes poderão levar a resultados positivos no processo de redução das emissões de carbono e gases de efeito estufa, na busca de metas consistentes de reversão do aquecimento global. Deve-se destacar que esse processo está limitado às variáveis sobre as quais o ser humano pode exercer influência e/ou controle, pois há forças da natureza que estão absolutamente fora de sua esfera de atuação ou mesmo alcance.

Considera-se que as principais fontes de poluição são:

- Produção de eletricidade
- Transporte

- Indústria
- Construções
- Desmatamento

Segundo GOLDEMBERG (2003), há muitas possibilidades de contribuir para a resolução dos problemas causados por essas fontes. A primeira é a remoção das causas. Considerando o porte do problema, isso é difícil, mas não é impossível, e deve ser feito de forma progressiva, consistente e persistente. Outro rumo seria a melhoria da eficiência energética, considerando melhores análises e ações entre os potenciais teórico, técnico, de mercado, econômico e social, na busca da otimização do resultado final.

A eficiência energética, como componente da eficiência econômica, deve buscar a minimização das emissões poluentes e a melhor forma de produção e uso de energia. Isso envolveria diretamente:

- a) melhoria da eficiência de geração com combustíveis fósseis;
- b) substituição de combustíveis mais poluentes por outros, menos poluentes;
- c) inserção e aumento de fontes renováveis.

Conforme GOLDEMBERG (2003), na área de transportes os caminhos seriam a busca de melhor eficiência dos motores, por meio das eficiências térmica e mecânica, e a introdução de combustíveis alternativos, menos poluentes, como etanol, hidrogênio e

eletricidade. Recomendam-se também urgentes medidas de racionalização em *design* e tamanho dos veículos, além da conscientização popular sobre mudança de hábitos no uso de veículos. O compartilhamento de veículos (carona entre colegas), o melhor planejamento dos deslocamentos e o aumento do índice de ocupação do transporte público deveriam ser foco constante de educação popular pela mídia.

A correta contrapartida do poder público aqui é exigida na forma de bons, práticos e precisos planejamentos e implementações de formas de transporte público, para substituir a contento os veículos que os usuários seriam incentivados a não usar e deixar em casa.

Os planejamentos urbano e de trânsito também deveriam ser objeto de fortes enfoques sistêmicos e de ações mais consistentes e rápidas, com sistemas mais automatizados para melhoria dos fluxos de veículos, redução dos congestionamentos, inspeções veiculares anuais e obrigatórias para evitar mau funcionamento e acidentes com veículos em más condições de funcionamento, limites de velocidade adequados às avenidas e rodovias, manutenção adequada e constante das condições das vias.

No setor industrial, a diversificação recomenda a adequação a cada caso, mas os objetivos básicos devem ser perseguidos sem hesitação. Gestores comprometidos, eliminação de desperdícios, controle de processos, manufaturas enxutas, substituição de processos, máquinas, equipamentos e materiais, conservação e uso eficiente da energia, formas de compensações energéticas, produtos projetados em função de ciclo de vida útil e sustentabilidade, são algumas das formas pelas quais significativas melhorias podem ser alcançadas. Nesse setor, a criatividade não tem limites...

Nas construções, desde o projeto sustentável e poupador de energia até os últimos detalhes de construção, com redução das enormes perdas de tempo e materiais que são características nacionais, além da correta manutenção, há inúmeras formas de alcançar reduções no consumo de energia final. Novamente, a criatividade...

O desmatamento passa por inúmeros enfoques, com destaque para uma política governamental clara, ordenamento jurídico adequado, fiscalização constante e correta, cumprimento da legislação, aumento de produtividade agropecuária, ocupação agrícola e infraestrutura adequada aos fins propostos. A falta de sintonia constante entre esses diversos enfoques, associada a interesses econômicos imediatistas, não tem ajudado na realização das boas intenções manifestadas nos discursos. Medidas simples e imediatas, como reflorestamento, incentivo a populações pobres para substituição de lenha por fogões a gás, novas práticas de gestão florestal, práticas agroflorestais e preservação das florestas teriam impactos significativos e rápidos.

Dentre as inúmeras opções possíveis, duas se destacam sempre:

- a) mudança de formas de geração e consumo;
- b) inserção e aumento da participação de fontes renováveis de energia.

Em ambos os casos, os esforços devem ser adotados em todos os níveis de decisão e execução, para que haja consistência nas ações e sucesso nos resultados, sem descuidar do abrangente envolvimento dos consumidores.

4.1.4 Energia renovável

Segundo BRASIL (2003) e GOLDEMBERG (2003), há uma ampla variedade de potenciais tecnologias a partir de várias fontes de energia renováveis disponíveis, principalmente para a geração de energia elétrica, que podem ser sintetizadas na

Tabela 4.3. A viabilização dessas tecnologias passa por mais detalhamentos, estudos e experimentos mais aprofundados, com inovações ao longo de períodos de tempo diferenciados, resultando em inúmeros processos diferentes, na busca daqueles que possam ser implementados em maior escala e que atendam aos requisitos técnicos, econômicos, sociais e políticos para a substituição das fontes não renováveis.

Tabela 4.3 Tecnologias de energia renovável

Fonte	Tecnologia	Fonte	Tecnologia
Ar (vento)	Em terra firma	Oceânica	Marés
	No mar		Corrente de maré
Biomassa	Rejeitos agrícolas		Ondas costeiras
	“Fazendas” energéticas		Ondas do mar
	Lixo urbano		Térmica oceânica
	Biogás	Gradiente de salinidade	
Geotérmica	Hidrotérmica	Solar	Termoelétrica solar
	Geopressurizada		Térmica solar
	Rochas secas quentes		Arquitetura solar
	Magma		Fotovoltaica
Hidrelétrica	Pequena escala		Fotoquímica
	Grande escala		Termoquímica

A energia eólica é a energia gerada através da força dos ventos, captados por aerogeradores, que têm a vantagem de poder ser instalados em terra firme ou em regiões de águas costeiras ou de lagos. Em regiões de ventos abundantes ou intensos, eles podem constituir parques eólicos e produzir energia a preços relativamente competitivos. É fonte inesgotável, não necessita de combustível, não gera resíduos nem emite gases poluentes. Demanda pouca manutenção, mas periódica. Pode gerar investimentos em áreas desfavorecidas e empregos em cadeia. Por outro lado, causa considerável impacto visual e moderado impacto sonoro. O fornecimento de energia pode não ser regular ou constante, dependendo da intermitência dos ventos, o que dificulta sua previsão de geração e sua integração à rede. Para melhor planejamento, necessita de séries históricas maiores de intensidade e sentido de atuação.

A biomassa representa fonte de energia em pequena escala (caso de rejeitos agrícolas ou florestais), média escala (caso de biogás) e grande escala (casos de lixo urbano e biocombustíveis – etanol). Com base em agricultura, demandam espaço cultivável e estão sujeitos aos regimes de safra e colheita, além do esgotamento do solo e disponibilidade de terra. O fornecimento pode ser intermitente, conforme o caso, exceto pelo lixo urbano.

Algumas tecnologias já estão maduras e outras ainda em desenvolvimento. Podem demandar custos elevados de investimentos e infraestrutura adequada e, eventualmente, causar impactos diversos no meio ambiente. Emissões devem ser evitadas/controladas. O lixo urbano (RSU) representa o material de estudo deste trabalho e terá abordagem separada nas seções 4.2 a 4.4.

A energia geotérmica é a energia obtida a partir do calor proveniente da Terra, mais especificamente do seu interior. O sistema funciona graças à capacidade natural da Terra e/ou da sua água subterrânea em reter calor. As centrais geotérmicas dependem da disponibilidade local do calor, não dependem de outros combustíveis, não geram resíduos, não emitem gases poluentes, não afetam o solo e podem ter projeto modular para expansão conforme demanda. É o tipo de energia limpa, regular e

constante, de caráter local para investimento e geração, com boas características para implantação em regiões em desenvolvimento ou remotas. Tem custos elevados de investimento da central, manutenção barata para o equipamento e cara para eventuais tubulações externas (problemas de corrosão).

A energia gerada por hidrelétricas é barata, limpa, eficiente e pouco poluente. Depende da disponibilidade de fluxos de água e das características adequadas à construção da barragem. O fornecimento de energia é sensível ao regime de disponibilidade de água e à ocorrência de secas. Tem custos altos de investimento e demanda manutenção periódica, mas apresenta boa rentabilidade. Pode gerar impactos ambientais e sociais na formação do reservatório. Conforme o porte da usina pode haver necessidade de linhas especiais para transmissão e conexão à rede. O Brasil tem longa e vasta experiência na construção de usinas dos mais variados portes e a energia gerada por hidrelétricas tem significativa participação na matriz energética nacional.

A energia de ondas e marés é obtida a partir da movimentação e da força da água e poderá ser uma das melhores formas de se obter energia limpa. Depende da disponibilidade de contato com o mar e do regime de oscilação das águas. As marés têm constância, previsibilidade e alta confiabilidade de ocorrência. Representam uma fonte inesgotável de energia não poluente. O aproveitamento dessa energia é recente e está nos estágios iniciais de desenvolvimento de tecnologia aplicada. Demanda altos investimentos iniciais e, no caso de diques, configurações adequadas ao correto funcionamento do sistema. Pode causar grandes impactos ambientais na fase de construção. A eficiência do sistema é sensível à irregularidade das ondas e marés, em termos de amplitude, fase e direção. Os diques são sensíveis a sobrecargas estruturais no caso de condições meteorológicas mais extremas, como tormentas e furacões.

A energia solar é produzida pelo Sol e convertida em eletricidade ou calor por sistemas implantados nos mais diversos locais. Representa uma energia limpa e barata. A poluição ocorre na fabricação dos componentes dos sistemas e os custos decorrem dos componentes e da montagem dos sistemas de captação.

Em termos de grandeza, a energia solar poderia ser a solução para a substituição das fontes não renováveis, pois, anualmente, o Sol produz quatro milhões de vezes mais energia do que consumimos e, na escala de tempo do ser humano, o seu potencial é absolutamente ilimitado. Em apenas um segundo o Sol produz mais energia (internamente) do que toda energia usada pela humanidade desde o começo dos tempos. A energia que a Terra recebe por dia vinda do Sol representa mais que 15.000 vezes o consumo mundial diário de energia. A energia solar apresenta-se sob a forma disseminada e, embora esteja disponível de forma absolutamente gratuita, seu aproveitamento para potências elevadas ainda é limitado, pois sua captação requer instalações complexas e dispendiosas.

A manutenção é mínima, o custo total se reduz progressivamente e a potência dos painéis solares aumenta a cada ano, embora a eficiência ainda seja baixa e a viabilidade econômica não seja positiva. Eles podem ser instalados praticamente em qualquer local, desde telhados residenciais a topo de edifícios urbanos, de pontos remotos até regiões tropicais ou desertos. Nesse caso, a geração local ajuda a atender à demanda local e a reduzir os custos com linhas de transmissão. O fornecimento de energia é sensível à recepção da energia solar e fica reduzido durante períodos de chuva, neve e nebulosidade. Durante a noite o fornecimento é totalmente interrompido e, caso não haja outro tipo de geração local de energia ou conexão a uma rede, poderá criar necessidade de sistema de armazenamento/conservação. Regiões de média e alta latitude passam por quedas bruscas de produção durante os meses de inverno, devido à menor disponibilidade diária de energia solar.

A seleção da tecnologia mais apropriada a cada local dependerá das variáveis envolvidas em cada contexto, na busca do atendimento aos requisitos de demanda existentes pelas opções possíveis de disponibilidade. Como as demandas sociais passam pelas contingências econômicas e pelas conveniências políticas, na prática cada solução terá componentes e ponderações diferenciados.

4.2 O lixo

Pela etimologia histórica, a palavra **lixo**, derivada do termo latim *lix*, significa "cinza". Em geral, nos dicionários, podem-se encontrar definições como sujeira, imundice, coisa ou coisas inúteis, velhas, sem valor.

Do ponto de vista da linguagem técnica, lixo é sinônimo de resíduos sólidos, sendo representado por materiais residuais descartados pelas atividades humanas.

Historicamente, até meados do século XVIII, quando surgiram as primeiras indústrias na Europa, o lixo era produzido pelo ser humano em pequena quantidade e constituído essencialmente de sobras de alimentos ou artesanatos. A partir da Revolução Industrial, a produção crescente de bens de consumo em larga escala e a introdução de embalagens no mercado aumentaram significativamente o volume e a diversidade de resíduos gerados, principalmente nas áreas urbanas.

Contando com o suprimento garantido, o ser humano passou a viver a era dos descartáveis, em que a maior parte dos produtos é usada ou consumida e jogada fora com enorme rapidez. Ao mesmo tempo, o crescimento acelerado das metrópoles tornou escassas as áreas disponíveis para disposição do lixo que, acumulado no ambiente, aumentou a poluição do solo, das águas e do ar e degradou as condições de saúde das populações em todo o mundo, especialmente nas regiões menos desenvolvidas.

Conforme Calderoni (1999, p. 49), o conceito de lixo pode variar conforme a geografia e o tempo, dependendo também hoje de fatores jurídicos, econômicos, ambientais, sociais e tecnológicos. A definição do termo lixo difere conforme a situação em que seja aplicada. Na linguagem corrente, por exemplo, distingue-se de outros conceitos adotados conforme a visão institucional ou a visão econômica.

4.2.1 Geração e disponibilidade

O conceito de vida orgânica está ligado ao consumo de recursos naturais e sua transformação em energia, com a geração de resíduos. Todos os organismos vivos procedem dessa maneira e o ser humano, como ser orgânico, também procede dessa forma e está inserido nesse processo e nesse sistema.

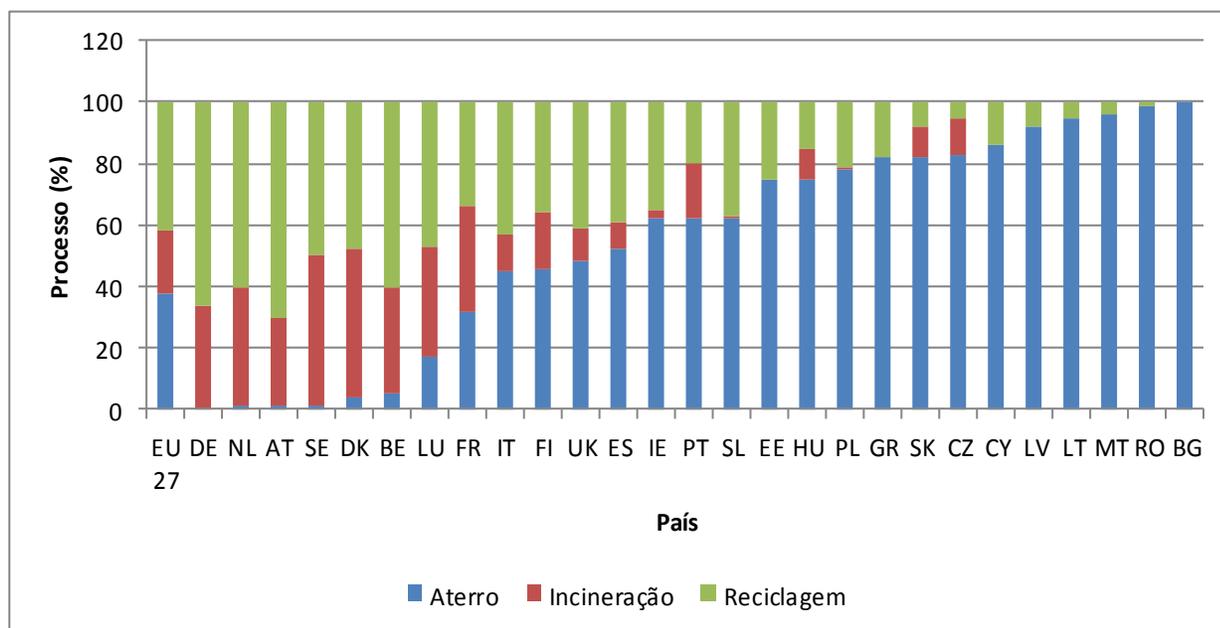
A questão básica é se o ser humano, para viver e sobreviver, precisa gerar lixo desnecessário e incompatível com a Natureza. Uma vez que o ser humano estabeleceu padrões de vida diferentes dos demais seres vivos encontrados na Natureza, sua geração de resíduos também é diferente mas, da mesma forma, inevitável. O ser humano não consegue parar de gerar lixo, seja durante o próprio processo e como consequência direta do ato de produzir, ou depois de cessada a vida útil dos materiais produzidos.

Do ponto de vista econômico, todo o processo poderia ser resumido na seqüência extração, produção, distribuição, consumo e descarte. Esse estilo de vida, no entanto, gera imensos e crescentes impactos ao planeta e, cada vez mais, à própria sociedade.

Se a geração de lixo é inevitável, a solução “não gerar lixo” pode então ser classificada como impossível e ser descartada. Embora possa ser considerada como visionária ou por demais ambiciosa, a meta “lixo zero” indica uma direção a seguir que, ao longo do tempo, se provará correta por absoluta necessidade, ao promover idéias e valores que vão além de simples consumismo e descarte. O problema se transfere para o enfoque quantitativo da geração do lixo, em suas diversas modalidades, e na forma de processar/eliminar esse lixo.

Embora a quantidade, o tipo de consumo e o tipo de lixo gerado possam ser relacionados à renda per capita das sociedades, quer parecer que o tipo de destinação do lixo resultante não está diretamente associado a outras variáveis e pode representar um resultado baseado em circunstâncias históricas ou em fatores sociais, geográficos, econômicos, científicos ou outros. A integração dos países europeus à União Européia demonstra essa característica e, por outro lado, certamente levará a uma padronização de procedimentos também nessa área, fazendo convergir os valores ao longo do tempo.

A Figura 4.9 indica a distribuição por processo de tratamento do lixo, entre aterramento, incineração e reciclagem, dos países da Europa em 2009 (CEWEP, 2010).



Fonte: CEWEP (2010)

Figura 4.9 Processamento de RSU na Europa

A composição química do lixo varia de acordo com a cultura e o grau de desenvolvimento de cada região ou país e, considerando que o ser humano não consegue deixar de gerar lixo, torna-se difícil estabelecer um valor que possa servir ao menos como referencial. Os estudos apontam duas vertentes independentes e, ao mesmo tempo, preocupantes, especialmente quando combinadas.

A primeira vertente diz respeito ao volume de lixo doméstico gerado, que pode oscilar entre 0,25 e 1,5 kg/pessoa/dia (ZERO WASTE, 2010). Os valores variam com o tipo de hábitos alimentares e de consumo de uma comunidade. Sociedades com maior consumo de alimentos frescos e que utilizam menos embalagens, por exemplo, apresentam valores menores de geração específica de lixo. Por outro lado, sociedades com maior consumo de alimentos enlatados, congelados ou pré-preparados, além de maior consumo de embalagens, geram maior volume de lixo.

A segunda vertente espelha o aumento da geração de lixo associado ao fenômeno do crescimento urbano. Em geral, a geração de lixo por habitante é menor em cidades menores, aumentando progressivamente à medida que aumenta o porte da cidade (KREITH, 1994). Essa constatação ocorreu também no desenvolvimento deste estudo (capítulo 5).

Essas duas vertentes, quando combinadas entre si e associadas ao crescimento da população mundial, segundo as previsões do US Census Bureau, geram cenários em que a geração de lixo parece ser a única razão da presença do ser humano na Terra. Ou talvez a única lembrança...

A atividade de reciclagem é extremamente benéfica, mas atinge somente uma parcela do lixo, deixando em aberto o problema do resto. O lixo tem um preço alto. Segundo CALDERONI (1999), o Brasil perde cerca de US\$ 4,6 bilhões por ano somente por deixar de reciclar componentes. Do total de lixo produzido no Brasil em 2007, 60,4% em média era jogado em terrenos a céu aberto (lixões), passando para 43,2% em 2009. Nos municípios brasileiros, em média 16,7% do lixo não era coletado

em 2007, passando para 11,8% em 2009. O lixo coletado em 61,7% dos municípios brasileiros apresentava destinação considerada inadequada em 2007, em média, passando para 43% em 2009 (ABRELPE, 2008; ABRELPE, 2010).

Devido aos inúmeros e constantes problemas que passaram a apresentar, os lixões passaram a sofrer maior atenção quanto aos aspectos governamentais e legais do assunto e aumentaram a maior pressão sobre as autoridades locais, forçando a adoção de melhores soluções para a comunidade e os cofres públicos. Um passo no sentido da melhoria foi a instituição do aterro controlado, que representa uma fase intermediária entre o lixão e o aterro sanitário.

O conceito de aterro sanitário envolve uma instalação planejada e formada com base em terreno no qual é utilizado um processo de deposição de resíduos sólidos com fundamento em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permitindo uma confinção segura em termos de controle de poluição ambiental e proteção do meio ambiente (ABNT, 1989; CETESB, apud CALDERONI, 1999, p. 118).

A incineração do lixo, como processo isolado, começou a ser utilizada com a finalidade de reduzir o volume do lixo a ser depositado (em lixão ou aterro), através de combustão controlada. Em geral se conseguem reduções de peso da ordem de 70% e de volume da ordem de 90%.

A incineração pode ser considerada como um tratamento adequado para resíduos sólidos de alta periculosidade, como o lixo hospitalar, permitindo reduzir significativamente o volume do lixo tratado e não necessitando de grandes áreas quando comparada aos aterros sanitários; além da possibilidade do aproveitamento da energia gerada na combustão.

Com o desenvolvimento tecnológico verificado na última década, elementos e sistemas de medição, controle e automação em tempo real ficaram disponíveis e facilitaram sua aplicação em novas instalações de incineração, que hoje podem ser

consideradas como a solução final no processamento do lixo, incorporando a etapa de recuperação energética do lixo por meio da etapa de turbinas a vapor e geração de energia elétrica para a rede e satisfazendo o conceito 4R com destinação final.

4.2.2 Características de processamento

Sob pressão crescente, e vendo esgotadas as alternativas simplistas já conhecidas e experimentadas, sem que o problema do lixo pudesse ser resolvido de forma satisfatória, o ser humano está despertando para a urgente necessidade de obter resultados eficazes a curto prazo e se conscientizando das vantagens de efetuar o processamento integrado do lixo.

Isso significa adotar processos que possam atender às diversas necessidades, evitar os diferentes problemas e permitir destinações e aproveitamentos diferenciados / customizados de seus diferentes componentes.

Esses processos representam uma forte mudança de rumo no processamento de lixo praticado até recentemente e deverão introduzir uma forte fase de transição nas relações vigentes atualmente entre população, poder público, empresas processadoras e recicladoras.

Associados ao enfoque ambiental crescente, devido em grande parte aos efeitos do aquecimento global, os processos reforçam a necessidade de se adotar algumas premissas básicas:

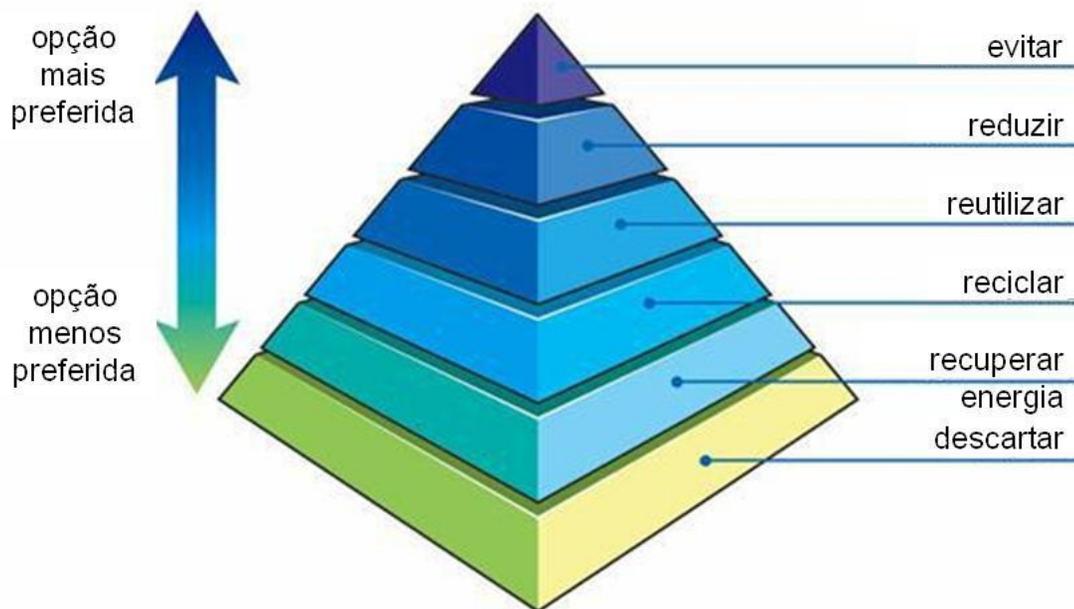
- efetuar o processamento do lixo sem provocar implicações ambientais;
- minimizar o consumo de recursos naturais aplicados no processo;
- separar os componentes do lixo segundo sua natureza e sua destinação;
- otimizar a possibilidade de reciclagem dos materiais obtidos no processo.

Não existem soluções simples para o problema do tratamento de resíduos. Entretanto, as empresas estão buscando soluções que produzam efeitos sinérgicos. Como parte da solução, freqüentemente surgem as seqüências com a redução da quantidade de emissões, a reutilização de produtos, a queima de resíduos para recuperação de energia e a reciclagem de partes e peças (KREITH, 1994).

Os anos 1990 explicitaram a necessidade de uma nova forma de gerenciar resíduos e, influenciadas por regulamentações, pressões do público e necessidade de melhorar a eficiência na exploração de recursos, a indústria e a sociedade mudaram o enfoque vigente, passando de uma visão de correção para uma visão de prevenção.

Como resultado da Eco 92 e do Protocolo de Quioto, desenvolveu-se também o senso de hierarquia no tratamento de resíduos que, além de maximizar os resultados no tratamento de resíduos, levou a uma mudança no sentido de consumo e na atitude do ser humano em relação aos bens e recursos disponíveis.

Foram desenvolvidas algumas técnicas que auxiliam na abordagem da prevenção de resíduos e uma das mais utilizadas ficou conhecida como “4R”: Redução, Reutilização, Reciclagem e Recuperação (ENVIRONMENT CANADA, 2010). A Figura 4.10 representa a imagem que se tornou conhecida nessa abordagem.



Fonte: Waste Online

Figura 4.10 Hierarquia no tratamento de resíduos

O conteúdo da Figura 4.10 poderia ser resumida nos seguintes termos:

1. Sempre que possível, a redução de resíduos é a melhor opção. Quanto menos resíduos, melhor.
2. Se o resíduo é produzido, todos os esforços devem ser feitos no sentido de reutilizá-lo.
3. Reciclagem deve ser a terceira opção. Embora a reciclagem ajude a conservar as fontes de recursos naturais e reduzir os resíduos, é importante salientar que existem custos associados com o processo de coleta e reciclagem em si. Por esta razão, a reciclagem deve ser considerada quando não se pode reduzir ou reutilizar.

4. Finalmente, pode ser possível recuperar materiais ou energia de resíduos que não podem ser reduzidos, reutilizados ou reciclados.

Além da utilização dos 4Rs como técnica para direcionar os esforços de gestão de resíduos, o ser humano precisaria considerar ainda mais alguns princípios básicos para definir o que entende por futuro e sociedade sustentáveis (TNS, 2010).

O desafio que se enfrenta, hoje, é a substituição da economia do descarte pela economia da redução/reutilização/reciclagem/recuperação. Há inúmeras soluções de ganho economicamente atraentes e ambientalmente desejáveis que podem ser extremamente proveitosas para a sociedade, na busca de uma resposta que trate as causas, ao invés dos sintomas da geração do lixo.

Neste século XXI, a sociedade com menor desperdício e menor estrago natural, que produz menor quantidade de lixo por pessoa, será a mais avançada. Ou seja, viver com mais eficiência é mais inteligente, de melhor qualidade e com cultura mais elevada. É necessário mudar o rumo da civilização do quantitativo para o qualitativo e essa revolução cultural começará a partir do comportamento diário de cada um.

Conforme IBAM (2011), a decisão sobre o sistema de disposição do lixo a ser adotado para uma determinada cidade ou região deverá ser precedida de uma avaliação criteriosa das alternativas disponíveis. A escolha dependerá do contexto em que se situe o poder de decisão.

Se for considerada apenas como o problema de um setor público com orçamento limitado, é óbvio que a Administração buscará a solução mais econômica e esta, quase sempre, será o aterro controlado ou sanitário, desde que exista área adequada e disponível.

Se o problema for submetido à ótica mais ampla, além da ótica pública local e envolvendo também a iniciativa privada, deverão ser considerados, ao lado dos custos financeiros, benefícios tais como: preservação do meio ambiente; melhoria das condições sanitárias e dos aspectos sociais envolvidos; economia de divisas com a recuperação de materiais (muitos dos quais fabricados com matéria-prima importada); desenvolvimento da agricultura com aplicação de composto orgânico para condicionamento de solos; geração de energia elétrica pela recuperação da energia disponível no lixo.

4.2.3 Classificação

Após publicação oficial da nova Política Nacional de Resíduos Sólidos, composta pela Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010 e pelo Decreto Nº 7.404, de 23 de Dezembro de 2010, que a regulamentou, por força de lei os resíduos sólidos passaram a ser classificados pelos critérios:

I - quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;*
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;*
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;*
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;*

- e) *resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;*
- f) *resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;*
- g) *resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;*
- h) *resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;*
- i) *resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;*
- j) *resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;*
- k) *resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;*

II - quanto à periculosidade:

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

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

A geração de RSU é enquadrada como geração de resíduos não perigosos.

4.3. A problemática do lixo

Explicitar e compreender a problemática do lixo são fundamentais para o desenvolvimento deste estudo, que toma os resíduos sólidos como base, e para que possam ser estabelecidas as devidas relações com os demais elementos propostos.

Dentro de uma visão sistêmica, a presença do lixo surge como elemento final de uma cadeia de suprimentos necessária e organizada para assegurar a sobrevivência do ser humano. Visto de forma simplista, trata-se de um mal necessário. Mas o crescente e acelerado aumento da demanda, devido ao crescimento populacional, ao desenvolvimento tecnológico e ao consumismo cada vez mais desenfreado, está levando a uma crise, causando desequilíbrios, problemas associados à saúde pública, danos ambientais e degradação de recursos naturais (TAMMEMAGI, 1999).

O documento mais antigo relacionado à legislação do tratamento de lixo data de 3.000 AC, em Knossos, capital da ilha de Creta, no Mediterrâneo. Desde essa época, a transição do movimento pelo tratamento do lixo tem girado ao redor de duas iniciativas: a proteção da saúde pública e, posteriormente, a proteção do meio ambiente (FRANCHETTI, 2009).

Nota-se que a atenção dada ao lixo produzido nas cidades cresceu na medida em que aumentou a percepção de sua ligação com os surtos epidêmicos. Atualmente, além do lixo urbano, deve ser destacado o risco potencial para a saúde relacionado com o descarte de lixo industrial, que libera para o ambiente grande quantidade/variedade de substâncias químicas (SISINNO, 2000).

Segundo FRANCHETTI (2009), os principais impactos ambientais, com foco nos efeitos, referenciam espaço disponível, chorume, aquecimento global, consumo de recursos naturais e perda de *habitat* (de espécies animais).

Conforme FRANCHETTI (2009), no mundo extremamente competitivo de negócios e produção, o descarte de lixo normalmente é negligenciado. O desafio real é fazer com que essas iniciativas façam algum sentido de negócios para as corporações em todo o mundo. A minimização do lixo é muito importante para empresas e organizações de todos os tipos. Hoje, nos Estados Unidos, as despesas de disposição do lixo chegam a três por cento das despesas de uma organização produtiva.

4.3.1 Poluição e saúde

O lixo é inesgotável e irreversível, por origem e por processos. Isso o torna um sério problema para a sociedade e a administração pública, pois diariamente grandes volumes de resíduos de diversas naturezas são descartados no meio urbano. A escassez de recursos limita os esforços para correta disposição e os resíduos acabam sendo lançados diretamente no solo, no ar e nos recursos hídricos, levando a grave poluição e reduzindo a qualidade de vida do próprio ser humano (LIMA, 2005).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) define saneamento como o controle de fatores que atuam sobre o meio ambiente e que exercem, ou podem exercer, efeitos prejudiciais ao bem-estar físico, mental ou social do homem. Dentro dessa definição encaixam-se as atividades de limpeza urbana que englobam, além de outros serviços, a coleta, o tratamento e a destinação final do lixo ou resíduos sólidos.

Na maioria das cidades, a falta de coleta regular de lixo ou a coleta existente, mas insuficiente, expõem a população ao contato direto com matéria orgânica em decomposição, processo que, no Brasil de clima tropical, ocorre muito rapidamente. A matéria orgânica decomposta constitui excelente meio de proliferação de bactérias patogênicas e de vetores transmissores de doenças.

A Tabela 4.4 ilustra a parcela não coletada nas diversas regiões do País em 2009 (ABRELPE, 2010).

Tabela 4.4 Geração, coleta e não coleta de lixo no Brasil em 2009

Região	População	Gerado t/dia	Coletado t/dia	Não coletado
Norte	11.482.246	12.072	9.672	19,88 %
Nordeste	38.024.507	47.665	35.925	24,63 %
Centro Oeste	11.976.679	13.907	12.398	10,85 %
Sudeste	74.325.454	89.460	85.282	4,67 %
Sul	22.848.997	19.624	17.807	9,25 %
Total	158.657.883	182.728	161.084	11,84 %

Fonte: ABRELPE (2009).

Da parcela coletada em 2009, representando 88,16% do total gerado no meio urbano, 43,20% tem destinação inadequada (ABRELPE, 2010).

Segundo LIMA (2005), a disposição inadequada do lixo gera muitos riscos, por estar vinculada a processos naturais que, em grande parte, estão fora do controle do ser humano. A composição do lixo é muito variada e pode depender de diversos fatores que influenciam sua origem e formação no meio urbano.

Os principais mecanismos de contaminação na relação lixo/ser humano podem ser sintetizados na forma de alternativas:

- **Lixo não coletado**
 - **Contato direto**
 - Ferimentos
 - Infecções
 - **Contato indireto**
 - Vetores transmissores de doenças
 - Moscas, insetos, ratos, baratas
 - Contaminação de solo e água
 - Danos ao meio ambiente (solo, água, ar)
 - Deposição em locais inadequados
- **Lixo deposto em lixões ou aterros**
 - **Poluição**
 - Solo, água e ar
 - Infiltração em recursos hídricos (chorume, lixiviação)
 - **Contato indireto**
 - Vetores transmissores de doenças
 - Moscas, insetos, ratos, baratas
 - Contaminação de solo e água
 - Danos ao meio ambiente (solo, ar, água)
 - **Saúde pública**
 - Foco/habitat de vetores transmissores de doenças
 - Foco de patogenia microbiana (fermentações)
 - Lençóis freáticos contaminados
 - Sazonalidades e fatores climáticos

4.3.1.1 Poluição do solo

O lixo descartado sem tratamento e de forma inadequada leva à poluição do solo, por meio de alteração de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, constituindo-se inicialmente num problema de ordem estética e, mais gravemente, numa séria ameaça à saúde pública.

O lixo é preferido por inúmeros organismos vivos como nicho ecológico, pois contém substâncias de teor energético e oferece grande disponibilidade de água, alimento e abrigo, formando o ambiente de cultura ideal.

Os organismos que habitam o lixo podem ser classificados em dois grupos:

1. Macrovetores – pulgas, moscas, baratas, ratos, animais de maior porte como cães, gatos, suínos, eqüinos e até mesmo o ser humano, quando catador de lixo.
2. Microvetores – vermes, bactérias, fungos, actinomicetos e vírus. Desse grupo, os vírus são os de maior importância epidemiológica por serem patogênicos e, portanto, nocivos ao ser humano.

Alguns desses organismos permanecem no lixo durante toda a sua vida, outros o fazem apenas em determinados períodos. São responsáveis pelo surgimento de doenças respiratórias, epidérmicas, intestinais e outras lesivas e letais, como tifo, cólera, leptospirose, pólio, dengue, filariose, malária, febre amarela, leishmaniose, diarréias infecciosas e outras (LIMA, 2005; SISINNO, 2000).

Os macrovetores mais comuns no lixo e que oferecem risco ao ser humano e ao meio ambiente são ratos, moscas e baratas. Os ratos representam um vetor de grande perigo. Algumas outras doenças causadas pelos roedores incluem meningite linfocitária, gastroenterite, ricketiose vesicular, leptospirose, tifo murino, brucelose, triquinose, tularemia, febre Haverhill e febre Sôdoku, entre outras de menor ocorrência (LIMA, 2005).

4.3.1.2 Poluição da água

Na prática, em função dos danos causados pelo descarte inadequado de lixo em cursos d'água, a poluição da água pode ser classificada nas tipologias física; química; bioquímica; biológica e radioativa. O principal efeito da poluição das águas é o efeito multiplicador do acesso dos produtos nocivos aos seres vivos consumidores, inclusive o ser humano.

Quase todos os produtos tóxicos encontrados atuam sobre o sistema nervoso central, a transmissão dos impulsos nervosos, envenenamento gradual pela cadeia de alimentos, levando à necessidade de estudos mais intensos sobre os efeitos desse tipo de poluição nos organismos vivos e na cadeia alimentar dos seres humanos. A ocorrência de cirroses, tumores, empedramentos e câncer é o caso clássico (LIMA, 2005).

Do ponto de vista da poluição bioquímica, os perigos são similares. Conforme sua intensidade, os danos podem ser crescentes, até a completa extinção de fauna e flora aquáticas. As principais fontes geradoras de poluição bioquímica são as indústrias de papel e celulose, doces, usinas de álcool e açúcar, exploração de jazidas minerais, instalações de petróleo, entre outras.

A poluição biológica é caracterizada pela contagem elevada de coliformes e pela presença de resíduos que possam levar a transformações biológicas significativas, influenciando diretamente a qualidade de vida dos organismos que vivem na água ou a consomem. Incluem-se aqui os lançamentos de resíduos domésticos e industriais, esgotos sem tratamento adequado (LIMA, 2005).

A existência de radioatividade natural na água não tem incidência grave ou efeitos nocivos na saúde por se tratar de níveis muito baixos. Por outro lado, a contaminação por resíduos radioativos lançados ao mar, afundamento de arsenais nucleares, explosões atômicas submarinas ou vazamentos de materiais radioativos pode ter conseqüências gravíssimas. A radioatividade é altamente cancerígena e não tem sabor, cheiro ou cor. Seu efeito poluidor é ilusório, pois sua ocorrência não apresenta indicadores visuais e aí reside seu aspecto mais perigoso e perverso.

4.3.1.3 Poluição do ar

A poluição do ar é caracterizada pela presença de efluentes gasosos e particulados, emitidos para a atmosfera como resultado das atividades do ser humano no meio urbano, em concentrações maiores que os índices normais suportáveis, ou que sua simples presença possa produzir ou contribuir para a geração de efeitos danosos ao ser humano e ao meio ambiente.

Os poluentes mais comuns e emitidos em maior quantidade para o ar são o monóxido de carbono (CO), partículas de óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos (HC).

Em condições desfavoráveis, o volume de ar disponível para a difusão pode se tornar insuficiente e as concentrações de substâncias efetivamente tóxicas podem atingir níveis críticos, gerando inconvenientes como doenças respiratórias, moléstias de pele, câncer de pele, casos letais e irreversíveis, e até morte (LIMA, 2005).

A concentração de certas substâncias na atmosfera pode influenciar a taxa de radiação solar e levar a mudanças na produção da biomassa e de alimentos, bem como ao raquitismo no ser humano, com perigo ao desenvolvimento da espécie.

Especialmente a concentração de dióxido de carbono e metano pode influenciar diretamente a formação do efeito estufa e o desenvolvimento do aquecimento global, que atualmente constitui o mais significativo elemento de pressão para os esforços de proteção ambiental (LIMA, 2005).

4.3.1.4 Efeitos na população

A interface entre a população e os lixões é um fator crítico de análise. Em alguns casos a população já residia nas adjacências do local onde o depósito de resíduos foi instalado mas, na maioria das vezes, a expansão das cidades faz com que o adensamento populacional carente forme interface com essas áreas e se sujeite a essa vizinhança insalubre por falta de opção por melhores condições de moradia.

Os problemas de saúde dessa população podem ser agravados pelo fato de muitos morarem em habitações precárias, sem abastecimento de água e de esgoto, ou terem a saúde debilitada por problemas relacionados a carência nutricional ou vícios como tabagismo e alcoolismo. A falta de estabelecimentos de saúde dificulta o atendimento médico adequado dessas áreas. Portadores de doenças crônicas,

crianças, idosos e mulheres são mais vulneráveis como grupo e podem ter a saúde mais facilmente afetada.

Muitas vezes a população residente nessas áreas de risco apresenta baixo nível educacional e cultural, contribuindo para que medidas de proteção e higiene não estejam presentes na vida diária. A desinformação sobre os problemas nessa interface acaba criando uma postura de indiferença nessas pessoas, levando a sérios prejuízos, em larga escala (SISINNO, 2000).

Os moradores dessa interface são mais propensos a apresentarem respiração ofegante, tosse constante, resfriados persistentes, batimentos cardíacos irregulares, histórico de problemas cardíacos, casos de anemia e outras desordens sangüíneas, bronquite, asma, diarréia freqüente, náusea, além de níveis elevados de morte por câncer, defeitos de nascença, doenças no fígado e distúrbios neurológicos.

Os catadores de lixo, muitas vezes já na segunda ou terceira geração, também apresentam problemas de saúde, com maior incidência de distúrbios intestinais, parasitoses intestinais, hepatite, doenças de pele, respiratórias e danos nas articulações (SISINNO, 2000).

As funções do fígado e dos rins são afetadas por substâncias que atingem níveis tóxicos no organismo, pois ambos os órgãos estão envolvidos no metabolismo e excreção das substâncias. A cirrose do fígado pode ser causada por hidrocarbonetos clorados e lesões renais podem ser causadas por mercúrio e clorofórmio. Pele, sistema nervoso central e sistema reprodutor também se mostram sensíveis ao contágio por substâncias químicas.

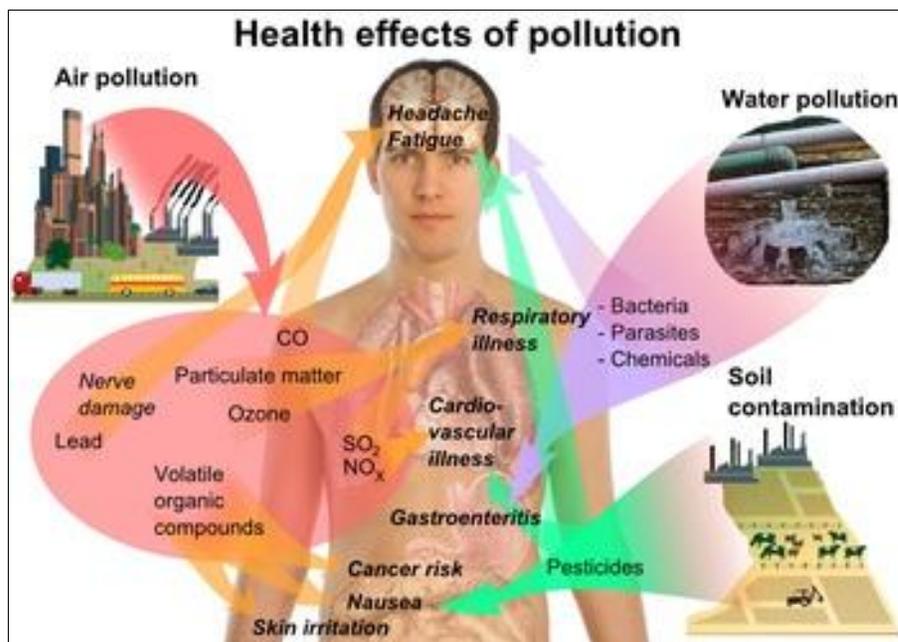
Conforme SISINNO (2000), os principais problemas de saúde associados às substâncias presentes nos locais de descarte de lixo podem ser resumidos em um conjunto de sete elementos:

- anomalias imunológicas;
- câncer;
- danos no aparelho reprodutor e defeitos de nascença;
- doenças respiratórias e pulmonares;
- problemas de função hepática;
- problemas de função neurológica;
- problemas de função renal.

Os hospitais, principalmente os de atendimento ambulatorial, não conseguem vencer o atendimento dos mais variados casos de problemas de saúde, gerados pelo simples fato de que as pessoas passaram a ter algum tipo de contato com os lixões. E os doentes não apresentam limite de idade. Crianças e adultos são igualmente vítimas.

No final do ciclo, estes custos de atendimento hospitalar e do sistema de saúde acabam sendo resultantes da falta de investimento em saneamento básico e, basicamente, em correto processamento do lixo gerado. Em saúde, prevenir custa menos que remediar.

A Figura 4.11 ilustra os principais efeitos da poluição na saúde humana.



Fonte: HÄGGSTRÖM

Figura 4.11 Principais efeitos da poluição na saúde humana

4.3.2 Lixões e aterros

A CETESB (2010) entende o aterro sanitário como um processo para disposição de resíduos sólidos no solo, especialmente o lixo domiciliar, com base em critérios de engenharia e normas para operação específicas, para garantir uma confinamento segura em termos do controle de poluição ambiental e proteção ao meio ambiente.

Sua principal vantagem é o custo relativamente baixo, em relação a outros métodos, que o torna mais interessante quando os políticos são pressionados a sugerir uma solução para o descarte do lixo. Na prática, representa o primeiro grau de melhoria do lixão (*upgrade*).

Os problemas associados aos aterros incluem a possibilidade de poluição das águas superficiais e dos lençóis freáticos pelo chorume, a formação de gases nocivos (dióxido de carbono e metano) e odor desagradável no ar.

Enviar ao aterro materiais/resíduos que possam ser reutilizados, reciclados ou recuperados atualmente se revela inadequado, tanto economicamente quanto ecologicamente. Nesse contexto, tem aumentado a intenção de recuperação de gases, para geração de energia elétrica, e de chorume, para tratamento junto aos esgotos. No entanto, a grande massa permanece para o futuro (RIBEIRO, 2009).

Segundo o IPT (2000), os custos de disposição em aterros tendem a se elevar com o tempo, principalmente nas grandes cidades, o que provavelmente tornará o processo de incineração com geração de energia elétrica economicamente mais atraente nesses locais. Mundialmente, já se observa forte tendência nesse sentido.

Outro fator relevante é dado pelo cenário nacional de geração de energia elétrica, com perspectiva de falta de fornecimento, provocada pela interrupção de investimentos nessa área e pela necessidade de crescimento do País.

A instalação de usinas de incineração com geração de energia elétrica, operando em regime de base, ajudaria a amenizar a situação e a reduzir os custos hoje dispendidos pelo governo com as termelétricas de pico, que operam com combustíveis problemáticos (óleo, carvão) e são remuneradas mais pelo período de disponibilidade do que por sua efetiva geração de energia (SOARES, 2009).

A incineração de resíduos, além disso, reduziria diretamente o consumo de combustíveis mais nobres e caros, inclusive os derivados do petróleo, melhorando o balanço de pagamentos do País, a limpeza da matriz energética e a preservação do meio ambiente (RIBEIRO, 2009).

Numa comparação simples, a utilização de processos de incineração, como alternativa ao uso de aterros, apresentaria um quadro mais favorável do ponto de vista de impactos ambientais.

Em outra perspectiva, definida pela nova PNRS brasileira, os aterros passariam a receber somente os resíduos finais (elementos do lixo que não permitissem mais seu processamento nas etapas de reutilização, reciclagem e recuperação). Estariam destinadas aos aterros as parcelas referentes às cinzas da incineração e os resíduos de filtragem, reduzindo significativamente os fluxos de material para os aterros e o espaço necessário para seu funcionamento.

Os aterros já existentes deveriam instalar unidades de recuperação energética a partir da captação dos gases emitidos pela massa “em decomposição”, até sua completa exaustão, além de unidades de captação e tratamento de chorume.

4.3.3 Espaço e destinação comunitária

O lixo, como ocupante de espaço físico, demanda espaço físico para ser descartado. Em qualquer das opções mais fáceis, como lançamento em qualquer lugar ou em lixões, haverá necessidade de espaço. Nos aterros também haverá necessidade de espaço. Mesmo após a incineração, com a redução a cinzas que ocupam menos espaço, ainda haverá necessidade de espaço físico.

A questão crítica que se impõe, nesse ponto, é a definição de quanto espaço a sociedade está disposta a ceder à destinação de seu lixo. Mesmo que se considere esse espaço como uma perda aceitável, a questão passa a girar em torno do limite aceitável.

Para cada 40.000 toneladas de lixo adicionadas a um aterro, perde-se pelo menos um acre de terra (4.047 m²) para uso futuro. Isso significa uma proporção de um metro quadrado por cada dez toneladas de lixo. Também se perde uma grande área de seu entorno, pois o aterro, com resíduos potencialmente tóxicos, deve ficar isolado das áreas residenciais. No caso de lixões, a demanda de espaço é ainda maior, pois não é feito o adensamento para redução dessa demanda.

Em determinado ponto, a sociedade questiona porque o espaço é destinado ao lixo, quando há necessidades crescentes para habitação, lazer ou trânsito. Quando falta uma solução adequada por parte do poder público, ocorre a perversa convivência entre população e lixo.

Esse aspecto está explicitado na nova PNRS, Art. 48, item IV, ao proibir fixação de habitações temporárias ou permanentes nas áreas de disposição final de resíduos ou rejeitos. Caberá agora aos políticos responsáveis oferecer alternativas adequadas para o cumprimento da PNRS, mesmo à custa de novos espaços físicos.

As grandes cidades, densamente ocupadas e conurbadas, que no Brasil chegam a formar as diversas regiões metropolitanas, apresentam problemas semelhantes que extrapolam os limites municipais, como áreas escassas ou já inexistentes para a disposição final do lixo; conflitos de uso do solo com a população estabelecida no entorno dos locais ou equipamentos de tratamento e destino final do lixo; "exportação" de lixo a municípios vizinhos, gerando resistências da população; lixões poluindo escassos recursos hídricos e gerando problemas de saúde para a população do entorno.

A repercussão disso nos aspectos econômicos é significativa. Com o aumento da urbanização e crescimento das cidades, o valor do solo se torna mais alto, encarecendo as opções, e os custos logísticos sobem em função de novos arranjos de deslocamento e das maiores distâncias que se tornam necessários.

Como normalmente a velocidade com que isso ocorre é muito superior às previsões e aos planejamentos do poder público, forma-se a confusão que, posteriormente, nenhum político tem vontade de resolver, em nome dos “problemas sociais” que, na verdade, se refletem em votos. Isso ocorre na maioria das cidades e muitos dos problemas ficam sem solução, atuando como fator multiplicador para outros problemas.

Sob essa ótica, a minimização do lixo é o caminho ideal a ser buscado na seleção de processos para tratamento e destinação dos resíduos sólidos, eliminando desperdícios e redirecionando os valores poupados para finalidades mais prementes e nobres no atendimento às necessidades da comunidade local/regional.

4.4. Política Nacional de Resíduos Sólidos

Após um período de vinte anos de tramitação, negociações e esquecimento no Congresso Nacional, um novo paradigma legal foi aprovado pelos legisladores e sancionado pela Presidência da República em dois de agosto de 2010, na forma da Lei número 12.305 que, em princípio, “institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências”.

Foi posteriormente regulamentada pelo Decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que “regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências”.

Além disso, a regulamentação destaca que “a Política Nacional de Resíduos Sólidos integra a Política Nacional do Meio Ambiente e se articula com as diretrizes

nacionais para o saneamento básico e com a Política Federal de Saneamento Básico, nos termos da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, com a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, e com a Política Nacional de Educação Ambiental, regulada pela Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999”.

A menção de materiais recicláveis ao invés de lixo demonstra uma melhor visão quanto ao verdadeiro sentido do movimento de inclusão, ao definir os destinos dos materiais coletados e consolidados pela rede capilar de catadores diários nos mais diversos locais dos aglomerados urbanos do País.

Na prática, o País necessitava, e muito, de um instrumento legal que atribuísse aos administradores públicos o dever e a responsabilidade de planejar, implementar, executar e prestar contas sobre a gestão dos resíduos sólidos gerados e/ou acumulados em seus respectivos municípios.

Com a sanção da Lei no. 12.305, o Brasil passará a ter um marco regulatório na área de resíduos sólidos, fazendo a distinção entre resíduo (o que pode ser reaproveitado ou reciclado) e rejeito (o que não é passível de reaproveitamento) e abrangendo praticamente todo tipo de resíduo, como industrial, da construção civil, doméstico, eletroeletrônico, lâmpadas, baterias, pneus, agrícola, silvopastoril, da área de saúde, perigosos, especiais, etc.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos busca reunir princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão dos resíduos sólidos, responsabiliza as empresas pelo recolhimento de produtos descartáveis (logística reversa), estabelece a integração de municípios na gestão dos resíduos e responsabiliza toda a sociedade pela geração de lixo. Além disso, estabelece prazos para que isso aconteça, o que, em si, já representa um enorme avanço na cultura nacional protelatória em qualquer setor.

Define igualmente a logística reversa, uma atividade fundamental para a sociedade de consumo que precisa compensar seus excessos por meio da recuperação

e do aproveitamento do valor econômico hoje descartado e objeto de significativas despesas para seu mínimo afastamento das interfaces com a sociedade ou processamento.

A nova legislação abre inúmeros caminhos de formatação ética, trabalhista e econômica, ao dar especial realce à introdução da logística reversa, tão necessária em um país que ainda precisa melhorar bastante seu desempenho na redução/eliminação de desperdícios em grande escala. Abençoado historicamente pela abundância, o País desenvolveu uma cultura de omissão em relação a alternativas e esforços para sua viabilização ao longo do tempo. Em relação à energia, podem ser citados os exemplos históricos da geração de energia elétrica por hidrelétricas, levando a uma situação de acomodamento e impasse, e de importação de petróleo, pela facilidade que levou a outro impasse, dessa vez rápido e crítico, na década de 1970.

Outro aspecto que merece atenção na sanção dessa importante lei é o formal legalismo das autoridades públicas, querendo crer que tudo se resolve pela lei e acreditando que a existência da lei a tudo evita e previne, sem a contrapartida da necessária fiscalização e do eficiente controle do cumprimento da mesma.

O País possui, em seu conjunto, talvez a legislação ambiental mais moderna e eficiente do mundo, mas sua diária e constante violação, sem as correspondentes averiguações e penalizações, deixa em dúvida sua credibilidade e sua verdadeira eficácia. As denúncias de corrupção nesse setor são diárias e de grande porte, com efeitos abrangentes ao meio ambiente e à sociedade ao longo do tempo. Fala-se muito, faz-se pouco ou nada. Infratores não são penalizados. Com o tempo, tudo se esquece...

Os planos de resíduos sólidos e o estabelecimento dos inventários e do sistema declaratório anual de resíduos sólidos passam a se constituir em balizas importantes para planejamento e desempenho executório das atividades municipais relacionadas ao efetivo cumprimento da legislação.

Destaca-se que a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas, a educação ambiental e o incentivo à adoção de consórcios ou de outras formas de cooperação entre os entes federados, com vistas à elevação das escalas de aproveitamento e à redução dos custos envolvidos, terão significativo impacto nas atitudes dos órgãos e autoridades responsáveis ao encarar e lidar com a questão do lixo e para agir no sentido da melhoria da qualidade de vida da sociedade.

O estabelecimento do conceito 4R na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, definindo e privilegiando a ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, impõe um Norte nas ações a serem tomadas a partir de agora pelas autoridades responsáveis.

Além disso, a inclusão do moderno e avançado enfoque na utilização de tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental, abre significativo caminho para a geração contínua e responsável de energia elétrica, cada vez mais necessária no atendimento sustentável da demanda crescente de energia inerente ao crescimento do País.

Segundo estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012), o Brasil perde a fortuna de R\$ 8 bilhões por ano ao enterrar o lixo reciclável, sem contar os prejuízos ambientais, corroborando o estudo de CALDERONI (1999).

O País tem, agora, a esperada oportunidade de promover uma limpeza geral em seu meio ambiente e em seus processos de consumo e geração de resíduos. Com a devida fiscalização do cumprimento de prazos, atendimento das metas e prestação de contas por cada um dos responsáveis indicados na lei, beneficiando a sociedade como um todo, desperdícios poderão ser evitados, recursos poderão ser poupados e melhor

utilizados, a prevenção poderá tomar o lugar da remediação e o País poderá passar a um nível mais alto de integração social, de qualidade de vida e de gestão, com maior responsabilidade e respeitabilidade. O engajamento de todos no cumprimento das especificações e no controle desse cumprimento determinará o sucesso ou o fracasso de um novo paradigma que promete mudar para melhor o cenário ambiental do País.

Do ponto de vista do cidadão, a política ambiental ideal seria aquela que incorporasse as diversas dimensões da vida humana em sociedade, o que inclui as suas dimensões sociais, ambientais, políticas e econômicas, com o planejamento orientado em torno do princípio de sustentabilidade, que fornece as bases sólidas para um estilo de desenvolvimento humano que preserve a qualidade de vida da espécie no planeta.

A dimensão ambiental deve integrar de forma relevante a política de desenvolvimento da nação e a sociedade espera que a sanção e a regulamentação da nova Política Nacional de Resíduos Sólidos representem um sólido passo e um consistente incentivo nessa direção.

4.5 Geração de energia elétrica

Para atendimento de suas necessidades de vida, mobilidade, conforto e processos, o ser humano precisa consumir energia.

A Figura 4.7 ilustra o perfil de consumo de energia do Brasil em 2010 e suas principais fontes (BRASIL, 2011). A Figura 4.8 ilustra o perfil de consumo de energia no Brasil em 2010, dos principais setores (BRASIL, 2011).

A geração de energia elétrica tem sido um dos pontos críticos do desenvolvimento dos países. A polivalência de aplicações da energia elétrica, a partir de sua adequada e suficiente disponibilidade para o usuário e de sua vantagem de relação potência/porte, ao longo do tempo estabeleceu uma preferência por seu uso industrial, comercial e residencial.

A Figura 4.12 ilustra o consumo observado no período 1980 – 2007 e a previsão de crescimento do consumo de energia para o Estado de São Paulo no período 2008 – 2020 (SÃO PAULO, 2010). De forma simplificada, isso corresponde a um crescimento com taxa anual de cerca de 2,8%, demandando preciso planejamento das fontes de oferta e suprimento e os necessários fluxos de investimentos para sua realização.

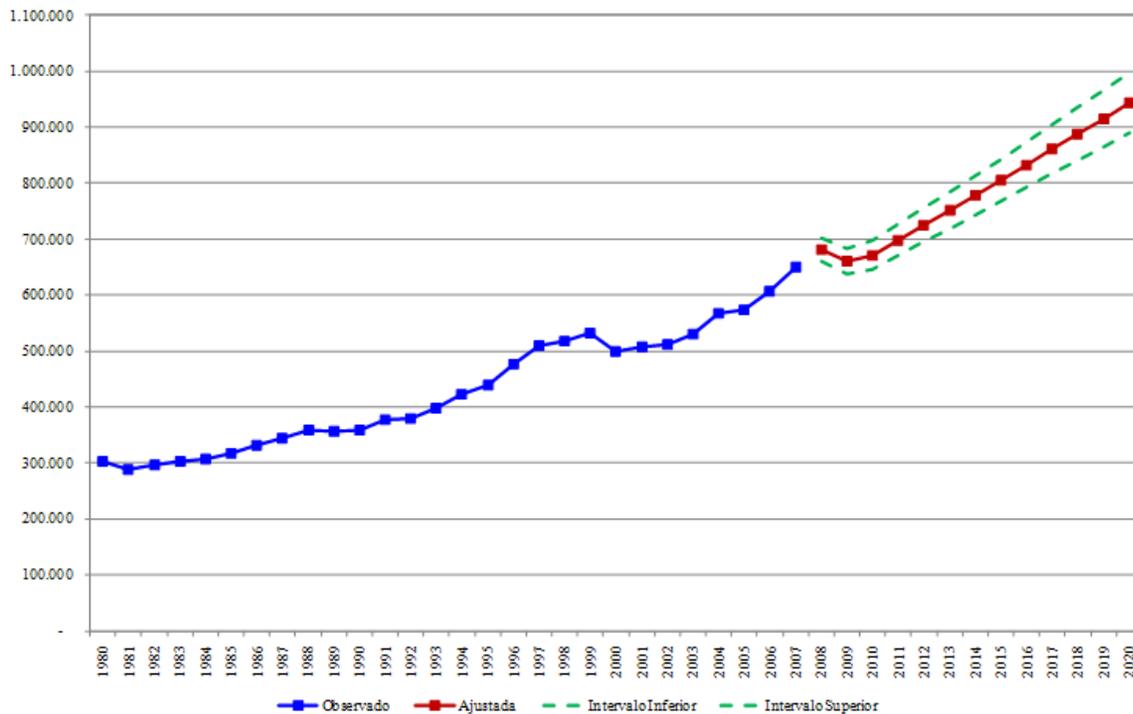


Figura 4.12 Consumo de energia observado (1980-2007) e projetado (2008-2020) no Estado de São Paulo em 10⁹ kcal

Segundo o Balanço Energético do Estado de São Paulo, a base de energia requerida para 2008 era de 134.101 GWh, ou um consumo de 3.240 kWh/habitante, sem considerar os autoprodutores. Na prática, as taxas de crescimento de que o país e o estado necessitam para um desenvolvimento saudável são superiores.

Com base na experiência do “apagão” de 2001, com racionamento de energia, e dos constantes riscos de falta de investimentos no setor elétrico, criou-se certa insegurança quanto ao cumprimento das metas de criação de novas fontes de geração.

Em 2009 ocorreu um súbito corte no fornecimento de energia elétrica em grande parte do País e isso provocou questionamentos mais veementes. Segundo Washington Novaes, no artigo “Expansão da energia trafega na contramão”, de 06 de Março de 2009, de O Estado de São Paulo:

“Parece inacreditável, mas não é. Embora seja um dos países com maior possibilidade de ter uma matriz energética relativamente limpa e renovável, o Brasil “recorre à energia suja” em seu Plano Decenal de Expansão de Energia. Dos 55 mil MW de nova potência previstos nesse documento, nada menos que 20,8 mil MW (quase 40%) virá de fontes térmicas, aí incluídas as usinas a gás, carvão, diesel, óleo combustível ou biomassa, além das nucleares; até 2017 serão 68 novas unidades movidas a combustíveis fósseis, com 15,44 mil MW; e as emissões na área passarão de 14,43 milhões de toneladas anuais para 39,3 milhões de toneladas - na hora em que o mundo, assustado com as mudanças climáticas, esperneia em toda parte para reduzir as emissões. Não por acaso, o plano de expansão fez pipocarem críticas de toda parte. [...] E tudo isso no momento em que especialistas e o Tribunal de Contas da União dizem que o Brasil perde pelo menos 17% da energia que gera,

principalmente nas linhas de transmissão e distribuição. [...] O quadro é preocupante: enquanto as usinas eólicas passarão de 0,3 para 0,9% da potência instalada e as biomassas passarão a responder por 2,7% (hoje, 1%), as usinas térmicas aumentarão sua participação de 0,95 para 5,7% (mais de 500%) - quando os ventos poderiam atender a pelo menos 60% de todo o consumo nacional de energia, segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), já que em mais de 71 mil km² do território nacional a velocidade dos ventos é adequada. Não por acaso, Europa, Ásia e Estados Unidos estão investindo pesadamente nessa área (42% da nova geração nos EUA) e na energia solar.”

A respeito do “apagão” do sistema ocorrido em 10 de Novembro de 2009, diversos especialistas se manifestaram. Sob o título “Sistema energético do País é frágil”, de 12 de Novembro de 2009, o físico Luiz Pinguelli Rosa, diretor da Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia da Coppe e ex-presidente da Eletrobrás, defendeu o uso de “redes inteligentes”, que evitam o efeito dominó, com um número maior de pontos controlados.

Na opinião do especialista em infraestrutura Adriano Pires, “houve barbearagem de operação e o apagão foi provocado por uma sobrecarga no sistema, pelo aumento de demanda residencial. Às 22 horas, não há por que manter as 20 turbinas de Itaipu ligadas. É populismo manter modicidade tarifária, excluindo as usinas térmicas, que deviam estar também na base do sistema”.

Diversas manifestações atribuem o problema a falta de planejamento, má gestão de recursos, falta de investimento em infraestrutura essencial, incompetência gerencial, falta de coordenação de políticas de crescimento, visão equivocada de prioridades, falta de manutenção, entre outras, e aparentemente todas têm sua parcela de razão. O fato é que os apagões estão ocorrendo com maior freqüência...

Há diversas formas de gerar energia elétrica e todas elas apresentam vantagens e desvantagens em relação a determinado contexto. Conforme ilustrado na Tabela 4.5, a partir das fontes o desenvolvimento de tecnologia leva a diferenciados processos e equipamentos, determinando alternativas reais para decisão.

Tabela 4.5 Alternativas de geração de energia elétrica

Origem	Fonte	Equipamento	Conceitos associados
calor	reação nuclear	central nuclear	<i>energia nuclear, lixo nuclear</i>
	nascentes hidrotermais	central geotérmica	<i>energia geotérmica</i>
	queima de resíduos	incinerador	<i>central de biomassa, reciclagem</i>
	queima de outros tipos de combustível	central termoelétrica	<i>carvão, efeito de estufa</i>
luz	sol	célula fotoelétrica	<i>fotovoltaica, energia solar, painel solar, painel fotovoltaico</i>
movimento	vento	aerogerador	<i>energia eólica, central eólica</i>
	motor	gerador	<i>energia mecânica, energia cinética, movimento perpétuo</i>
	ondas do mar	central talassomotriz	<i>energia maremotriz</i>
peso	maré	central talassomotriz	<i>gravidade, energia potencial gravítica, usina maremotriz'</i>
	água dos rios	turbina hidráulica	<i>central hidroelétrica, barragem, PCH ou mini-hídrica</i>
química	reações químicas	célula eletrolítica	<i>pilha, oxidação/redução, bateria armazenagem de energia</i>

Neste trabalho é enfocada a geração de energia elétrica com origem no calor, tendo como fonte a queima de resíduos, por meio do equipamento conhecido como incinerador (ou central termoelétrica) e envolvendo conceitos associados como reciclagem e central de biomassa. Essa etapa é parte de uma instalação mais abrangente, cuja finalidade principal é o tratamento completo dos resíduos sólidos, dentro dos conceitos de sustentabilidade e qualidade mais atuais para o setor.

A oportunidade de iniciar a recuperação energética do lixo no País e aumentar a geração local/regional de energia elétrica poderia contribuir para resolver situações que há muito constituem sérios problemas para a gestão pública, como saneamento básico, saúde pública e falta de energia por escassa margem de reserva entre oferta e demanda.

4.5.1 Requisitos ambientais

Ao longo de sua existência, o ser humano tem interferido em todas as cadeias produtivas e alimentares, com fortes reflexos ambientais que passaram de locais para globais, como o aquecimento, problemas climáticos, escassez de água potável e redução de produção de alimentos. Embora suas ações, na forma de um fenômeno social organizado, sejam recentes, os efeitos têm se acumulado, associado e acelerado ao longo do tempo, gerando diversas previsões pouco otimistas sobre seu futuro.

Estamos vivendo tempos muito turbulentos, de transição. É um período marcado por uma transformação na estrutura da sociedade em que, pela primeira vez na evolução humana, os meios de comunicação permitem rápido e intenso contato das pessoas e comunidades em qualquer parte do planeta. Esse intercâmbio crescente engloba também os aspectos ambientais, permitindo melhor entendimento do cenário global dos impactos das atividades do ser humano.

A partir do momento em que o ser humano começou a tomar consciência de que vive em um planeta com espaço e recursos limitados, frente ao tempo e ao porte do contexto astronômico conhecido, que o ambiente para a humanidade é único e passou a ter informações globais sobre as consequências de seus atos, foi possível começar a pensar e planejar melhor seu relacionamento com o meio ambiente.

Diversas questões se tornaram críticas para a humanidade no planeta, como a poluição do ar, o aquecimento global, os resíduos perigosos, a gestão de resíduos e a poluição da água, que o presente estudo pode abordar em seu campo de abrangência e/ou influência.

Os requisitos mais importantes em termos globais e de maior impacto nas ações e providências exigidas e necessárias para reversão da gravidade dos itens listados podem ser resumidos por:

1. Clube de Roma (Limites de crescimento);
2. Agenda 21 (Conceito 3R – Reduzir, Reutilizar, Reciclar);
3. Agenda de Kyoto (Emissões);
4. Conceitos de SGA (Sistema de Gestão Ambiental);
5. Conceitos de GIRS (Gestão Integrada de Resíduos Sólidos);
6. Conceito de Resíduo Último;
7. Conceito 4R (Reduzir, Reutilizar, Reciclar, Recuperar);
8. Redução de emissões e do volume de cinzas;
9. Conceito de Sustentabilidade.

Para o atendimento a esses requisitos é necessário um sistema gerencial que parte do reconhecimento das necessidades e estabelece padrões para o atendimento destas necessidades. O SGA da instalação de processamento deve não só visar manter os padrões que atendem a estas necessidades, mas também melhorar continuamente estes padrões a partir de uma visão estratégica.

O Sistema de Gestão Ambiental consiste de um conjunto de atividades planejadas, formalmente, que a empresa realiza para gerir ou administrar sua relação com o meio ambiente. É a forma pela qual a empresa se mobiliza, interna e externamente, para atingir e demonstrar um desempenho ambiental correto, controlando os impactos de suas atividades, produtos e serviços no meio ambiente. De

acordo com as normas, introduz na empresa uma postura de prevenção de ocorrências de impactos adversos ao meio ambiente.

Um fator importante em um SGA é a legislação ambiental, pois é necessário o atendimento das exigências contidas na legislação ambiental em vigor, à qual a empresa deve se submeter quando da licença do projeto, da instalação ou da expansão da capacidade.

Essa visão com enfoque de Qualidade envolve um desempenho ambiental satisfatório como ponto integrante do processo de gerenciamento, que busca um melhor aproveitamento das fontes energéticas e das matérias-primas, conduzindo para a constante redução de emissões e dos impactos ambientais, caracterizando uma produção mais limpa. Desta forma, constitui-se em um instrumento de obtenção de lucros, à medida que contribui para a competitividade da empresa.

Para a melhoria contínua dos processos, ou para sustentar uma melhoria alcançada, o principal método utilizado é o ciclo adotado para o gerenciamento de rotinas (ciclo PDSA de Deming) e para proposição e acompanhamento de melhorias (ciclo PDCA de Deming). A obtenção de melhorias é possível conjugando as duas formas de gerenciamento (manutenção e melhoria), assim melhorando e incrementando continuamente os padrões.

De forma preventiva, a empresa deve adotar um planejamento estratégico que permita uma gestão objetiva e focada no atendimento dos requisitos, com base em atividades em sintonia com a comunidade e o ambiente, integração aos esforços conjuntos para a sustentabilidade, observância do conceito 4R, planejamento de ciclo de vida (*ecodesign*), adoção de logística reversa e constante e preciso controle de processos.

4.5.2 Aspectos tecnológicos

Segundo a Agenda 21 da ONU de 1992, aproximadamente 5,2 milhões de pessoas – incluindo quatro milhões de crianças – morrem por ano de doenças relacionadas com o lixo. Metade da população urbana nos países em desenvolvimento não tem serviços de despejo de lixo sólido. Globalmente, o volume de lixo municipal produzido deveria dobrar até o final do século (já se ultrapassou esta marca) e dobrar novamente antes do ano 2025.

Somente os processos de reciclagem não poderão resolver o problema dos resíduos urbanos, até porque programas de vulto têm encontrado sérias dificuldades em criar condições de economia no aspecto local e acabam sendo desativados com o tempo, por mudança de gestores, ou mesmo nem implantados.

O desafio que se enfrenta, hoje, é a substituição da economia do descarte pela economia da redução / reutilização / reciclagem / recuperação. A Terra não pode mais tolerar poluição, uso de energia, perturbação da mineração e desmatamento exigidos pela economia do descarte. Há inúmeras soluções de ganho economicamente atraentes e ambientalmente desejáveis que podem ser extremamente proveitosas para a sociedade, na busca de uma resposta que trate as causas, ao invés dos sintomas da geração do lixo. Mas, para isso, é necessária uma vontade política que ainda não foi demonstrada pelos governantes, por diversos motivos...

A partir da geração desse volume de RSU, algumas perguntas podem ser feitas a seu respeito. Como evitar que isso cause problemas? Como transformar isso em algo benéfico? Como processar isso? Como otimizar seus resultados?

A Figura 4.13 representa as atuais opções para processamento de lixo e seus respectivos resultados em termos de saídas (*output*).

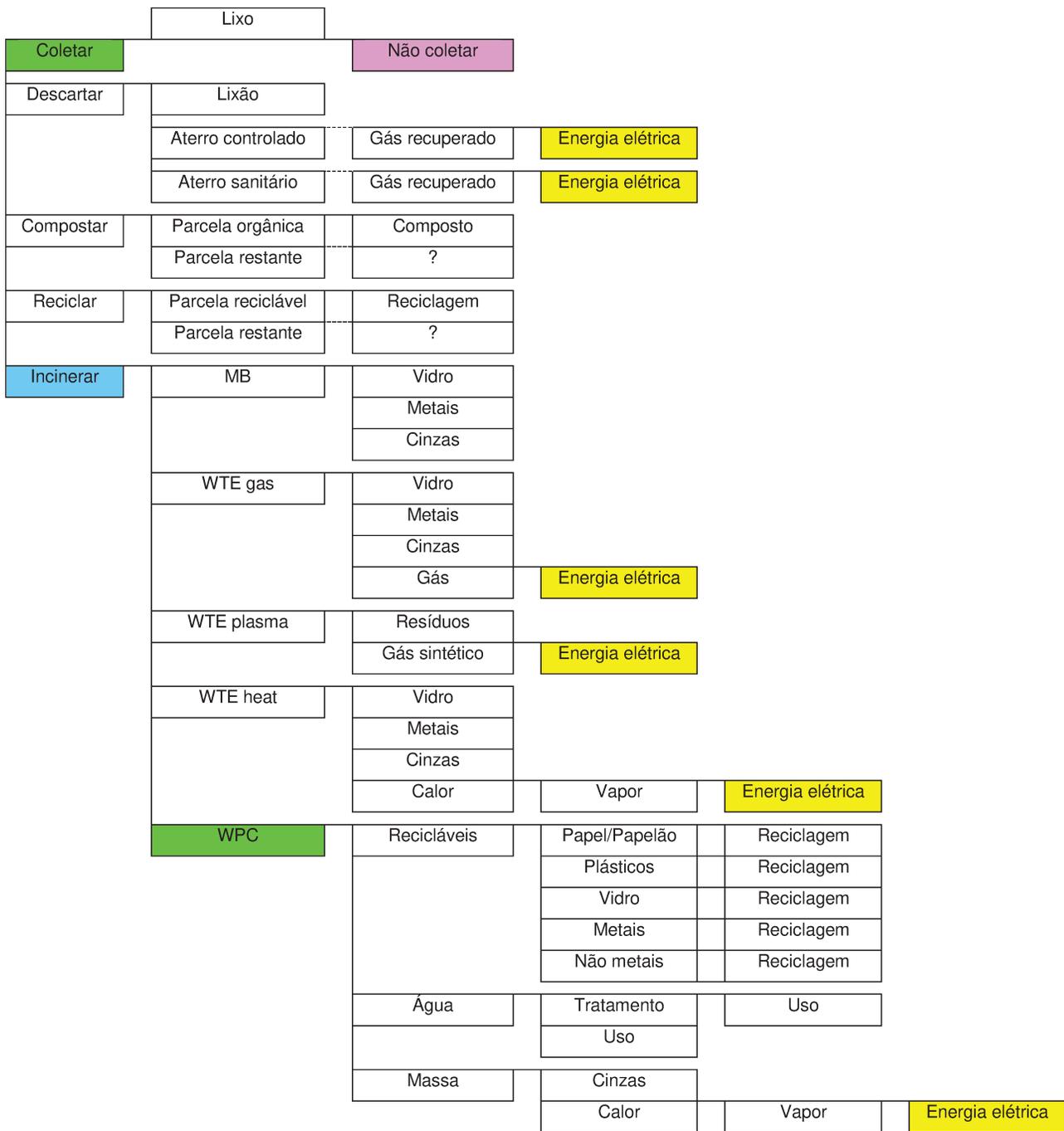


Figura 4.13 Opções de processamento de lixo

Sob os critérios de *origem e produção*, o lixo considerado neste estudo é do tipo *doméstico (MSW)*. Do ponto de vista da *composição química*, possui componentes *orgânicos e inorgânicos*. Analisando sua *destinação*, ocorrem três possibilidades:

1. *Descarte sem tratamento*: o lixo é depositado em lixões a céu aberto, sem tratamento de qualquer espécie. As limitantes de processo, neste caso, são os sérios problemas de saúde pública gerados pelo depósito, os custos de transporte do lixo até o lixão e os custos e a disponibilidade da área designada como lixão. Em termos de área utilizada, incorre-se em dilema fundamental: enquanto o descarte deve ser o mais distante possível da cidade, para evitar contato com a população e sua contaminação, deve ser o mais próximo possível para reduzir os custos de transporte do lixo.
2. *Descarte com tratamento*: o lixo é depositado em aterros controlados ou sanitários. As limitantes de processo são os problemas de saúde gerados pelo depósito (embora com dimensões menores que no caso anterior, ocorrem com a mesma intensidade), os custos de transporte do lixo até o local e os custos e a disponibilidade da área designada para depósito. O mesmo dilema ocorre em termos de localização da área do descarte e dos custos de transporte.
3. *Descarte com processamento*: o lixo é encaminhado a processamentos diferenciados, segundo a natureza e a destinação desejada dos componentes separados. Os componentes inorgânicos, especialmente plásticos, vidro, papel, metais e não metais, são destinados à reciclagem industrial. Os componentes orgânicos separáveis são encaminhados à reciclagem orgânica, como compostagem. Os componentes residuais ou que não permitem reciclagem são eliminados através de incineração ou depositados em aterros sanitários. As limitantes de processo, no caso da reciclagem industrial, são os custos do processo em si, os custos da separação dos componentes a partir do lixo e o caráter ainda incipiente da coleta seletiva junto à sociedade. No caso da reciclagem orgânica, as limitantes de processo são os custos da separação dos

componentes a partir do lixo, os custos de transporte dos componentes antes do beneficiamento e do produto final após a reciclagem, e os custos e a disponibilidade da área destinada à reciclagem em si. No caso da incineração, as limitantes passam pelos custos do equipamento utilizado, pelos custos dos tipos e sistemas de controle de processo e pelo grau de aceitação/rejeição do processo pela sociedade, devido ao conceito de geração de poluição. No caso de deposição dos resíduos em aterro, as limitantes são os problemas de saúde gerados pelo aterro, os custos de transporte do lixo até o local e os custos e a disponibilidade da área designada para depósito, além do dilema em termos de localização da área e dos custos de transporte, que sempre requer uma otimização.

No caso de descarte por incineração, devem ser diferenciados os processos:

1. MB (Mass Burning), originalmente introduzido no Japão para queima do lixo por razões de falta de espaço físico para armazenagem;
2. WTE gas (Waste To Energy), resultante da adoção de um sistema MB com recuperação do gás emitido, para utilização na geração de energia elétrica;
3. WTE plasma (Waste To Energy), resultante da aplicação de plasma térmico de forma controlada na queima do lixo, visando à recuperação do gás sintético gerado para utilização na geração de energia elétrica;
4. WTE heat (Waste To Energy), resultante da adoção de um sistema MB com aproveitamento do calor para geração de vapor, visando sua aplicação para aquecimento e/ou geração de energia elétrica;

5. WPC (Waste Processing Center), resultante da adoção de um processo combinado para tratamento completo do lixo, envolvendo recicláveis, água e aproveitamento de calor e vapor para geração de energia elétrica.

4.5.3 Geração de energia elétrica a partir de RSU

O processo objeto deste estudo é do tipo WPC, resultante do conceito de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (GIRS) da Agenda XXI. Atualmente, diversos técnicos e especialistas em GIRS reconhecem que, quanto mais se recicla, mais a incineração se torna a solução adequada para os resíduos restantes, especialmente na aplicação do conceito de levar para os aterros apenas os "resíduos últimos".

O conceito de "resíduo último" foi introduzido na França em 1992, por meio de legislação específica, definindo *"aquele que não é mais passível de tratamento, nas condições técnicas e econômicas do momento, principalmente para a extração da parte de valor do mesmo, ou até para reduzir o seu caráter poluente ou perigoso"*.

Este conceito identifica um "resíduo último" como um resíduo terminal, como balizamento para os resíduos a serem aterrados, e tem incrementado a tendência mundial de aumentar a utilização da incineração como um recurso eficaz para reciclar a energia contida nos resíduos e enviar somente um teor reduzido de cinzas para aterramento.

Os custos logísticos e de transporte são significativamente reduzidos. Isso se torna uma grande vantagem, pois o lixo de aterros consome espaço e recursos. A nova

PNRS do Brasil expressa bem essa diferença entre “resíduos” e “rejeitos” e suas destinações.

Enviar ao aterro materiais/resíduos que possam ser reutilizados, reciclados ou recuperados atualmente se revela inadequado, tanto economicamente quanto ecologicamente. Nesse contexto, tem aumentado a intenção de recuperação de gases, para geração de energia elétrica, e de chorume, para tratamento junto aos esgotos. No entanto, a grande massa permanece para o futuro (RIBEIRO, 2009). Seu valor potencial de aproveitamento é imenso, mas dessa forma está destinado a se perder.

Em um mundo de população crescente, padrões de vida subindo e urbanização aumentando, o volume de lixo gerado diariamente está progressivamente aumentando. As quantidades gigantescas de lixo que são transportadas aos aterros, se acumulam em lixões a céu aberto, ou simplesmente são jogadas e esquecidas em qualquer terreno, aumentaram a ponto de se tornarem um problema de maior importância ambiental.

Entretanto, desenvolvimentos tecnológicos, condições econômicas e tendências de políticas públicas estão agora se alinhando para criar uma oportunidade de mercado significativa para centrais termelétricas a lixo - CTL (*waste-to-energy - WTE*), que utilizam o lixo doméstico fresco, ou resíduos sólidos urbanos RSU (*municipal solid waste - MSW*) como base para a geração de energia elétrica e térmica.

Atualmente, mais de 900 centrais termelétricas CTL operam em todo o mundo e processam um volume estimado de 200 milhões de toneladas de RSU, com uma geração de aproximadamente 130 terawatt-hora (TWh) de energia elétrica. O lixo coletado nas cidades contém grandes quantidades de materiais biológicos e renováveis sendo, portanto, uma fonte promissora de energia renovável. Como consequência, a energia a partir do lixo é uma forte contribuição potencial para a segurança e a diversificação da energia, além de atender à crescente demanda por energia renovável em um mundo cada vez mais sufocado pelo carbono (PIKE RESEARCH, 2011).

Segundo o IPT (2000), os custos de disposição em aterros tendem a se elevar com o tempo, principalmente nas grandes cidades, o que provavelmente tornará o processo de incineração com geração de energia elétrica economicamente mais atraente nesses locais. Mundialmente, já se observa forte tendência nesse sentido. No Brasil, até o momento, as aplicações da tecnologia de incineração se restringem ao processamento de resíduos perigosos e de alto risco, industriais, hospitalares e aeroportuários, e pouco tem sido efetivamente realizado no que se refere à recuperação da energia contida.

Menciona o IPT que o Brasil ainda se encontra nos estágios iniciais de iniciativas com respeito à reciclagem e à recuperação de energia e já deveria considerar a implantação de termelétricas a lixo e, desta forma, buscar o equacionamento simultâneo do tratamento ambientalmente correto do lixo e dos problemas de energia.

Hoje não há, efetivamente, projetos representativos neste aspecto, enquanto a nível mundial ocorre o contrário, com a tendência de aproveitar os resíduos sólidos urbanos (RSU) para a geração de energia. Não é concebível, hoje, um projeto de tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) sem a reciclagem de energia. Evidentemente o potencial de geração de energia está diretamente atrelado ao poder calorífico real dos resíduos processados.

Outro fator relevante para a adoção do processamento de resíduos com geração de energia elétrica é dado pelo cenário nacional de geração de energia elétrica. Aumenta a perspectiva de falta de fornecimento, provocada pela interrupção de investimentos e pela necessidade de dar sustentação ao crescimento do País.

Numa comparação simples, a utilização de processos de incineração, como alternativa aos lixões e aterros, apresentaria um quadro mais favorável do ponto de vista de impactos ambientais, como:

- Reaproveitamento energético do lixo, com geração de energia elétrica, por meio da produção de vapor, água quente/gelada com alta eficiência térmica;
- Significativa redução da necessidade de área para a instalação de aterros novos ou de suas expansões;
- Eliminação de impactos ambientais na criação de novos aterros ou expansões dos existentes;
- Eliminação dos impactos e custos decorrentes das atividades de cuidado e manutenção de aterros pelo período de cinquenta anos após seu encerramento e lacração;
- Eliminação total dos efeitos de contaminação de águas superficiais, lençóis freáticos e mananciais subterrâneos de água potável disponíveis;
- Eliminação da emissão de gases pelos aterros, especialmente metano e dióxido de carbono (a emissão do metano tem efeitos 25 vezes mais prejudiciais que o dióxido de carbono no efeito estufa);
- Redução das distâncias percorridas pela frota de caminhões no transporte de lixo a aterros cada vez mais distantes, com a consequente redução dos impactos causados ao meio ambiente pelas emissões dos veículos, ao trânsito e às estradas;
- Redução das despesas envolvidas na logística da movimentação do lixo, direta ou indiretamente custeadas pelo erário público;
- Eliminação dos problemas de natureza social, de higiene e de saúde criados pela convivência da comunidade com os aterros, além da

catação de alimentos/materiais, com a conseqüente eliminação dos custos sociais e hospitalares, também bancados pelo erário público.

- Melhor ocupação de espaços disponíveis para iniciativas mais nobres e adequadas à comunidade local.

Na visão manifestada pela nova PNRS brasileira, os aterros passariam a receber somente os resíduos finais (rejeitos), ou seja, os elementos do lixo que tivessem esgotado o seu potencial de processamento nas etapas de reutilização, reciclagem e recuperação. Dessa forma, estariam destinadas aos aterros somente as parcelas referentes às cinzas da incineração e aos resíduos de filtragem, reduzindo significativamente os fluxos de material para os aterros, seus respectivos custos logísticos, o espaço necessário para seu funcionamento e seu nível de poluição.

4.5.4 Aspectos econômicos

Durante muito tempo, a Economia se ocupou do conjunto de relações estabelecidas pelos homens em suas atividades de produção, de consumo e de troca. A Economia é uma ciência dinâmica. Evolui constantemente para refletir as tendências mutáveis nas questões econômicas, no meio ambiente, nas economias doméstica e mundial e na sociedade como um todo. Nesse contexto, o meio ambiente era considerado como uma "realidade externa" ao objeto da Economia.

Nos últimos tempos, essa concepção está sendo modificada, face a uma acelerada evolução científica nesse campo de conhecimento, propiciando a integração

do meio ambiente à Economia, tanto em termos conceituais como em termos de ferramentas analíticas.

Em Economia Ambiental, essa discussão passa pela atribuição de valor ao meio ambiente, aos recursos naturais, uma vez que eles sempre foram considerados bens gratuitos. Outra forma de observar esse tema passa pela discussão de como os impactos ambientais podem ser mensurados, ou seja, como determinar valores do meio ambiente que expressem os custos de degradação e de exaustão.

Também é bastante atual a discussão sobre os principais conceitos de Economia relacionados com as questões ambientais, incentivando os participantes a efetuar análises econômicas do meio ambiente, cuja elaboração permite análises e estudos de impacto ambiental e avaliação de projetos econômicos que envolvam problemas ambientais, bem como de projetos ambientais que dependam de variáveis econômicas.

Os estudos das áreas principais da Economia se concentram em conceitos como escassez, eficácia, ganhos com a especialização, princípio da vantagem comparativa, oferta e demanda agregadas e o papel da moeda nos cenários doméstico e internacional. Desta forma, entendem-se a teoria amplamente aceita do crescimento econômico e também as teorias controversas sobre o ciclo de negócios. Isso é hoje cada vez mais esclarecedor no tocante ao enfoque dos problemas ambientais.

Um dos aspectos mais marcantes da Economia moderna é a rapidez das inovações em praticamente todos os setores. O entendimento das tendências e políticas econômicas e de seus reflexos no meio ambiente precisa refletir essa mudança constante. Assim, enfatiza-se a importância da tecnologia, das invenções e do capital humano no processo de crescimento, enquanto se examinam os dilemas para a formação de valores nesse contexto.

Outros aspectos importantes são as análises dos novos mecanismos econômicos, a medição de preços ao consumidor, as implicações da eficácia econômica e do poder de mercado, a utilização dos bens globais e as novas abordagens em torno dos problemas ambientais internacionais como, por exemplo, o Protocolo de Kyoto.

Duas áreas que na última década estiveram na fronteira da teoria econômica recebem agora extensa abordagem: a Economia Ambiental, que ajuda a entender as externalidades associadas à atividade econômica, e a Economia Internacional, que permite uma visão integrada das vantagens comparativas de micro e macroeconomia, com a interação entre os eventos de comércio internacional e de Economia doméstica e seus consequentes impactos no setor ambiental.

Demonstrou-se que a macroeconomia, em suas diferentes versões e correntes, enfatiza aspectos diferentes das expectativas, do equilíbrio de mercado e da demanda agregada. Centralizando-se a análise no crescimento econômico e em seus desdobramentos, o crescimento surge como parte da oferta agregada e do produto potencial, base principal do meio ambiente, considerando as etapas de desenvolvimento econômico depois do crescimento econômico.

Apoiando-se na história, em Economia e na experiência vivida nos últimos séculos, é necessário enfatizar a necessidade de consistentes estudos para demonstrar a real gravidade dos aspectos econômicos ligados ao meio ambiente e a natureza e a abrangência das providências necessárias para efetuar, em tempo hábil, as devidas correções e replanejamentos de decisões comerciais. Experiências do mundo real e exemplos como o Protocolo de Kyoto, o controle de poluentes e os debates sobre as implicações sobre a saúde são fundamentais e ajudam na compreensão da relevância da análise econômica proposta para os problemas do mundo real em termos de meio ambiente.

Mais que nunca, a sociedade deve agir com firmeza, clareza e objetividade na análise dos princípios da Economia moderna e suas principais instituições, na avaliação das atividades e seleção das que são relevantes à sua sobrevivência e continuidade. Além de propor as opções e as regras de comportamento econômico para a sociedade, o cidadão e o economista devem estar conscientes de que a abordagem do meio ambiente e de suas questões não se resume exclusivamente a um problema econômico, manifestado no cotidiano financeiro. Ela deve ser multidisciplinar e interdisciplinar e sua principal contribuição, acima de qualquer motivação ou ideologia, deve ser a de ajudar a equacionar a interação entre o ser humano e o meio ambiente.

Preocupações atuais como a sustentabilidade, a compatibilização do crescimento e da disponibilização de recursos, de forma sistêmica e harmoniosa, sem a geração de novas problemáticas, devem ser metas permanentes, com a busca das respectivas formas econômicas (SAMUELSON, 2004; EURITS, 2011; IBAM, 2011; ABPL, 2011; ANRE, 2011).

Do ponto de vista econômico, resíduo ou lixo é todo material que uma dada sociedade ou agrupamento humano desperdiça. Isso pode ocorrer por diversas razões, como problemas ligados aos meios para se realizar o aproveitamento do material descartado, falta de desenvolvimento de mercados para produtos recicláveis, falta de informação e divulgação adequadas, demanda insuficiente, falta de demanda primária, além das tradicionais inércia e falta de vontade. Ainda do ponto de vista econômico, o lixo é um bem sem valor atribuído. Seu valor de uso e seu valor de troca são nulos para o proprietário ou detentor. Na prática, o proprietário pode até estar disposto a pagar para se ver livre do lixo!

Neste estudo, lixo domiciliar ou lixo doméstico fresco será entendido como todo material ou resíduo sólido urbano (RSU), sem bagulho ou entulho (RCD), ao qual seu proprietário ou possuidor não mais atribui valor e dele deseja se descartar, atribuindo ao poder público a responsabilidade e os direitos por sua disposição final. Esse lixo não terá origem industrial ou de obras civis.

Segundo a ABRELPE (2011), os 5.564 municípios do Brasil geraram em todo o ano de 2011 um volume de RSU de 61,9 milhões de toneladas. Desse total, 10,3% permaneceram sem coleta, sendo coletados os restantes 55,5 milhões de toneladas.

Dos dados que retratam o setor dos serviços públicos relativos aos RSU pode-se destacar a expressiva força de trabalho constituída por cerca de 311.000 empregos diretos gerados pelo setor em todo o País. Isso resulta, a grosso modo, em 0,49 toneladas/pessoa.dia.

Segundo a ABRELPE (2011), a avaliação do mercado de serviços de coleta de RSU supera a casa dos R\$ 21 bilhões. Adotando esse valor como referência, resulta um custo aproximado de R\$ 342,41 por tonelada coletada. A Tabela 4.6 ilustra os principais valores associados ao setor de limpeza pública (ABRELPE, 2011).

Tabela 4.6 Características do setor de RSU

Característica	2008	2009	2010	2011
Geração de lixo (Mt)	52,9	57,0	60,9	61,9
Variação (%)	nd	7,7	6,8	1,8
Coleta de lixo (Mt)	46,6	50,3	54,2	55,5
Variação (%)	nd	8,0	7,8	2,5
Lixo sem coleta (%)	11,9	11,7	11,0	10,3
Valor de mercado (MR\$)	16.836	17.473	19.198	21.195
Empregos (unidades)	264.779	283.734	298.327	311.577
Custo (R\$/t)	318,26	306,54	315,24	342,41
Custo (R\$/pessoa)	63,59	61,58	64,35	68,03

Fonte: ABRELPE (2011).

Segundo o artigo “Tentando salvar o PAC” de domingo, 26 de Julho de 2009 de O Estado de São Paulo, Notas & Informações, na área de saneamento muitos prefeitos enfrentavam - e continuam a enfrentar - um problema dramático: sabiam da disponibilidade dos recursos do PAC, tinham consciência das carências de seus municípios, mas não dispunham de recursos financeiros nem de pessoal capacitado para elaborar o projeto e providenciar as demais exigências.

Em diversos casos, as prefeituras precisam também demonstrar capacidade de investir uma parte dos recursos. A contrapartida pode chegar a 20% do total do projeto, dos 40% previstos originalmente. A deficiência da falta de projetos é séria, pois tem como causa a incapacidade técnica e financeira das prefeituras de elaborá-los.

No Brasil, a grande maioria dos municípios não consegue gerar receita suficiente para manter a estrutura administrativa e política local e fazer os investimentos necessários à preservação e melhoria dos serviços sob sua responsabilidade. Depende fortemente de transferências da União e dos Estados e não tem condições nem de elaborar projetos próprios. Conforme demonstrado pelos resultados deste trabalho, esse fator é determinante em todos os aspectos de vida dos municípios, em relação aos investimentos necessários.

Por outro lado, é muito raro um município cuja estrutura administrativa não tenha se transformado em significativo cabide de empregos, como resultado da acomodação de interesses político-partidários e/ou pessoais.

Como verificado nas referências pesquisadas, o estabelecimento de custos no setor de energia é complexo e sofre variações significativas conforme as circunstâncias e os processos adotados, além de suas especificidades. Estudos abrangentes como BRASIL (2003) e TOLMASQUIM (2005) indicam valores com grande variação, o que também é indicado nos demais estudos. Para fins de visão comparativa entre processos, a Tabela 4.7 ilustra uma projeção de custos para instalações previstas para entrar em operação em 2016. Os resíduos sólidos estão sob o item “biomassa”.

Tabela 4.7 Projeção comparativa de custos 2016

Tipo de usina	Fator de capacidade (%)	Custos nivelados médios nos EUA (\$/MWh em 2008) para usinas iniciando operação em 2016				
		Custo de capital nivelado	O&M fixos	O&M variáveis (inclui combustível)	Investimento para transmissão	Custo total nivelado do sistema
Carvão (convencional)	85,0	69,2	3,8	23,9	3,6	100,4
Carvão (avançada)	85,0	81,2	5,3	20,4	3,6	110,5
Carvão com CCS (avançada)	85,0	92,6	6,3	26,4	3,9	129,3
A gás natural						
Ciclo combinado convencional	87,0	22,9	1,7	54,9	3,6	83,1
Ciclo combinado avançado	87,0	22,4	1,6	51,7	3,6	79,3
CC avançado com CCS	87,0	43,8	2,7	63,0	3,8	113,3
Turbina combustão convencional	30,0	41,1	4,7	82,9	10,8	139,5
Turbina combustão avançada	30,0	38,5	4,1	70,0	10,8	123,5
Nuclear (avançada)	90,0	94,9	11,7	9,4	3,0	119,0
Eólica	34,4	130,5	10,4	0,0	8,4	149,3
Eólica – offshore	39,3	159,9	23,8	0,0	7,4	191,1
Solar – fotovoltaica	21,7	376,8	6,4	0,0	13,0	396,1
Solar – térmica	31,2	224,4	21,8	0,0	10,4	256,6
Geotérmica	90,0	88,0	22,9	0,0	4,8	115,7
Biomassa	83,0	73,3	9,1	24,9	3,8	111,0
Hidro	51,4	103,7	3,5	7,1	5,7	119,9

Fonte: adaptada de Energy Information Administration, Annual Energy Outlook 2010, December 2009, DOE/EIA-0383 (2009)

Neste trabalho, os custos foram calculados com base nos dados do processo WPC utilizado, custos fixos e variáveis de toda a instalação, custos operacionais e de capital, tributos e benefícios. A partir de dados técnicos reais de eficiência das diversas etapas e de um rendimento total, foram calculados os custos por energia gerada e por RSU processado. Trata-se de caso específico e de difícil enquadramento nos estudos referenciados.

4.5.5 Meio ambiente e controle de poluição

Dentro de uma visão sistêmica, a presença do lixo surge como elemento final de uma cadeia de suprimentos necessária e organizada para assegurar a sobrevivência do ser humano. Visto de forma simplista, trata-se de um mal necessário. Mas o crescente e acelerado aumento da demanda, devido ao crescimento populacional, ao desenvolvimento tecnológico e ao consumismo cada vez mais desenfreado, está levando a uma crise ambiental.

O aumento descontrolado do consumo pelo ser humano, em geral, tem provocado a geração de volumes progressivamente crescentes de lixo de todos os tipos, causando desequilíbrios, problemas associados à saúde pública, danos ambientais e degradação de recursos naturais.

A incineração do lixo, como processo isolado, começou a ser utilizada com a finalidade de reduzir o volume do lixo a ser depositado (em lixão ou aterro), através de combustão controlada. Em geral se conseguem reduções de peso da ordem de 75% e de volume da ordem de 90%. A incineração pode ser considerada como um tratamento adequado para resíduos sólidos de alta periculosidade, como o lixo hospitalar, que não será objeto deste trabalho, permitindo reduzir significativamente o volume do lixo

tratado e não necessitando de grandes áreas quando comparada aos aterros sanitários; além da possibilidade do aproveitamento da energia gerada na combustão.

Os principais problemas das instalações iniciais de incineração, inclusive no Brasil, estavam relacionados aos impactos ambientais acarretados pela produção de componentes tóxicos e metais pesados presentes nas cinzas depositadas ou suspensas no ar, nas emissões gasosas, na eventual poluição das águas e pelas reclamações das comunidades vizinhas com respeito ao odor e a coceiras na pele.

Segundo YOUNG (2010), alguns problemas associados aos incineradores envolvem o controle da combustão, para se evitar prejuízos de natureza econômica e ambiental. No caso de combustão incompleta, podem surgir monóxido de carbono e particulados que acabam sendo lançados na atmosfera, como fuligem ou negro de fumo. No caso de temperaturas excessivas, pode ocorrer dissociação de nitrogênio, surgindo compostos resultantes de sua combinação com o oxigênio.

Com o desenvolvimento tecnológico verificado na última década, elementos e sistemas de medição, controle e automação em tempo real ficaram disponíveis e facilitaram sua aplicação em novas instalações de incineração, que hoje podem ser consideradas como a solução final no processamento do lixo. Elas incorporam a etapa de recuperação energética do lixo por meio das etapas de turbinas a vapor, geradores e inserção de energia elétrica na rede, e satisfazem o conceito 4R com destinação final.

Nos últimos 15 anos a tecnologia de incineração passou por significativo avanço, principalmente em seus aspectos de produtividade. No mundo desenvolvido ocorreram o aumento do desempenho energético e o desenvolvimento das normas de proteção ambiental, enquanto a população passava a estar mais atenta aos problemas de poluição. Foram introduzidos sistemas complexos de lavagem de gases, para reduzir as emissões de gases ácidos, com a neutralização de HCl, SO_x, HF e metais pesados.

O projeto das caldeiras e os processos de combustão dos orgânicos foram muito melhorados, a automação passou a ser centralizada e multiplicaram-se os centros de tratamento com cogeração de energia. Com os movimentos verdes e a pressão ambientalista global, o tratamento de gases tornou-se ainda mais sofisticado, perseguindo a meta de Emissão Zero; avançaram os sistemas para a remoção de outros poluentes mais críticos, como NO_x, dioxinas e furanos; surgiram tecnologias avançadas, como o plasma térmico.

Vários processos se tornaram mais sofisticados na etapa do pré-tratamento do lixo, anterior à incineração, para aumentar a sua homogeneização, reduzir a umidade e melhorar o poder calorífico, visando transformá-lo em um combustível de melhor qualidade, para a máxima geração de energia.

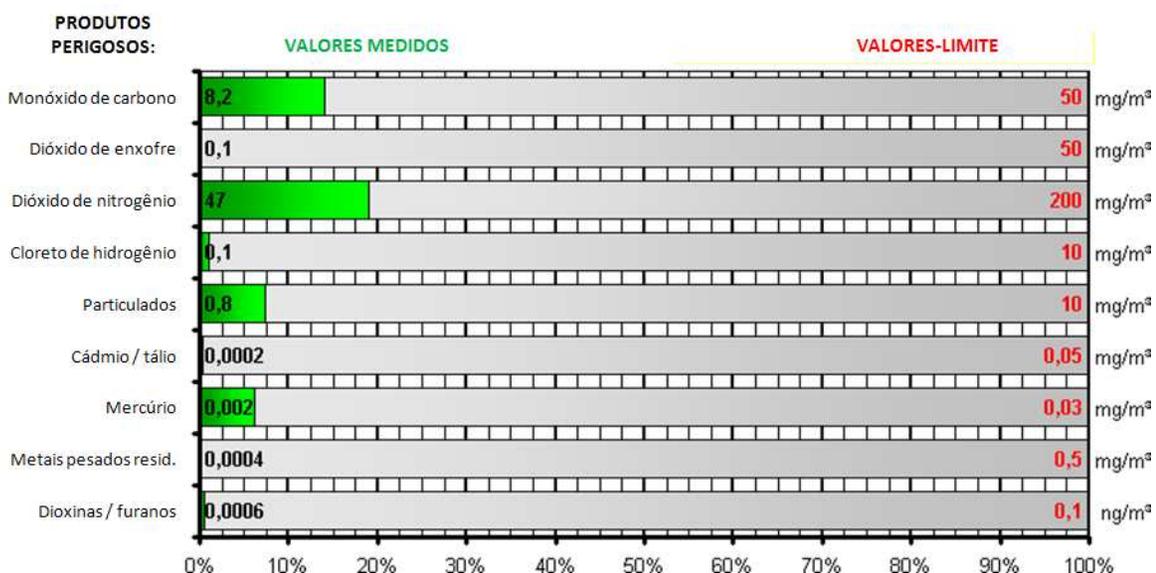
Sofisticaram-se também os processos de combustão, com o refinamento dos sistemas de turbilhonamento, secagem, ignição e controle da combustão. Os sistemas de controle e instrumentação incorporam hoje as mais recentes evoluções tecnológicas e de sistemas informatizados, permitindo monitoramento, análises e decisões em tempo real. Isso facilita a gestão das usinas e reduz a probabilidade de acidentes.

Um processo de incineração não pode existir sem estar interconectado a um sistema tecnologicamente avançado de depuração de gases e de tratamento e recirculação dos líquidos de processo. Estes sistemas são projetados para cada tipo de resíduo a ser processado e, de forma abrangente, estão normalmente baseados em sistema quencher, lavagem ácida de halogêneos, lavagem alcalina e remoção final com lavador de aerossóis ou filtros de manga.

Na etapa de lavagem ácida é feita a retenção inicial do material particulado inerte e a neutralização dos ácidos, com tecnologias específicas para remoção de mercúrio Hg(O), HCl, HF e óxidos, metais pesados classe I, II e III, além de controle das dioxinas e furanos (PCDD/PCDF).

A lavagem alcalina neutraliza os poluentes ácidos e contribui para retenção de outros poluentes, com reação em ambiente com alto pH. A remoção final da parte muito fina de particulado (menor que 0,7 μm) é feita em lavador de aerossóis ou em filtros de manga. Os efluentes líquidos são tratados e reciclados, incluindo processos proprietários de neutralização de efluentes ácidos, regeneração de soda, sedimentação e dessalinização.

Atualmente estão disponíveis filtros catalisadores projetados para a retenção de dioxinas e furanos. Empresas com sólido *know-how* nessa área projetam e instalam sistemas modernos, de nova geração, que garantem emissões para a atmosfera ou corpo líquido bem menores que os limites máximos exigidos pelos mais rígidos requisitos das legislações ambientais. A Figura 4.14 ilustra um caso típico de protocolo de controle de uma instalação de incineração atual típica, moderna, em que o valor medido máximo corresponde a apenas 20% do limite especificado para esse produto (BSU, 2010).



Fonte: BSU (2010)

Figura 4.14 Valores medidos em emissões de incineração atual e moderna

Conforme a legislação brasileira, a incineração de resíduos sólidos é regida pela Resolução CONAMA 316/02, que abrange resíduos industriais, urbanos, resíduos de serviços de saúde e fornos crematórios. As seguintes etapas são consideradas:

- Preparação e forma de alimentação do resíduo
- Câmara(s) de combustão
- Controle das emissões atmosféricas
- Manuseio das cinzas e destinação final adequada

Todos os resíduos sólidos gerados pelo sistema de incineração devem ser classificados conforme a Norma Técnica da ABNT/ NBR 10004, para direcionamento da disposição final adequada. Não deve haver presença de materiais voláteis (compostos orgânicos) nas cinzas e escórias quando analisadas conforme a NBR 10664.

Os resíduos sólidos gerados devem ser dispostos em aterros compatíveis e projetados conforme normas técnicas NBR 13896, NBR 8418 e NBR 10157. O armazenamento provisório dos resíduos sólidos gerados deve atender às normas técnicas NBR 11174 e NBR 12235.

O lançamento de efluentes líquidos em corpos d'água deve atender aos limites de emissão e aos padrões de qualidade dos corpos receptores estabelecidos na Portaria SSMA n.º 05/89 - que aprova a Norma Técnica SSMA n.º 01/89 - referente a Critérios e Padrões de Emissão para Efluentes Líquidos e na Resolução CONAMA n.º 020/86, de 18/06/86 e demais exigências estabelecidas no Licenciamento Ambiental.

Segundo a CETESB, os padrões de qualidade do ar definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera que garanta a proteção da saúde e do meio ambiente. Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos

científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada.

Os padrões nacionais foram estabelecidos pelo IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e aprovados pelo CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente, por meio da Resolução CONAMA 03/90.

Uma instalação de incineração está diretamente relacionada a esses itens e pode ser enquadrada, portanto, pelos requisitos de natureza ambiental que, de forma progressiva, levam ao estabelecimento de diretrizes mais restritivas para licenciamento e operação de empresas que possam exercer impacto potencial no meio ambiente.

Especialmente no quesito controle a empresa deverá empregar métodos bastante modernos, visando impedir os mais diversos tipos de emissões, em função da variedade e do teor dos componentes do lixo. O tratamento das emissões deverá ser o mais eficiente possível, como exige a legislação, baseando-se em procedimentos e rotinas de monitoramento nos seguintes níveis e variáveis: (FEPAM, 2011):

- **Contínuo**

- Temperatura dos gases na saída da câmara primária de combustão;
- Temperatura dos gases na saída da última câmara de combustão;
- Pressão na câmara primária de combustão;
- Taxa de alimentação dos resíduos (alimentação contínua);
- CO;
- Oxigênio na saída de última câmara;
- Opacidade.

- **Não contínuo**

- Material particulado;
- Monóxido de carbono;

- Óxidos de enxofre;
 - Óxidos de nitrogênio;
 - Ácido clorídrico;
 - Ácido fluorídrico.
 - Metais pesados
- **Especial**
 - Dioxinas e furanos
 - expresso em concentração de dioxinas e furanos em termos de toxicidade equivalente TEQ (Toxicidade Equivalente ao 2,3,7,8 Tetraclorodibenzodioxina) (TCDD)

São estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar: os primários e os secundários. São padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo.

São padrões secundários de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo.

O objetivo do estabelecimento de padrões secundários é criar uma base para uma política de prevenção da degradação da qualidade do ar. Devem ser aplicados às áreas de preservação (por exemplo: parques nacionais, áreas de proteção ambiental, estâncias turísticas, etc.). Não se aplicam, pelo menos a curto prazo, a áreas de desenvolvimento, onde devem ser aplicados os padrões primários.

Os parâmetros regulamentados são: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. A mesma resolução estabelece ainda os critérios para episódios agudos de poluição do ar. A declaração dos estados de Atenção, Alerta e Emergência requer, além dos níveis de concentração atingidos, a previsão de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes.

As emissões residuais de poluentes, lançadas na atmosfera, devem apresentar valores abaixo daqueles estabelecidos pela Resolução CONAMA 316 e pela Norma NBR 11.175 da ABNT, comparados na Tabela 4.8 aos padrões do US EPA (Agência de Proteção Ambiental Norte Americana).

Tabela 4.8. Padrões comparativos de emissões de US EPA, Resolução CONAMA 316 e NBR 11.175

Poluentes	Padrões EPA	CONAMA 316	NBR 11.175
Material particulado	34 mg/Nm ³	70mg/m ³	70mg/Nm ³
Dióxido de Enxofre	80% redução ou 30 ppm	280mg/m ³	280mg/m ³
Monóxido de Carbono	100 ppm	100ppm	100ppm
Ácido Clorídrico	95% redução ou 25 ppm	80mg/m ³ até 1,8kg/h	1,8kg/h ou 99% de remoção para resíduos com mais de 0,5% de Cl
Ácido Fluorídrico	---	5mg/m ³	5mg/Nm ³
Óxidos de Nitrogênio	180 ppm	560mg/m ³	560mg/Nm ³
Dioxinas e Furanos Totais	30 ng/Nm ³	0,50ng/Nm ³	---

Fonte: NIEAD/UFRJ

A necessidade de gerar subsídios para a determinação dos níveis de ocorrência apresentados para cada tipo de poluente na operação ininterrupta, para verificação da conformidade com os parâmetros operacionais estabelecidos e com o padrão de desempenho desejado, além da fiscalização do processo e da realização de pesquisas correlatas ao controle da poluição, requer a implantação de uma infraestrutura laboratorial adequada. Na amostragem de emissões atmosféricas, os serviços de coleta e análise devem seguir e estar em conformidade com procedimentos da US EPA para os mais variados parâmetros.

Segundo EUROPA 2 (2011), o planejamento da gestão dos resíduos é a pedra angular de qualquer política de gestão de resíduos nacional, regional ou local.

A legislação disponível mais atualizada sobre incineração é a Diretriz 2000/76 de Dezembro de 2000, da Comunidade Européia, referente ao processo de incineração de resíduos, sua abrangência e seus limites de emissões e aplicável a instalações de incineração e co-incineração. Fica claro, em seu texto, o objetivo de limitar, controlar e reduzir os níveis de emissões de NO_x, SO_x, metais pesados e dioxinas/furanos resultantes do processo para o bem da saúde pública, em virtude dos efeitos danosos de diversos componentes presentes ao longo do tempo (EUROPA 2, 2011).

Os itens de maior destaque são o Anexo I (p. 13), relativo aos fatores de equivalência das dioxinas em termos de toxicidade e concentração, com base nas considerações sobre a ocorrência e o grau de periculosidade apresentado (p. 7); o Anexo IV (p. 18), com os valores-limite para ocorrência de cada tipo de poluente na água de lavagem liberada após o processamento, e o Anexo V (p. 19), com os valores-limite de cada tipo de poluente nas emissões para a atmosfera (EUROPA 2, 2011).

5. Área de estudo

Os municípios do Brasil são uma circunscrição territorial dotada de personalidade jurídica e com certa autonomia administrativa, sendo as menores unidades autônomas da Federação. Segundo a Constituição de 1988, cada município tem sua própria Lei Orgânica que define a sua organização política, mas limitada pela Constituição Federal.

O Brasil tem 5.565 municípios em todo o território nacional, alguns com população maior que a de vários países do mundo (por exemplo, a cidade de São Paulo, com cerca de 11 milhões de habitantes), outros com menos de mil habitantes; alguns com área maior do que vários países no mundo (por exemplo, Altamira, no Pará, é quase duas vezes maior que Portugal), outros com menos de quatro quilômetros quadrados. A distribuição de municípios nos estados é diferenciada e heterogênea, bem como sua participação em regiões administrativas (IBGE, 2008b).

Para uma análise da geração de RSU no território nacional seria necessário investigar os dados de distribuição de população por estado e região, além dos dados referentes à geração do lixo e sua distribuição por município/região. O universo para esse estudo recomenda análises setoriais, devido às grandes diferenças encontradas entre as regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e as demais (Sudeste e Sul), devidas principalmente às diferenças de extensão geográfica de cada região e aos fatores climáticos predominantes em cada uma delas, que afetam diretamente os valores de densidade demográfica a serem considerados. Outro fator complicador é a disponibilidade de dados de geração.

A distribuição populacional por intervalos de análise está indicada na Tabela 5.1 e o perfil da frequência de distribuição de municípios em função da população está indicado nas Figuras 5.1 a 5.4.

Tabela 5.1 Distribuição populacional do Brasil por faixas - 2007

Intervalo até hab.	População hab.	% total	% acum.	No. munic.	% total	% acum.
0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0
10.000	13.550.906	7,4	7,4	2.605	46,8	46,8
20.000	19.931.238	10,8	18,2	1.397	25,1	71,9
30.000	13.651.830	7,4	25,6	561	10,1	82,0
40.000	10.128.565	5,5	31,1	295	5,3	87,3
50.000	6.230.936	3,4	34,5	140	2,5	89,8
60.000	5.099.554	2,8	37,3	94	1,7	91,5
70.000	4.891.962	2,7	40,0	76	1,4	92,9
80.000	4.840.425	2,6	42,6	65	1,2	94,1
90.000	3.024.470	1,6	44,2	36	0,6	94,7
100.000	3.969.879	2,2	46,4	42	0,8	95,5
200.000	17.483.314	9,5	55,9	128	2,3	97,8
300.000	11.166.613	6,1	62,0	46	0,8	98,6
400.000	10.740.016	5,8	67,8	31	0,6	99,1
500.000	5.428.209	3,0	70,8	12	0,2	99,4
600.000	3.834.187	2,1	72,9	7	0,1	99,5
700.000	3.225.268	1,8	74,6	5	0,1	99,6
800.000	3.759.586	2,0	76,7	5	0,1	99,7
900.000	2.547.372	1,4	78,0	3	0,1	99,7
1.000.000	1.918.530	1,0	79,1	2	0,0	99,7
2.000.000	11.293.111	6,1	85,2	8	0,1	99,9
> 2.000.000	27.172.870	14,8	100,0	6	0,1	100,0

Fonte: IBGE

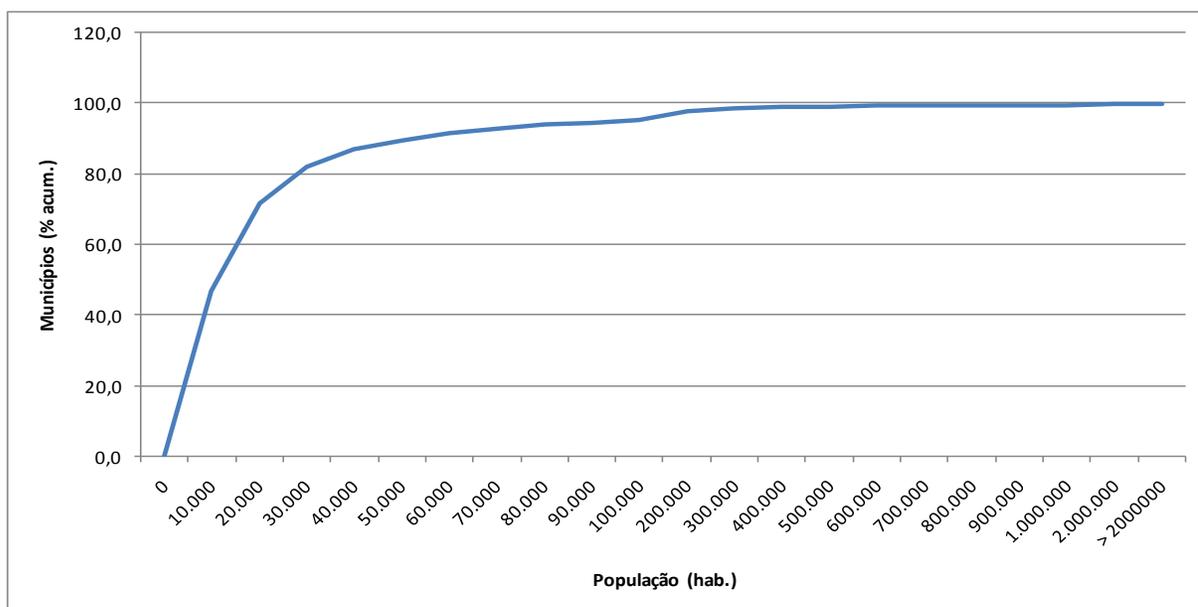


Figura 5.1 Distribuição acumulada de municípios por faixa de população

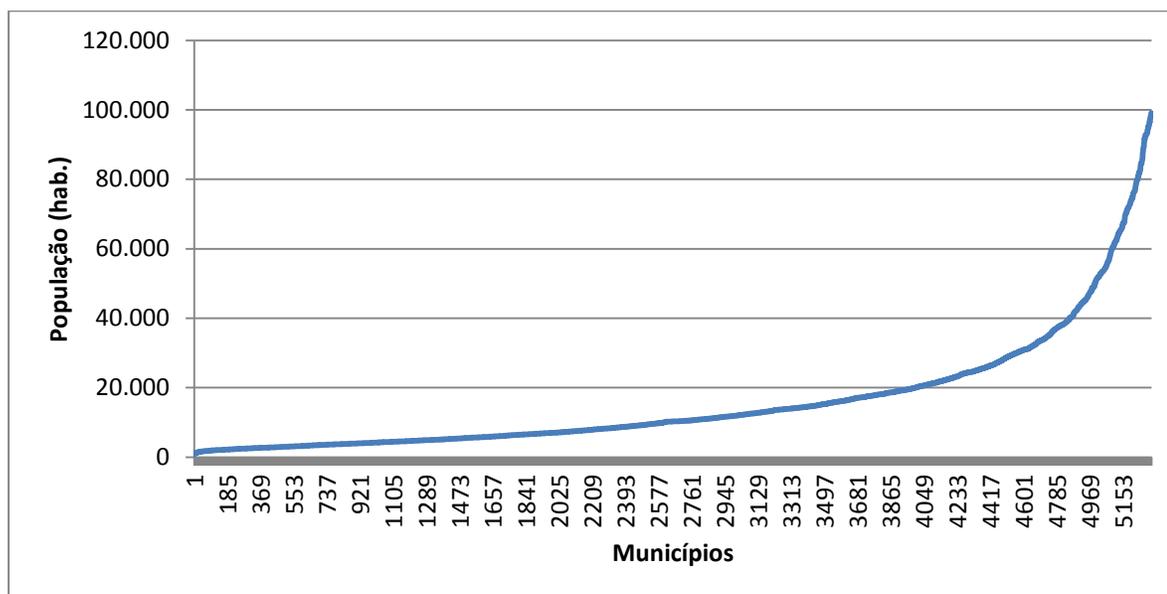


Figura 5.2 Distribuição de municípios até 100.000 habitantes

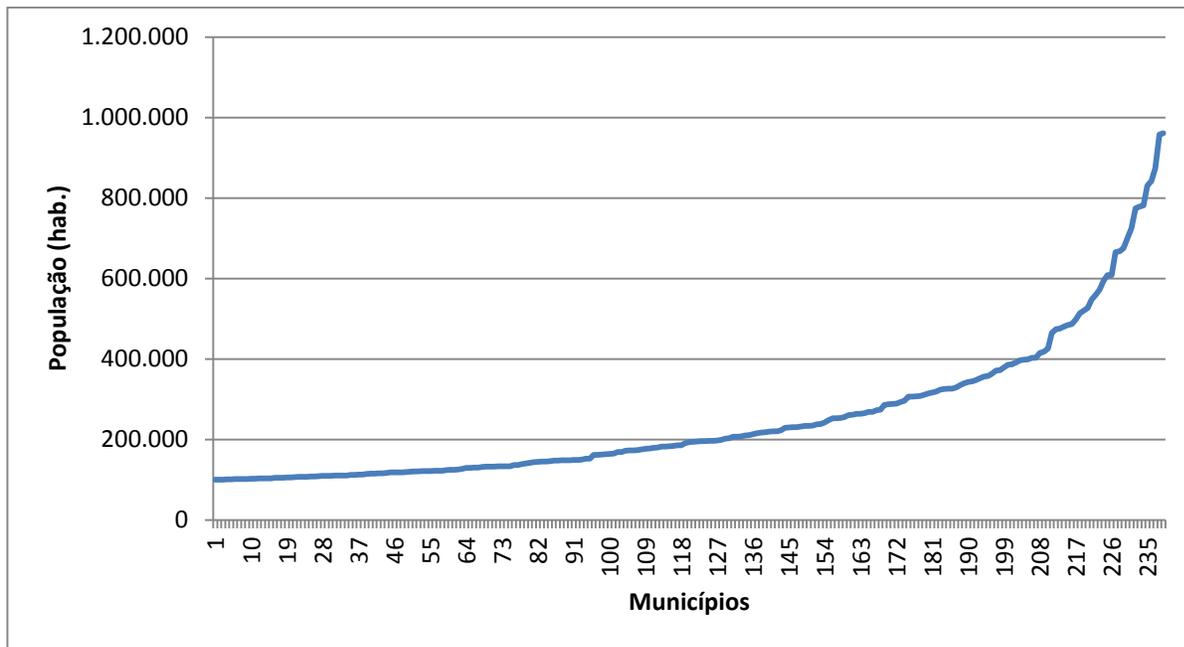


Figura 5.3 Distribuição de municípios de 100.001 até 1.000.000 habitantes

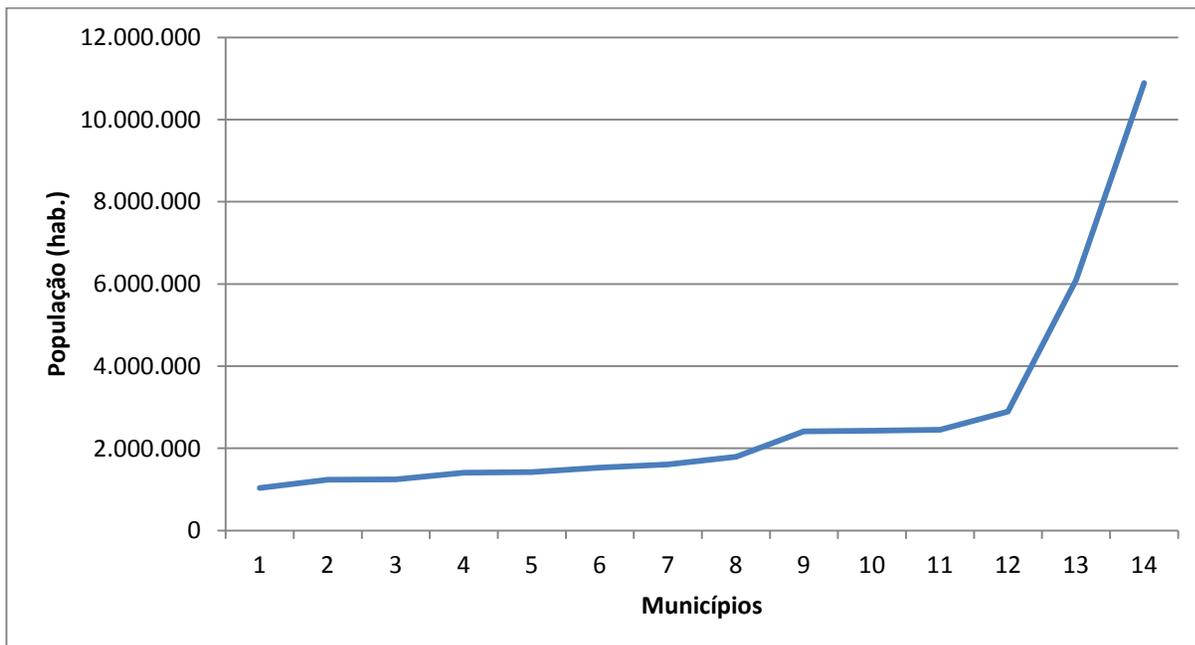


Figura 5.4 Distribuição de municípios acima 1.000.001 habitantes

O Estado de São Paulo foi escolhido como universo de estudo para este trabalho por contar com boa estrutura de dados, de fácil acesso e compreensão, além de ser responsável por grande parte dos resíduos sólidos gerados a nível nacional. Pode ser considerado como amostra bastante representativa em termos de geração de volumes, distribuição geográfica das fontes geradoras, distribuição proporcional de população e de recursos, embora se distancie de casos diferenciados, como áreas da Amazônia e do Nordeste. Os dados a seguir são da fonte Portal do Governo do Estado de São Paulo (2010).

São Paulo é uma das 27 unidades federativas do Brasil. Está localizado no sul da região Sudeste e tem como limites os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Paraná e Mato Grosso do Sul, além do Oceano Atlântico. Ocupa uma área de 248.209 quilômetros quadrados e sua capital é a cidade de São Paulo.

É a terceira unidade administrativa mais populosa da América do Sul, superada apenas pelo próprio país e ligeiramente pela Colômbia, à frente da Argentina e de todos os outros países sul-americanos. Tem a maior população do Brasil: são mais de 40 milhões de habitantes distribuídos em 645 municípios. Possui as melhores e mais modernas rodovias do país, os principais aeroportos internacionais, o maior fluxo de carga do país e o maior porto da América Latina. É o centro financeiro do país.

Estado mais cosmopolita da América do Sul, São Paulo abriga cerca de três milhões de imigrantes, de 70 diferentes nacionalidades. Sua população, a mais diversificada do Brasil, descende principalmente de imigrantes italianos e portugueses, com forte influência de ameríndios e africanos e de outras grandes correntes migratórias, como espanhóis, alemães, árabes e japoneses. Estima-se que São Paulo seja hoje a terceira maior cidade italiana do mundo, a maior cidade japonesa fora do Japão, a terceira maior cidade libanesa fora do Líbano, a maior cidade portuguesa fora de Portugal, a maior cidade espanhola fora da Espanha e o maior parque industrial alemão. E essa diversidade continua aumentando ao longo dos anos.

Mais rica das unidades federativas, São Paulo é o terceiro entre os estados com mais alto Índice de Desenvolvimento Humano. Responsável por 34% do PIB do país, São Paulo legitima seu status de "motor econômico" do Brasil por possuir melhor infraestrutura, mão de obra qualificada, fabricar produtos de alta tecnologia, além de abrigar o maior parque industrial e a maior produção econômica. O paulista também prima pela excelência nas áreas de agricultura e pecuária. O espírito empreendedor e produtivo parece estar em suas origens, pois já em 1532 Martim Afonso de Souza estabeleceu o primeiro engenho para fabricação de açúcar de cana em São Vicente.

Na economia, dos 260 shopping centers existentes no país, 80 estão localizados no Estado, sendo responsáveis por mais de 200 mil empregos e uma ampla rede atacadista e varejista espalhada pelos municípios. Só o turismo de negócios proporciona mais de 45 mil eventos por ano.

Em 2008, de acordo com o IBGE, o Estado respondeu por 59% do Valor da Transformação Industrial - VTI, cerca de US\$ 11 bilhões, e por 55% do pessoal ocupado (214 mil empregados) da indústria de bens de capital no país.

Os setores de equipamentos de comunicação, equipamentos de informática e periféricos, e máquinas e equipamentos apresentam taxas de inovação superiores às da indústria de transformação como um todo. Em 2008, os percentuais de empresas desses segmentos que inovaram em processos ou produtos foram de 55%, 54% e 51%, respectivamente, enquanto o da indústria de transformação nacional foi de aproximadamente 38%.

O Estado de São Paulo respondeu por 24% (US\$ 16 bilhões) do total exportado pelo agronegócio brasileiro em 2009, segundo dados do Instituto de Economia Agrícola - IEA. Merecem destaque na economia paulista os produtos industrializados (manufaturados e semimanufaturados), responsáveis por 82% das exportações do setor de agronegócios (US\$ 13,14 bilhões). Quando se observa que essa participação na economia brasileira é de 44%, evidencia-se a maior capacidade de agregação de valor

do agronegócio paulista. As maiores contribuições para esse resultado foram por ordem de importância: cana e sacarídeos (US\$ 6,67 bilhões), bovindo-bovinos (US\$ 2,22 bilhões), produtos florestais (US\$ 1,79 bilhão) e frutas (US\$ 1,76 bilhões).

A importância do Estado de São Paulo no agronegócio do país ainda pode ser aferida pela elevada participação dos complexos da cana, carne bovina e frutas na produção nacional. A cana-de-açúcar é a principal atividade geradora de valor na maior parte das regiões do Estado, que respondem por mais de 63% da produção de açúcar e 60% da produção de álcool nacional, concentrando também 89% da produção de suco de laranja exportado pelo Brasil e respondendo por 16% do abate de gado nacional.

A cadeia produtiva de petróleo e gás natural é bastante ampla. Suas cinco refinarias representam 42% da capacidade total do país, além de serem responsáveis por significativa produção de derivados, como gasolina, GLP, óleo diesel, querosene, entre outros. Esse desempenho relaciona-se estreitamente ao mercado regional de combustíveis derivados de petróleo, no qual São Paulo assume relevância, com parcela superior a 29% do mercado nacional. O mercado paulista sobressai também em relação ao consumo de gás natural, com participação de 27% no total nacional, em 2008.

Caso sejam confirmados os volumes previstos para as diversas áreas do pré-sal, as reservas brasileiras de petróleo e gás podem duplicar. Estima-se que a produção de petróleo nessa área atingirá a marca de 1 milhão de barris por dia em 2017. Nesse sentido, São Paulo, em razão de seu conjunto estruturado de instituições de ensino e pesquisa e de sediar 31% do parque nacional de fabricantes de equipamentos e prestadores de serviços para o segmento de petróleo, deverá se destacar como referência tecnológica ao longo dos próximos anos.

A indústria aeronáutica mundial é composta por apenas um pequeno número de atores globais, entre os quais está a Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A. - Embraer. Operando em 88 países, nos cinco continentes, a empresa atua nos segmentos de aviação comercial, executiva e de defesa, sendo líder no mercado de jatos comerciais

com até 120 assentos, com participação de mercado de 45%, em 2009. No segmento da aviação executiva, mesmo com as dificuldades enfrentadas pelo mercado de aviação em 2009, a Embraer obteve significativa expansão de sua participação: em relação às unidades entregues, o crescimento foi de 3,3% em 2008 para 14% em 2009. Com papel estratégico no sistema de defesa brasileiro, a empresa intensifica também sua expansão mundial no segmento, com evolução de sua carteira de pedidos de US\$ 1,5 bilhão para US\$ 3,2 bilhões.

Além da Embraer, o Estado de São Paulo abriga também seus principais fornecedores nacionais e estrangeiros. O caráter predominantemente paulista da indústria aeronáutica brasileira evidencia-se pelas informações do IBGE para o setor. Em 2008, o Estado respondeu por 72% das unidades locais, 98% do pessoal ocupado e 99% do Valor da Transformação Industrial - VTI da indústria aeronáutica nacional. Outro aspecto de destaque refere-se ao comércio exterior. A indústria aeronáutica respondeu, em 2009, por 9,5% das exportações realizadas a partir de São Paulo, tendo como principal mercado a União Europeia, para onde se destinaram 39% dessas exportações.

O complexo automotivo ainda é, em todo o mundo, uma importante fonte de desenvolvimento e progresso tecnológico. No Brasil, essa indústria assumiu papel estratégico no processo de industrialização e constitui, desde então, uma das principais atividades econômicas do país. Em 2009 o Brasil foi o sexto maior produtor mundial de veículos, com produção de cerca de 3,2 milhões de unidades. O país conta com subsidiárias das grandes transnacionais do setor, fábricas em oito Estados, 40% delas em São Paulo, berço da indústria automobilística nacional. Em 2008, segundo o IBGE, São Paulo concentrava 51% do Valor da Transformação Industrial - VTI e 58% do pessoal ocupado do segmento de fabricação e montagem de veículos automotores, reboques e carrocerias nacional.

Embora com participação decrescente na produção de veículos, em decorrência da desconcentração desse segmento industrial, o Estado de São Paulo

aglutina cada vez mais as atividades tecnológicas e de engenharia em razão da qualidade e disponibilidade de sua mão de obra, de seus centros de pesquisas e laboratórios e da presença consolidada de centros de desenvolvimento dos principais fabricantes de autopeças.

Para o setor de autopeças, a participação da indústria paulista vem aumentando em relação ao total do país e, de acordo com o IBGE, São Paulo abriga 59% dessas unidades, sendo responsável por 63% do Valor da Transformação Industrial - VTI e 59% do pessoal ocupado do segmento no país. O setor nacional de autopeças exportou, em 2009, perto de US\$ 4 bilhões, tendo o Estado de São Paulo respondido por cerca de 62% desse montante.

Em 2008, a participação do Estado de São Paulo no Brasil, no que se refere ao valor da transformação industrial dos transformados plásticos, foi de cerca de 51% e respondeu por quase 50% dos empregos do país.

O Estado de São Paulo destaca-se no cenário nacional por concentrar, de forma majoritária, todos os agentes do complexo industrial da saúde. Segundo o IBGE, com 43% das unidades locais e 55% do pessoal ocupado, o Estado foi responsável, em 2008, por 73% do Valor da Transformação Industrial - VTI do segmento no país. O governo paulista, através da Fundação para o Remédio Popular - Furp, destaca-se como produtor de medicamentos, ocupando posição estratégica nas políticas de saúde nacionais, com cerca de 80 tipos diferentes de medicamentos, entre os quais, os anti-infecciosos, anti-inflamatórios, antirretrovirais, remédios para controle de hipertensão, diabetes e saúde mental. A Furp produziu, em 2008, mais de 1,5 bilhão de unidades farmacêuticas (medicamentos) com uma média anual de 1,8 bilhão de unidades, atendendo cerca de três mil municípios brasileiros.

O Estado de São Paulo constitui o mais importante polo nacional de tecnologia da informação - TI. Em atividades de serviços de tecnologia da informação, São Paulo abrigava, em 2009, segundo o Ministério do Trabalho e Emprego - MTE, cerca de 36%

das unidades locais do país, respondendo por 47% do total dos vínculos empregatícios nacionais do setor. No segmento de consultoria em tecnologia da informação alcançava 90% dos vínculos empregatícios. Em 2009, situavam-se, igualmente, no Estado de São Paulo, 36% das unidades locais e 42% do total dos vínculos empregatícios nacionais do segmento de tratamento de dados e conteúdos da internet. O setor paulista de fabricação de equipamentos de informática e periféricos, concentrou, em 2008, de acordo com o IBGE, 51% do pessoal ocupado e 39% do Valor da Transformação Industrial - VTI do segmento no país.

A biodiversidade brasileira garante ao país grande potencial para o desenvolvimento do setor de biotecnologia, um dos mais promissores da economia e que apresentou rápido crescimento nos últimos anos. Líder no setor, o Estado de São Paulo abriga 38% das empresas de biociências nacionais e 39% das de biotecnologia. O polo de biotecnologia paulista é alimentado pela presença de uma ampla rede de universidades e instituições de pesquisa e por um importante contingente de mão de obra qualificada.

A cidade de São Paulo é o município-sede do terceiro maior aglomerado urbano do mundo, principal centro das atividades terciárias do país, além de centro financeiro da América Latina, abrigando a sede das principais instituições bancárias nacionais e a BM&FBOVESPA S.A. - Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros, uma das três maiores bolsas do mundo em capitalização de mercado. No Estado de São Paulo se dá, majoritariamente, a prestação dos serviços financeiros no Brasil, considerando-se as atividades realizadas pelo sistema bancário, serviços de seguros e atividades mobiliárias. Em dezembro de 2009 estavam registradas em São Paulo 45% das operações de crédito do país.

No balanço consolidado de 2009 as receitas correntes foram de 113 bilhões de Reais, dos quais 89 bilhões de Reais na forma de receitas tributárias, principalmente oriundas do ICMS. No ano de 2009 o Estado de São Paulo pagou de impostos federais o total de R\$ 204.151.379.293,05 e recebeu de volta somente R\$ 22.737.265.406,96,

levando a um saldo credor de R\$ - 181.414.113.886,09 com o governo federal. Ou seja, pagou 45,7% do total arrecadado pelo governo federal e recebeu somente 5,1% em retorno, permanecendo 40,6% do total em aberto.

São Paulo é o maior mercado consumidor de energia do país e representa 30% da demanda total brasileira de eletricidade. São cerca de 15 milhões de unidades consumidoras, que somam uma população superior a 40 milhões de usuários. No território paulista, concentram-se usinas hidrelétricas de grande e médio portes, além de pequenas centrais hidrelétricas espalhadas pelo estado, com uma capacidade instalada total de 19.580 MW. São 121 hidrelétricas, com capacidade de 14.204 MW, e 352 termelétricas, com capacidade de 5.376 MW, dando ao estado participação de 19% na potência nacional instalada. (Portal do Governo do Estado de São Paulo, 2010).

O Estado de São Paulo é o estado mais avançado do país em termos produtivos, financeiros, educacionais, culturais, estruturais e de consumo, sendo considerado como a locomotiva do processo econômico nacional.

Nesse contexto, segundo a ABRELPE (2010), o Estado de São Paulo é gerador de 30,3% dos resíduos sólidos urbanos do Brasil, objeto do presente estudo.

5.1 Divisões regionais administrativas

Sob o enfoque governamental administrativo, o estado está constituído por 645 municípios, divididos em 15 regiões, sendo 14 Regiões Administrativas, cada qual contendo uma ou mais Regiões de Governo, além da Região Metropolitana de São Paulo, conforme a Tabela 5.2. Essa regionalização foi alterada recentemente, para fins de simplificação estrutural e racionalização no fluxo administrativo. (SEADE, 2010).

Tabela 5.2. Estado de São Paulo – Regiões Administrativas

Região Admin.	Sede	Região de Gov.	Sede	Municípios
1	Araçatuba	1.1	Andradina	12
		1.2	Araçatuba	31
2	Barretos	2.1	Barretos	19
3	Bauru	3.1	Bauru	19
		3.2	Jaú	10
		3.3	Lins	10
4	Campinas	4.1	Bragança Paulista	16
		4.2	Campinas	22
		4.3	Jundiaí	9
		4.4	Limeira	8
		4.5	Piracicaba	11
		4.6	Rio Claro	8
		4.7	São João da Boa Vista	16
5	Central	5.1	Araraquara	19
		5.2	São Carlos	7
6	Franca	6.1	Franca	17
		6.2	São Joaquim da Barra	6
7	Marília	7.1	Assis	13
		7.2	Marília	14
		7.3	Ourinhos	12
		7.4	Tupã	12
8	Presidente Prudente	8.1	Adamantina	12
		8.2	Dracena	10
		8.3	Presidente Prudente	31
9	Registro	9.1	Registro	14
10	Ribeirão Preto	10.1	Ribeirão Preto	25

11	Santos	11.1	Santos	9
12	São José do Rio Preto	12.1	Catanduva	16
		12.2	Fernandópolis	12
		12.3	Jales	22
		12.4	São José do Rio Preto	31
		12.5	Votuporanga	15
13	São José dos Campos	13.1	Caraguatatuba	4
		13.2	Cruzeiro	8
		13.3	Guaratinguetá	9
		13.4	São José dos Campos	8
		13.5	Taubaté	10
14	Sorocaba	14.1	Avaré	17
		14.2	Botucatu	13
		14.3	Itapetininga	13
		14.4	Itapeva	18
		14.5	Sorocaba	18
15	R. M. de São Paulo	15.1	São Paulo	39
Total				645

Fonte: SEADE

5.2 Dados gerais

Em conformidade com a divisão do estado em regiões administrativas, os dados populacionais são indicados na Tabela 5.3. (IBGE, 2008b).

Tabela 5.3 Dados populacionais das regiões administrativas de São Paulo

Região Adm.	Sede	Habitantes	Área (km²)	Densidade (hab./km²)
1	Araçatuba	716.283	18.559,56	38,59
2	Barretos	426.230	8.344,13	51,08
3	Bauru	1.054.759	16.198,84	65,11
4	Campinas	6.106.283	27.099,36	225,33
5	Central	949.551	11.094,39	85,59
6	Franca	718.373	10.325,16	69,58
7	Marília	967.774	18.519,66	52,26
8	Presidente Prudente	834.620	23.777,10	35,10
9	Registro	294.753	12.132,49	24,29
10	Ribeirão Preto	1.178.623	9.300,43	126,73
11	Santos	1.683.214	2.422,78	694,75
12	São José do Rio Preto	1.427.799	25.431,48	56,14
13	São José dos Campos	2.258.456	16.179,95	139,58
14	Sorocaba	2.826.431	40.880,30	69,14
15	R. M. de São Paulo	19.586.265	7.943,82	2.465,60

Fonte: IBGE

Nesse contexto, o PIB de cada região administrativa, o consumo de energia elétrica e a geração de resíduos sólidos urbanos variam significativamente entre regiões e são indicados na Tabela 5.4. (CETESB, 2008a; IBGE, 2008b; SEESP, 2010).

Tabela 5.4 Regiões administrativas – PIB, RSU e consumo de energia elétrica

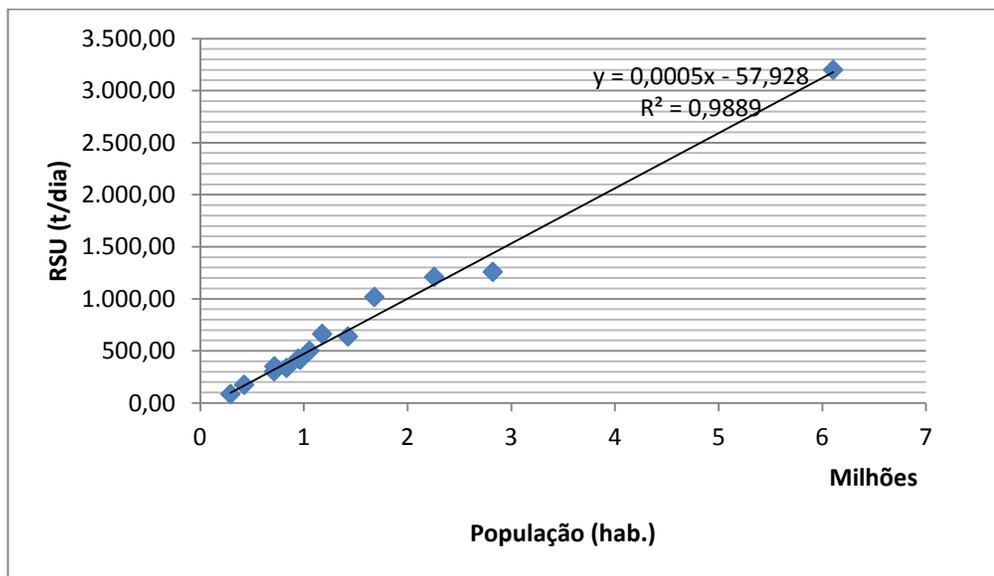
Região Adm.	Sede	PIB (MR\$)	Consumo de energia (kWh)	Geração RSU (t/dia)
1	Araçatuba	9.769,7	1.655.088.554	299,4
2	Barretos	5.660,8	942.226.925	171,4
3	Bauru	12.255,5	2.344.042.507	497,9
4	Campinas	111.036,5	21.931.617.995	3.199,0
5	Central	13.528,4	2.425.461.452	421,4
6	Franca	8.111,4	1.314.527.376	348,6
7	Marília	9.989,6	1.594.899.255	414,7
8	Presidente Prudente	9.095,4	1.404.331.465	334,4
9	Registro	1.755,5	483.748.092	83,1
10	Ribeirão Preto	18.401,6	2.627.287.027	661,6
11	Santos	21.907,2	6.611.261.523	1.014,5
12	São José do Rio Preto	16.937,9	2.676.752.104	637,9
13	São José dos Campos	37.731,9	7.141.396.375	1.207,1
14	Sorocaba	34.370,4	14.212.229.909	1.255,6
15	R. M. de São Paulo	416.501,2	47.713.115.332	18.602,9
Total		727.052,9	115.077.985.891	29.149,5

Fonte: CETESB, IBGE, SEESP

5.3 Geração de resíduos nos municípios

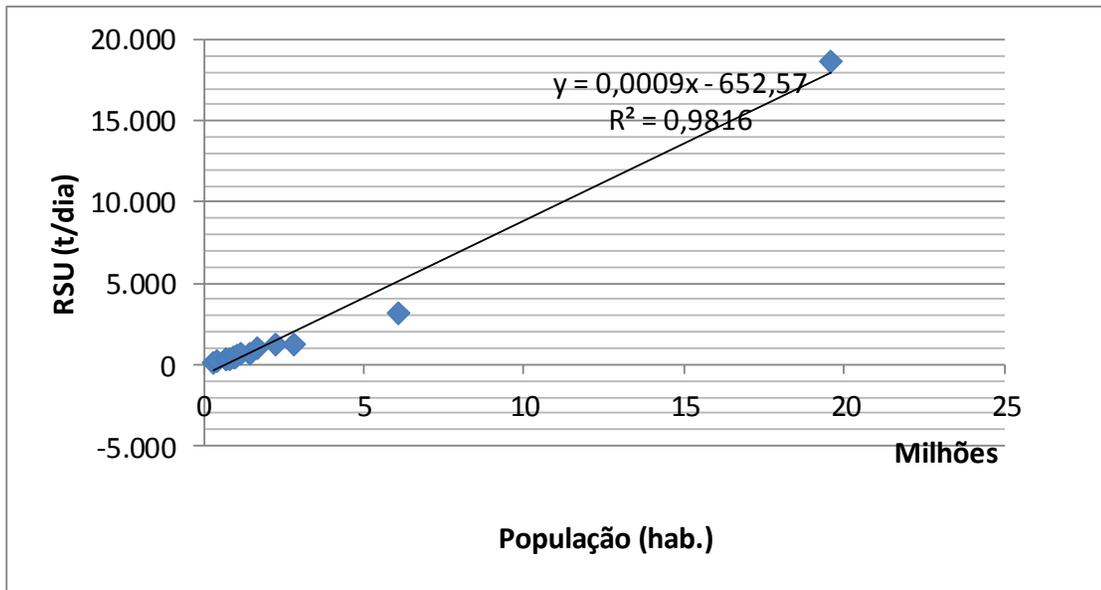
Uma primeira análise da distribuição dos valores de geração de RSU em relação à população das diversas regiões administrativas indica que existe forte alinhamento entre as duas variáveis, com fator Pearson de correlação R² de 0,988, sem considerar a capital, e R² de 0,981, considerando-se a capital.

As Figuras 5.5 e 5.6 representam, respectivamente, esses alinhamentos com forte correlação. Não foi detectado qualquer tipo de relação entre as áreas dos municípios e as respectivas gerações de lixo (perfil nebuloso ou difuso). (CETESB, 2008a; IBGE, 2008b).



Fonte: CETESB, IBGE

Figura 5.5 Geração de RSU em função da população sem RMSP

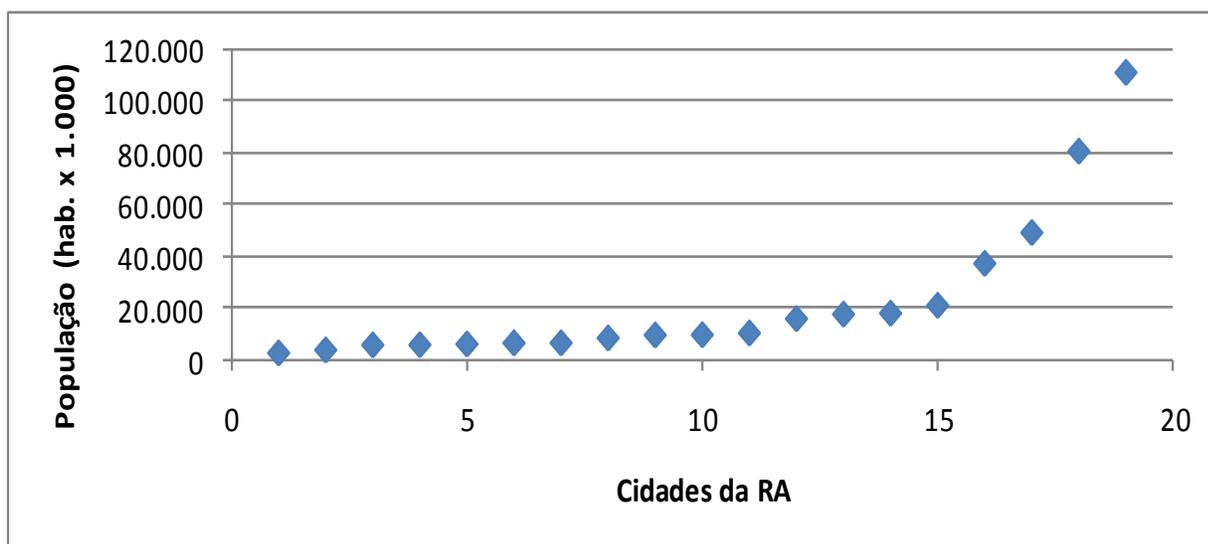


Fonte: CETESB, IBGE

Figura 5.6 Geração de RSU em função da população com RMSP

Seria simplista aceitar essa distribuição, em função da distribuição da população nas diversas regiões, mas deve-se considerar que ocorre uma tendência à média em todas elas, devido ao perfil de distribuição heterogêneo das populações das cidades dentro de cada região. Na prática, as regiões são formadas por municípios pequenos, médios e maiores, no modelo de indução de desenvolvimento, o que realça a totalização e o efeito da média nas análises por região.

A Figura 5.7 ilustra um perfil típico de distribuição acumulada da população nas regiões administrativas, que se repete em todas elas, de forma proporcional ao número de municípios de cada uma. (IBGE, 2008b). O levantamento das populações por região administrativa indica, para valores-limite, o cenário da Tabela 5.5. (IBGE, 2008b).



Fonte: IBGE

Figura 5.7 Perfil de distribuição acumulada de população nas RA

Tabela 5.5 Valores relevantes de população por região administrativa

Reg. Adm.	Sede	No. Mun.	Mínima (hab.)	Máxima (hab)	Média (hab.)	Desvio-padrão
1	Araçatuba	43	1.058	180.637	16.658	32.214
2	Barretos	19	2.607	111.307	22.433	28.939
3	Bauru	39	1.346	352.887	27.045	58.702
4	Campinas	90	1.979	1.053.252	67.848	128.283
5	Central	26	1.413	220.425	36.521	54.740
6	Franca	23	3.363	332.109	31.234	67.307
7	Marília	51	845	225.259	18.976	36.818
8	Presidente Prudente	53	1.394	206.545	15.748	29.037
9	Registro	14	9.050	57.741	21.054	12.819
10	Ribeirão Preto	25	1.930	557.156	47.145	108.829
11	Santos	9	45.597	426.691	187.024	142.312
12	São José do Rio Preto	96	1.401	411.175	14.873	44.299
13	São José dos Campos	39	2.842	612.312	57.909	108.763
14	Sorocaba	79	2.591	584.936	35.778	71.347
15	R. M. de São Paulo	39	16.639	10.834.244	502.212	1.717.634
		645	845	10.834.244	63.612	438.697

Fonte: IBGE

A estratificação dos dados de população de todos os municípios indica que grande parte dos municípios tem pequena população, como demonstrado na Tabela 5.6, a partir dos dados populacionais de 2005/2007. (IBGE, 2008b).

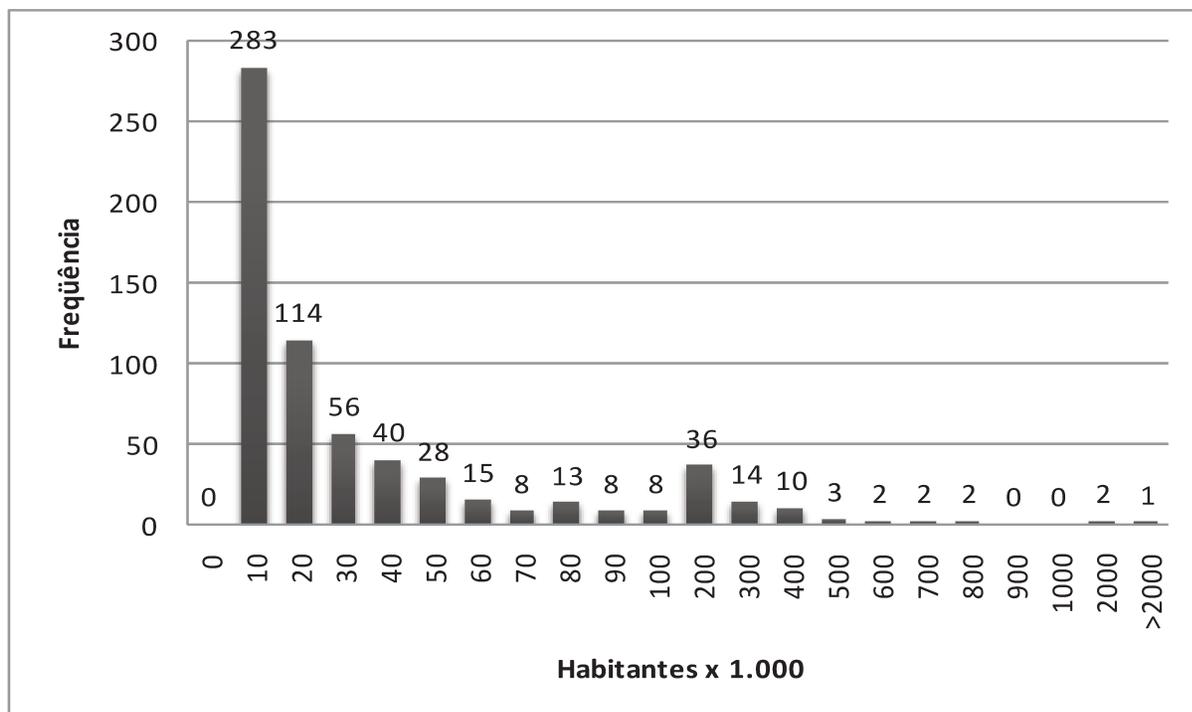
Tabela 5.6 Perfil de distribuição populacional do estado

População até x 1.000 hab.	Frequência	% do total	Frequência acumulada	% acumulado do total
0	0	0,0	0	0,0
10	283	43,9	283	43,9
20	114	17,7	397	61,6
30	56	8,7	453	70,2
40	40	6,2	493	76,4
50	28	4,3	521	80,8
60	15	2,3	536	83,1
70	8	1,2	544	84,3
80	13	2,0	557	86,4
90	8	1,2	565	87,6
100	8	1,2	573	88,8
200	36	5,6	609	94,4
300	14	2,2	623	96,6
400	10	1,6	633	98,1
500	3	0,5	636	98,6
600	2	0,3	638	98,9
700	2	0,3	640	99,2
800	2	0,3	642	99,5
900	0	0,0	642	99,5
1.000	0	0,0	642	99,5
2.000	2	0,3	644	99,8
> 2.000	1	0,2	645	100,0

Fonte: IBGE

A estratificação demonstra que uma parcela de aproximadamente 60% do total de municípios está abaixo de 20.000 habitantes e que a parcela de 80% do total está abaixo de 50.000 habitantes, o que indica forte concentração de 521 municípios em baixa população e, com notáveis exceções, significativas limitações em termos de capacidade operacional e econômica, em grande parte devidas ao próprio modelo de desenvolvimento do país. O patamar de cerca de 90% do total é atingido com mais 62 unidades, totalizando 573 municípios com população abaixo de 100.000 habitantes.

O perfil de distribuição de população do Estado de São Paulo em termos de frequência por faixa de população selecionada está indicado na Figura 5.8. (IBGE, 2008b).

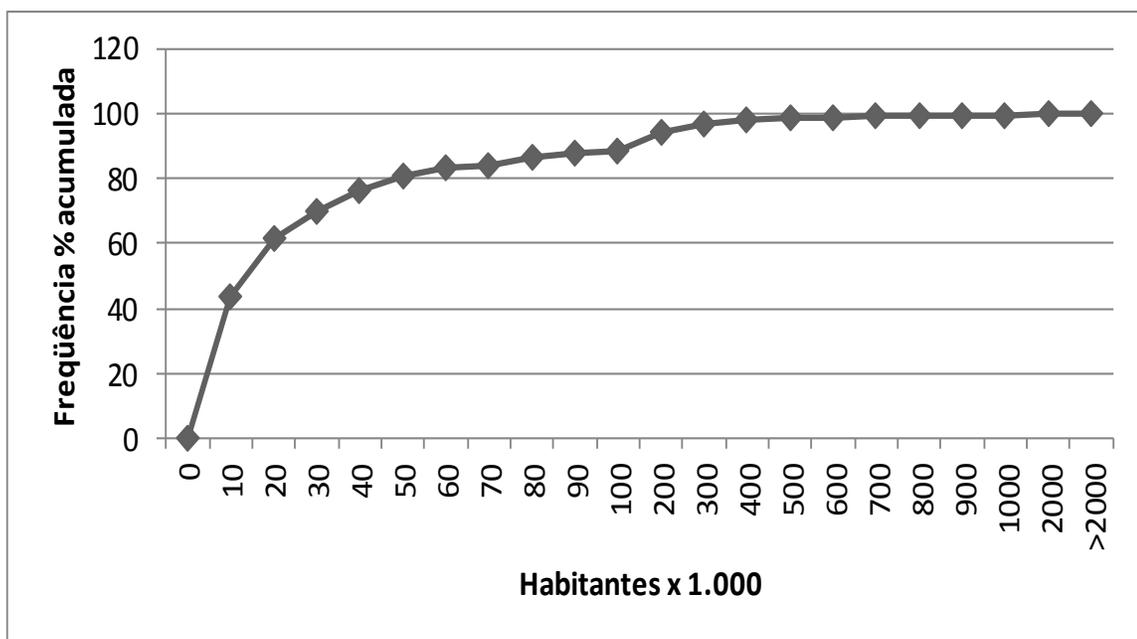


Fonte: IBGE

Figura 5.8 Perfil de distribuição populacional dos municípios

A média simples do total de municípios do estado é de 63.612 habitantes, o que reflete o efeito causado pela concentração populacional da capital em um único item. Esse valor médio está situado na faixa acima de 83,1% do total dos 536 municípios com população inferior a 60.000 habitantes.

A Figura 5.9 indica a distribuição percentual acumulada da população dos municípios, na forma de um diagrama de Pareto, em que se poderia atribuir o conceito A à faixa de 80% referente aos municípios até 50.000 habitantes, o conceito B à faixa entre 80% e 90%, referente aos municípios de 50.000 até 100.000 habitantes, e o conceito C aos demais itens da distribuição.



Fonte: IBGE

Figura 5.9 Distribuição acumulada da população dos municípios

Cabe investigar se, nos moldes da logística, o item A, seguido de B, são os mais significativos ou, ao contrário, C assumirá essa posição. Para essa nova fase de análise é necessário considerar a distribuição da geração de lixo conforme a população.

5.4 Projeções futuras

A análise básica dos dados de geração de lixo, com base em CETESB (2008a) e IBGE (2008b), foi feita considerando o valor de RSU referente à capital São Paulo como um fator complicador para os demais valores na escala de representação gráfica e que, por representar um único município, foi retirado do conjunto gráfico.

Os demais dados, para facilitar a representação gráfica, foram divididos em dois grupos: o primeiro envolvendo os municípios menores, até 100.000 habitantes, e o segundo, os municípios maiores, de 100.001 até 2.000.000 de habitantes.

As Figuras 5.10 e 5.11 mostram o perfil de distribuição de RSU em função da população em todo o Estado de São Paulo.

A partir dos dados, verifica-se que 573 municípios apresentam população abaixo de 100.000 habitantes e geração de RSU abaixo de 60 t/dia, formando volumes acumulados de 10.767.182 habitantes e 4.030,3 t/dia de RSU.

O segundo grupo é formado por 71 municípios, com população variando entre 100.001 e 2.000.000 de habitantes e geração de RSU variando de 53,4 a 955,5 t/dia, formando volumes acumulados de 19.427.988 habitantes e 12.204,7 t/dia de RSU.

O terceiro grupo (não representado) é formado pela capital São Paulo, com volumes acumulados de 10.834.244 habitantes e de geração de RSU de 12.978,4 t/dia.

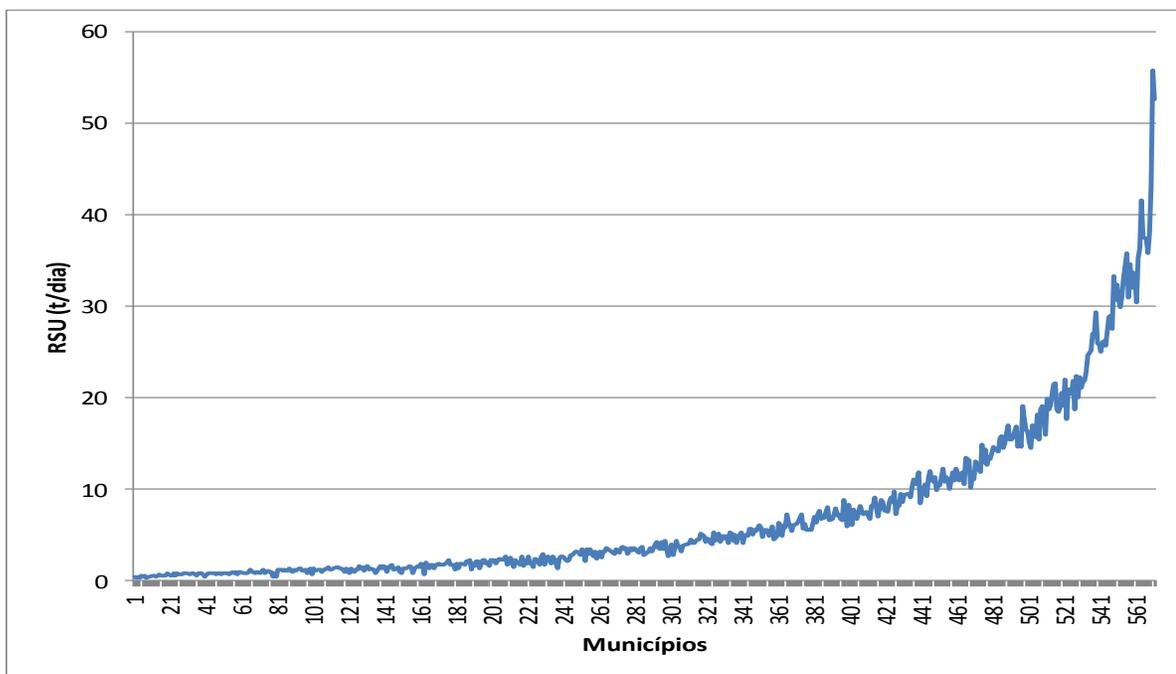


Figura 5.10 Distribuição de RSU até 100.000 habitantes

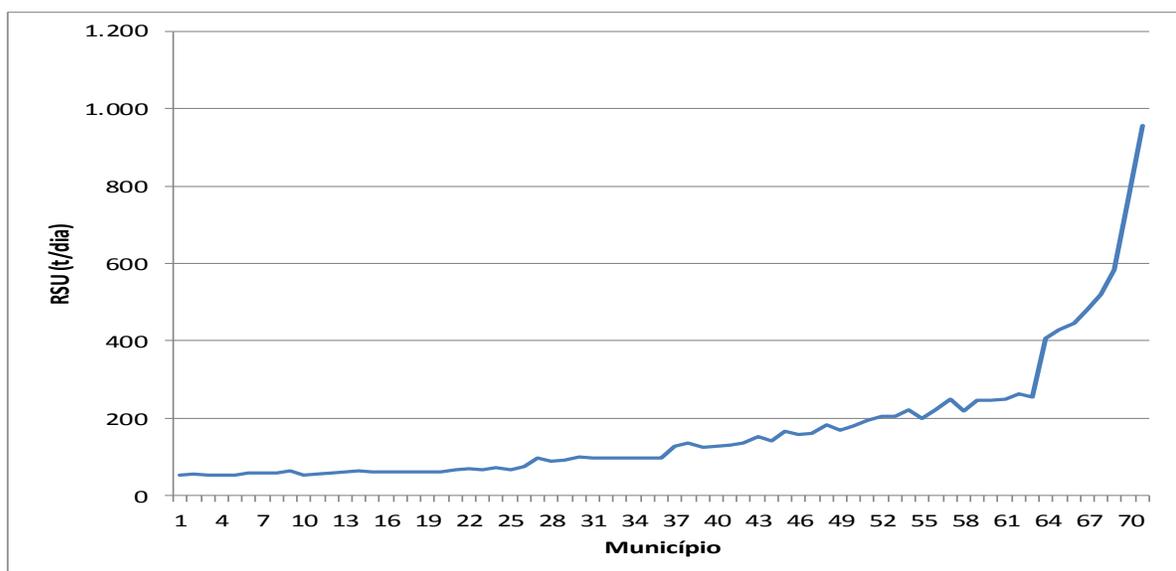


Figura 5.11 Distribuição de RSU de 100.001 até 2.000.000 de habitantes

A Tabela 5.7 ilustra o conjunto dos três grupos e permite tirar algumas conclusões valiosas para o andamento do trabalho.

Tabela 5.7 Perfil de grupos geradores de RSU

Grupo	No. de municípios	% do total	População (hab.)	% do total	RSU (t/dia)	% do total
1	573	88,8	10.767.182	26,2	4.030,3	13,8
2	71	11,0	19.427.988	47,4	12.204,7	41,8
3	1	0,2	10.834.244	26,4	12.978,4	44,4
Total	645	100,0	41.029.414	100,0	29.213,4	100,0

Em termos de número de municípios, o grupo três representa um município e tem uma população quase igual ao grupo um, que representa 573 municípios. Entretanto, gera mais de três vezes o volume de RSU do grupo um (mais exatamente, o equivalente a 1.845 municípios desse grupo!). Da mesma forma, gera o mesmo volume que o grupo dois, com pouco mais da metade de sua população! A relação entre o grupo três e o grupo um é semelhante, pois o grupo três, com praticamente a mesma população do grupo um, gera mais de três vezes o seu volume de RSU por dia!

Isso demonstra claramente a ocorrência do efeito da urbanização e do crescimento populacional sobre a geração individual de RSU. (KREITH, 1994). No grupo um, tem-se uma geração média de 0,374 kg/habitante para um porte médio de 18.790 habitantes, no grupo dois uma média de 0,628 kg/habitante para um porte médio de 273.634 habitantes e, no grupo três, uma geração média de 1,198 kg/habitante, para um porte de quase onze milhões de habitantes!

Esse efeito justifica os cálculos de ajuste das curvas de geração de RSU conforme os municípios crescem, se urbanizam e passam a adotar outros hábitos e padrões de consumo e, portanto, mudam de perfil gerador, aumentando a geração do lixo doméstico, objeto deste estudo. (KREITH, 1994). A curva que representa o crescimento da geração de lixo em função do crescimento populacional e da consequente urbanização dos municípios de São Paulo tomados para análise está indicada na Figura 5.12.

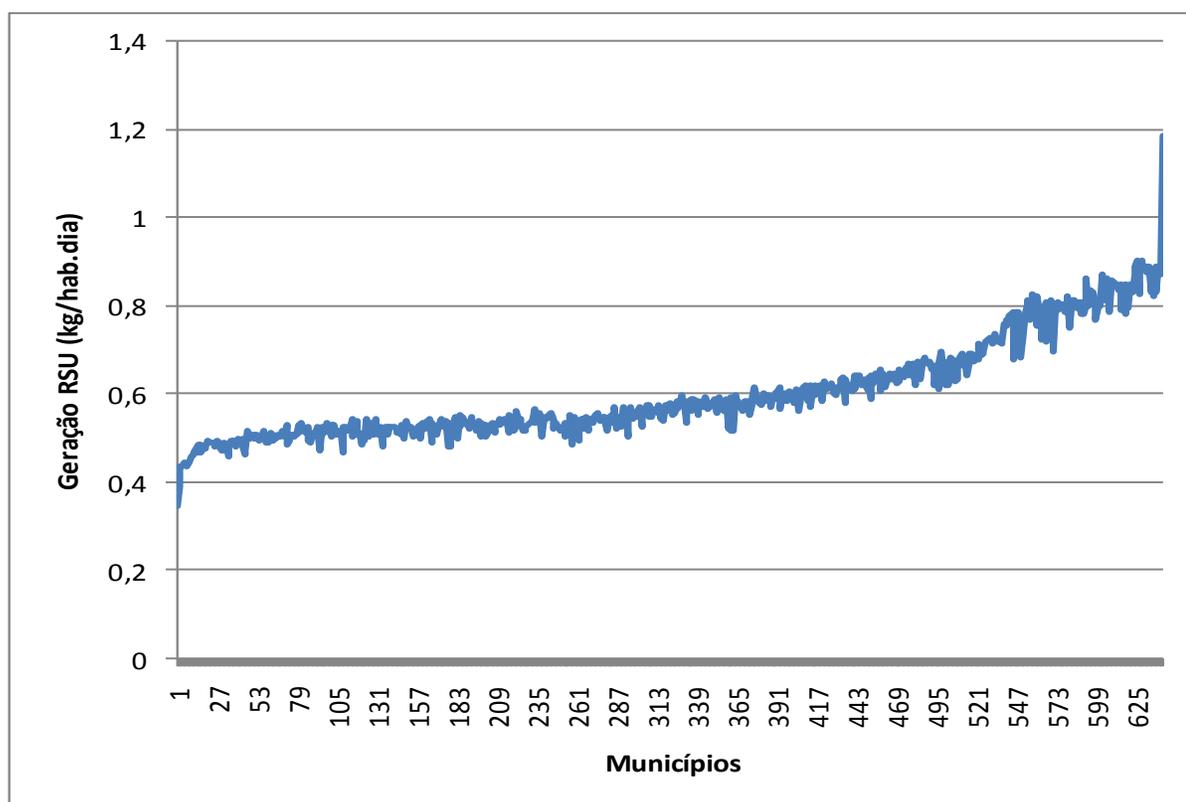


Figura 5.12 Geração de RSU em função de crescimento e urbanização

A ordenação dos conceitos A, B e C do gráfico de Pareto, para a distribuição acumulada de RSU em função dos municípios, está indicada na Figura 5.13.

O universo de dados foi dividido em faixas significativas de 10.000 até 100.000 habitantes; daí em faixas de 100.000 até 1.000.000 de habitantes. Daí segue-se uma faixa de 2.000.000 de habitantes e outra de valores acima de 2.000.000 de habitantes. Essa faixa se destina a alocar os valores da capital São Paulo, cujo peso relativo na distribuição é significativo e introduz efeitos tendenciosos na análise e na representação gráfica. Para certas análises é necessário separar os valores desse município.

Por meio de análises de regressão foram investigados os comportamentos de geração de RSU em cada faixa de população do total do estado.

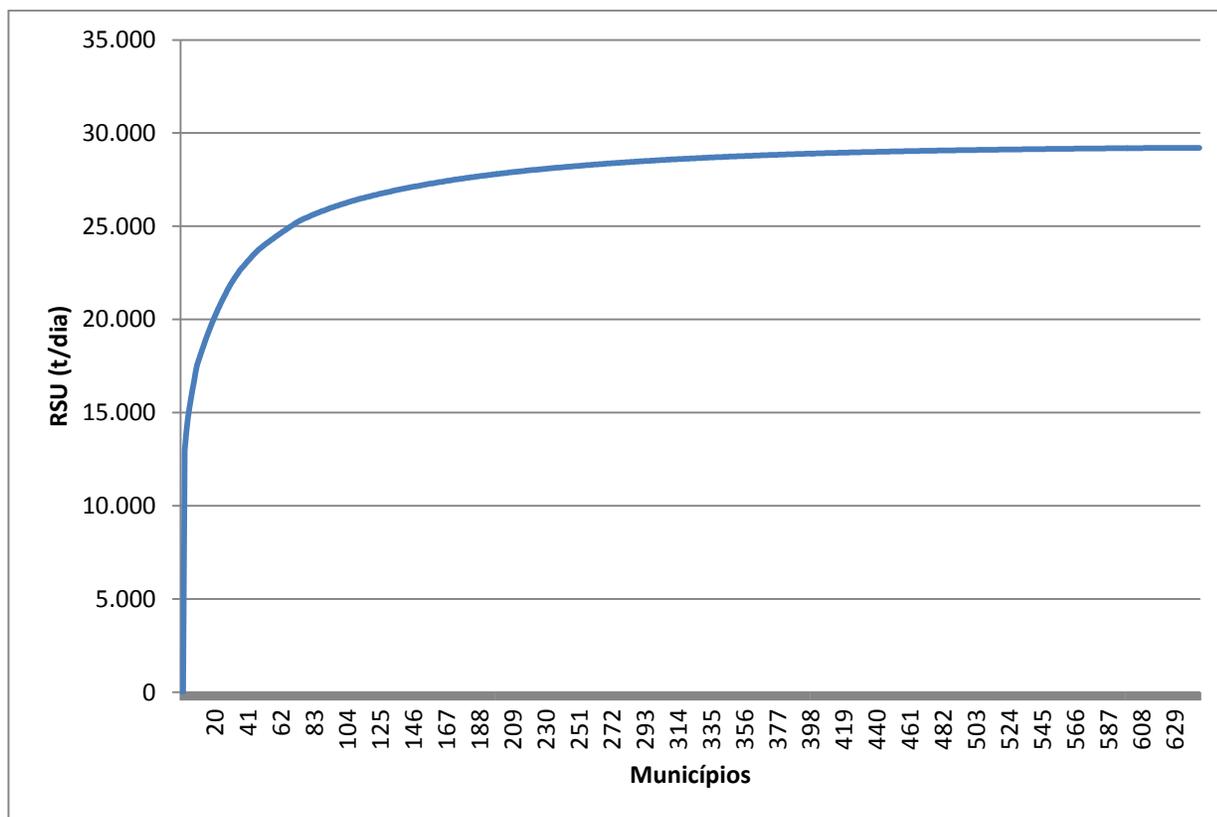


Figura 5.13 Geração acumulada de RSU por municípios

Outro efeito a se destacar nessa distribuição é o grupo dois, que atua como elemento médio na constituição da estrutura dos municípios, mas que no Estado de São Paulo apresenta porte e números significativos na distribuição das regiões administrativas e de participação na economia e, portanto, também na geração de RSU.

Para continuação do estudo, é necessário identificar o comportamento da geração de RSU por faixas pré-estabelecidas de população, para determinar como o efeito crescimento/urbanização se manifesta nos dados disponíveis e para efetuar uma análise mais detalhada da continuidade da geração quando ocorre a transposição das interfaces entre faixas. Embora a interface seja consequência da divisão do universo em faixas de população, o efeito de continuidade é o fator mais importante na análise.

A Tabela 5.1 detalha como cada faixa está representada, servindo de base para cálculos e gráficos de causa e efeito, as respectivas análises de equação de regressão e os fatores de adequação. De 21 casos analisados, 16 permitiram análise estatística e cinco não puderam ser analisados por insuficiência de dados na faixa.

Uma análise matemática foi possível, mas não é considerada representativa como a estatística, que partiu de uma amostra maior e mais consistente. Para esses 16 casos foram obtidas as equações que, em princípio, podem representar o comportamento dos dados nos respectivos intervalos, sob consideração da precisão envolvida em cada caso.

Obviamente, as equações, assim como toda a análise realizada, são função direta das faixas adotadas. Mudando-se os intervalos, muda-se a distribuição dos dados e, portanto, as análises e as equações decorrentes.

Um dos fatores que determinaram a divisão do universo de dados nas faixas apresentadas foi o potencial de crescimento dos municípios durante o período de estudo (2005 a 2020). Uma escolha acertada das faixas permite que a sensibilidade se

manifeste nos cálculos em decorrência dos crescimentos populacionais previstos e adotados nesse estudo (SEADE, 2010).

Outro fator importante na escolha foi o perfil de distribuição de população, que concentra grande quantidade de municípios pequenos, um médio grupo de grandes municípios e uma unidade que representa a enorme capital. Devido à dificuldade prática em determinar médias e correlações nesse cenário, a melhor solução foi estabelecer a segmentação em faixas representativas, para evitar distorções nos cálculos estatísticos.

Além disso, foi tomado como exemplo o critério do IBGE e da SEADE, que também efetuam segmentações nos dados analisados.

Por meio das análises estatísticas e determinação de alinhamentos e correlações, para cada faixa de população foi encontrada uma equação que, de forma estatística, atendessem às condições de correlação linear entre os valores de população e de RSU nesse intervalo.

Também foi realizada a análise de correlação geral ajustada, na forma de equação cúbica (*Fitted Line Plot*). Verificou-se que os resultados pouco diferem, especialmente em termos de precisão de ajuste, exceto em dois casos, para os quais o ajuste da curva se mostrou muito distante do linear.

Observando-se a continuidade das equações, especialmente nas interfaces das faixas, pela aplicação do valor comum de população, verificou-se que havia desvios percentuais positivos e negativos significativos entre os valores de RSU de finalização de um intervalo e os de início no intervalo seguinte, como indicado pela Tabela 3.1 (capítulo 3).

Isso significa quebra de continuidade numérica nos valores de RSU de faixa para faixa dos valores de população, prejudicando a estimativa de geração de RSU

para os anos seguintes, em conformidade com o comportamento da população em função do crescimento numérico e do fator de urbanização.

Por meio de uma análise de otimização foi resolvido o conjunto de equações em todo o universo de análise, tomando como base as equações anteriormente definidas, as interfaces das faixas consideradas e a minimização da função soma de todos os desvios nas interfaces. A função soma dos desvios foi minimizada para zero.

As novas equações, com desvio zero nas interfaces, garantindo a continuidade numérica de cálculo nas interfaces, estão na Tabela 3.2 (capítulo 3). Elas permitiram realizar as previsões de geração de RSU em cada caso de crescimento previsto (SEADE, 2010).

Esses valores, por sua vez, serviram como base para as análises de adequação da geração às capacidades de unidades de processamento e, como consequência, da adequação dos investimentos necessários às capacidades de pagamento e recursos dos municípios.

O banco de dados envolvendo as projeções de população e de geração de RSU por município foi formado a partir dos dados fornecidos por IBGE (2008a, 2008b), SEADE (2010, 2011), ABRELPE (2008, 2010), CEMPRE (2008a, 2008b) e CETESB (2008a, 2008b, 2009) indicados em Referências.

É importante destacar o alinhamento desses dados a um referencial de tempo, o que facilitou em muito o trabalho de organização dos dados e sua análise, tornando possível o desenvolvimento deste trabalho.

6. Resultados

Segundo a CETESB (2008a), os 645 municípios do Estado de São Paulo geraram e coletaram 28.519,5 toneladas de lixo por dia ao longo de 2005, perfazendo um total de 10,4 milhões de toneladas coletadas no ano. Os valores levantados e estimados para o período 2005-2020 estão representados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 Coleta de lixo no Estado de São Paulo 2005-2020

Ano	Geração por dia (t)	Geração por ano (t)
2005	28.519,500	10.409.617,500
2007	35.236,432	12.861.297,851
2010	36.218,896	13.219.896,978
2015	37.637,410	13.737.654,721
2020	39.586,451	14.449.054,478

O potencial de geração de energia elétrica de cada volume de RSU gerado depende das condições de composição e poder energético do próprio RSU, em primeiro lugar, e das condições locais de geração e distribuição geográfica das fontes geradoras. Adotando-se, por exemplo, uma composição do lixo considerada como a média nacional pela ABRELPE (2008; 2010), o potencial equivalente de energia elétrica a ser gerada pelos volumes de RSU está indicado na Tabela 6.2.

As condições de valor médio e geração completa, no entanto, não ocorrem na prática e isso leva à necessidade de pesquisar as condições reais e específicas em que

o RSU é gerado e deve ser processado, pois disso dependerão os resultados de viabilidade técnica e econômico-financeira.

Tabela 6.2 Potencial de geração de energia de RSU 2005-2020

Ano	Geração por dia (MWh)	Geração por ano (MWh)
2005	12.834	4.684.328
2007	15.856	5.787.584
2010	16.299	5.948.954
2015	16.937	6.181.945
2020	17.814	6.502.075

A análise de distribuição dos dados revelou que o perfil de geração de RSU em volume e volume por habitante é bastante diferenciado. Para investigar as formas em que esses volumes podem ser processados na prática, o primeiro passo foi definir um conjunto de usinas do tipo WPC de diferentes portes que pudesse atender a esses volumes, em função do perfil real de geração.

Considerando o perfil diferenciado de geração, as faixas de geração, as médias ponderadas e a otimização dos resultados de desempenho e custos obtidos junto a empresas fabricantes de máquinas e equipamentos, para utilização nessas respectivas faixas, o conjunto de usinas WPC que melhor atendeu aos requisitos está indicado na Tabela 6.3. Os testes realizados com os dados de perfil de geração dos municípios do Brasil, com os dados disponíveis, indicaram que o conjunto satisfaz a esses requisitos.

A quantidade de usinas no conjunto e seu escalonamento também obedeceram a critérios da análise de otimização, pois além de certos limites inferior e superior a

disponibilidade de máquinas e equipamentos fica prejudicada ou mesmo cessa, respeitando-se os padrões de desempenho e qualidade necessários para atendimento aos requisitos ambientais legais e regulatórios.

Da mesma forma, a viabilidade econômico-financeira é bastante afetada para valores mais extremos, devido aos fatores de escala para os limites inferiores e fatores logísticos, para os superiores. Além de certos valores, portanto, não se recomenda a montagem de usinas de processamento por razões técnicas e econômicas.

Tabela 6.3 Conjunto de usinas WPC para processamento de RSU

Porte	Capacidade (t/d)	Capacidade (kt/ano)	Geração (MWh)
1	34	12,5	0,3
2	40	15	0,4
3	68	25	0,7
4	135	50	1,5
5	265	100	5,0
6	530	200	9,5
7	800	300	15,0
8	1.060	400	19,0
9	1.350	500	26,0
10	1.600	600	30,0

Para todas as usinas WPC do conjunto foram investigados, junto a empresas fabricantes de máquinas e equipamentos e prestadoras de serviços, os respectivos custos referentes aos seus elementos constituintes, como obras civis; equipes de

funcionários e salários; equipamentos de incineração; equipamentos de geração de energia elétrica; equipamentos de movimentação e transporte; sistemas de comando e controle; manutenção e reparos; taxas e impostos.

Nesse estudo se optou por considerar todas as alternativas de cálculo na modalidade “sem conexão” à rede elétrica de distribuição, pois isso depende de uma série de variáveis técnicas e financeiras para as quais a maioria das empresas atuantes no setor de distribuição não dispõe de padronização.

Isso resulta do modelo histórico de expansão das redes adotado pelas estatais nas últimas décadas, em que a demanda reprimida passou a ser atendida conforme as peculiaridades locais/regionais e em velocidade crescente. Cada caso é um caso...

Também foram investigados os custos de coleta e movimentação do lixo, após descarte pelo usuário; os custos de deposição em aterro e de processamento em instalações dedicadas a incineração; os valores praticados pelo setor de Recursos Humanos em 2011, inclusive o salário-mínimo, e todos os respectivos encargos válidos por força legal; todos os impostos conforme a legislação vigente no Estado de São Paulo em 2011 e os procedimentos contábeis e financeiros prescritos pela legislação.

6. 1 Análise de distribuição por volume gerado de RSU

O primeiro tipo de análise em termos de distribuição do volume gerado de RSU foi verificar se cada município, individualmente, teria capacidade financeira para suportar os investimentos necessários à instalação e operação de uma usina WPC suficiente para processar o volume de RSU gerado por ele, em termos diários.

Essa análise levou em consideração:

- o volume de RSU gerado em cada ano (2005, 2010, 2015 e 2020)
- as faixas de capacidade de processamento das usinas;
- o investimento necessário para a usina e a capacidade financeira disponível (com base nos valores dispendidos hoje para disposição).

Os custos logísticos referentes a coleta e movimentação foram assumidos como constantes, pois a análise ocorre em cada município e, em princípio, esses custos se mantêm no mesmo patamar da situação atual. Para efeito de cálculo, foram considerados os custos atuais de disposição em aterro (ABRELPE, 2010).

A análise para o ano de 2005 revelou uma forte dependência do processamento em relação ao tamanho da fonte geradora de RSU. Cerca de 548 municípios, representando 85% do total do estado, não têm geração de lixo em volume suficiente para alcançar o porte mínimo de processamento das usinas (34 toneladas por dia). O total gerado por esses municípios representa 10,4% do total gerado no estado.

Isso está bem coerente com os valores apresentados anteriormente na seção 5.2 e as Figuras 5.3 e 5.4.

A Figura 5.6 demonstra que a grande maioria dos municípios é responsável pela geração de pequena parcela de RSU no Estado, enquanto as maiores concentrações urbanas geram a maior parcela de lixo. A Tabela 6.4 mostra os valores para 2005.

Tabela 6.4 Distribuição por volume gerado de RSU e capacidade financeira 2005

Total do Estado de São Paulo

Usina porte	Municípios abrangidos	Capacidade suficiente	Parcela (%) Municípios	Número de usinas	% Lixo processado	% Lixo pago
0	548	0	0,0	0	0,0	0,0
1	15	0	0,0	15	1,6	0,0
2	7	0	0,0	7	0,9	0,0
3	27	0	0,0	27	5,5	0,0
4	17	3	17,6	17	6,2	1,4
5	22	6	27,2	22	15,2	4,3
6	5	5	100,0	5	7,8	7,8
7	2	2	100,0	2	4,6	4,6
8	1	1	100,0	1	3,3	3,3
9	0	0	0,0	0	0,0	0,0
10	1	1	100,0	8	44,5	44,5
Total	645	18	2,8	104	89,6	66,0

Essa análise revela também forte dependência dos resultados em relação à grande concentração de RSU na Cidade de São Paulo, responsável pela geração de 44,5% do total do volume no estado.

Uma nova análise, considerando a mesma base de valores, mas excluindo os dados da Cidade de São Paulo, demonstra a realidade mais plausível no Estado de São Paulo, como um todo, na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 Distribuição por volume gerado de RSU e capacidade financeira 2005
(excluindo a Cidade de São Paulo)

Usina porte	Municípios abrangidos	Capacidade suficiente	Parcela (%) Municípios	Número de usinas	% Lixo processado	% Lixo pago
0	548	0	0,0	0	0,0	0,0
1	15	0	0,0	15	2,9	0,0
2	7	0	0,0	7	1,6	0,0
3	27	0	0,0	27	9,9	0,0
4	17	3	17,6	17	11,1	2,5
5	22	6	27,2	22	27,4	7,8
6	5	5	100,0	5	14,1	14,1
7	2	2	100,0	2	8,3	8,3
8	1	1	100,0	1	5,9	5,9
9	0	0	0,0	0	0,0	0,0
10	0	0	0,0	0	0,0	0,0
Total	644	17	2,6	96	81,2	38,6

Com a alteração da base de cálculo, muda significativamente para menos (de 66,0% para 38,6%) a parcela do lixo processado que pode ser paga pelos municípios. Novamente fica demonstrado que os municípios de maior porte tendem a concentrar a capacidade de suportar os investimentos necessários, considerando os valores pagos atualmente pela disposição do lixo em aterro. A Cidade de São Paulo representa um

desses casos, mas de porte extremado. A análise referente aos anos 2010, 2015 e 2020 foi realizada segundo a mesma metodologia. As Tabelas 6.6 e 6.7 ilustram, respectivamente, os resumos das variações encontradas nos valores resultantes das análises com e sem a Cidade de São Paulo, no período de 2005 a 2020.

Tabela 6.6 Distribuição por volume gerado de RSU e capacidade financeira
Total do Estado de São Paulo 2005 a 2020

Ano	Municípios abrangidos	Capacidade suficiente	Parcela dos Municípios (%)	Número de usinas	% Lixo processado	% Lixo pago
2005	645	18	2,8	104	89,6	66,0
2010	645	12	1,9	165	90,6	50,9
2015	645	16	2,5	169	90,8	51,7
2020	645	13	2,0	181	91,5	49,1

Tabela 6.7 Distribuição por volume gerado de RSU e capacidade financeira
(excluindo a Cidade de São Paulo) 2005 a 2020

Ano	Municípios abrangidos	Capacidade suficiente	Parcela dos Municípios (%)	Número de usinas	% Lixo processado	% Lixo pago
2005	644	17	2,6	96	81,2	38,6
2010	644	11	1,7	156	85,3	23,4
2015	644	15	2,3	160	85,8	25,7
2020	644	12	1,9	172	87,3	23,3

Em ambos os casos se pode constatar que o volume de lixo gerado aumenta ao longo do período 2005-2020, tornando necessária uma maior quantidade de usinas para o processamento desses resíduos gerados de forma crescente ao longo dos anos e com o agravamento do fator de crescimento das cidades (urbanização). Esse crescimento se dá de forma progressiva, levando a cálculo linear do custo de deposição.

Por outro lado, o escalonamento de porte das usinas se dá na forma por degraus, em que os custos têm um comportamento conforme o nível do volume de produção no período, permanecem constantes até um certo ponto do volume e, após esse ponto, sobem para um valor maior, onde permanecem constantes até alcançar outro ponto crítico de mudança.

A análise demonstrou que o crescimento da geração de lixo em períodos diferentes pode levar os municípios a níveis superiores de porte de usina, com os respectivos custos superiores, e essa diferença inicial na maioria das vezes não consegue ser coberta pela capacidade financeira do município.

Constata-se que crescem, ao longo do período 2005-2020, a quantidade de municípios que alcançam a capacidade mínima de processamento, o percentual de lixo total que pode ser processado e a quantidade de usinas necessárias, enquanto decrescem a quantidade de municípios que apresentam capacidade financeira para suportar os investimentos requeridos e o percentual de lixo total que pode ter seu processamento pago.

Uma tentativa de reverter esse efeito poderia passar pelo fornecimento de usinas simples e baratas, embora sob perigo de indisponibilidade no mercado ou da perda de qualidade e de capacidade de atendimento aos requisitos legais, ambientais e regulatórios; pelo aporte financeiro aos municípios; por meio de austeridade de gastos e alteração orçamentária ou aporte externo; pela opção de os municípios se agruparem e

formarem consórcios para o processamento do lixo total gerado por todos do grupo. Essa opção será objeto de outra análise.

Outra solução seria o fornecimento das usinas na forma de várias linhas individuais de processamento, que poderiam ser agregadas conforme a necessidade ditada pelo crescimento do volume de geração do lixo. Essa opção esbarra em considerações técnicas e econômicas, demonstradas na seção 6.2.

Devido a esse fracionamento ocorre aumento da necessidade de espaço, funcionários envolvidos, sistemas de controle e comando, sistemas de suporte e manutenção, além de mais planejamento e gestão. A cada linha agregada ao conjunto esse aumento persistirá. Em cada linha ocorre perda de escala por necessidade de balanceamento de produção do conjunto. Do ponto de vista econômico-financeiro, ocorrem perdas de escala que talvez não possam ser cobertas pelas vantagens decorrentes do fracionamento.

O levantamento de custos de máquinas e equipamentos realizado pelo autor junto a diversas empresas fabricantes demonstra isso claramente. Quanto maior o fracionamento, maior será o aumento do custo total. É necessário realizar agrupamentos e dimensionamentos de linhas para capacidades maiores para conseguir ganhos de escala em volume, caso contrário a rentabilidade resultante do conjunto torna inviável o projeto do ponto de vista econômico-financeiro.

6. 2 Análise de viabilidade operacional

6.2.1 Determinação do custo mínimo

O segundo tipo de análise em termos de distribuição por volume gerado de RSU foi verificar se cada porte de usina WPC, individualmente, ao ser inserido no contexto dos municípios e do mercado, permitiria rentabilidade financeira adequada para suportar os investimentos necessários a suas instalação e operação continuadas, e em que condições isso seria viável. O conjunto de usinas está ilustrado na Tabela 6.3, sendo os portes identificados de um a dez.

Especialmente na unidade de geração de energia elétrica, levando em consideração que as capacidades maiores de processamento podem ser atendidas por combinações de capacidades menores, foi necessário determinar a configuração de menor custo para cada porte. A partir dos valores dos diversos portes foi possível elaborar uma curva de menor custo, de formato por degraus, que foi então utilizada nas análises seguintes (RAND, 2000).

Para determinar as configurações adequadas foi utilizada em primeiro lugar a metodologia de comparação do custo por hora de potência total gerada por composição de unidades, a partir dos custos de cada unidade (RAND, 2000).

O resultado da análise é mostrado na Figura 6.1.

A transformação dos dados em custos por tipos de configuração possíveis em cada porte, em termos de potências unitárias equivalentes, em relação à potência gerada em cada caso específico de configuração, levou aos resultados apresentados na Figura 6.2.

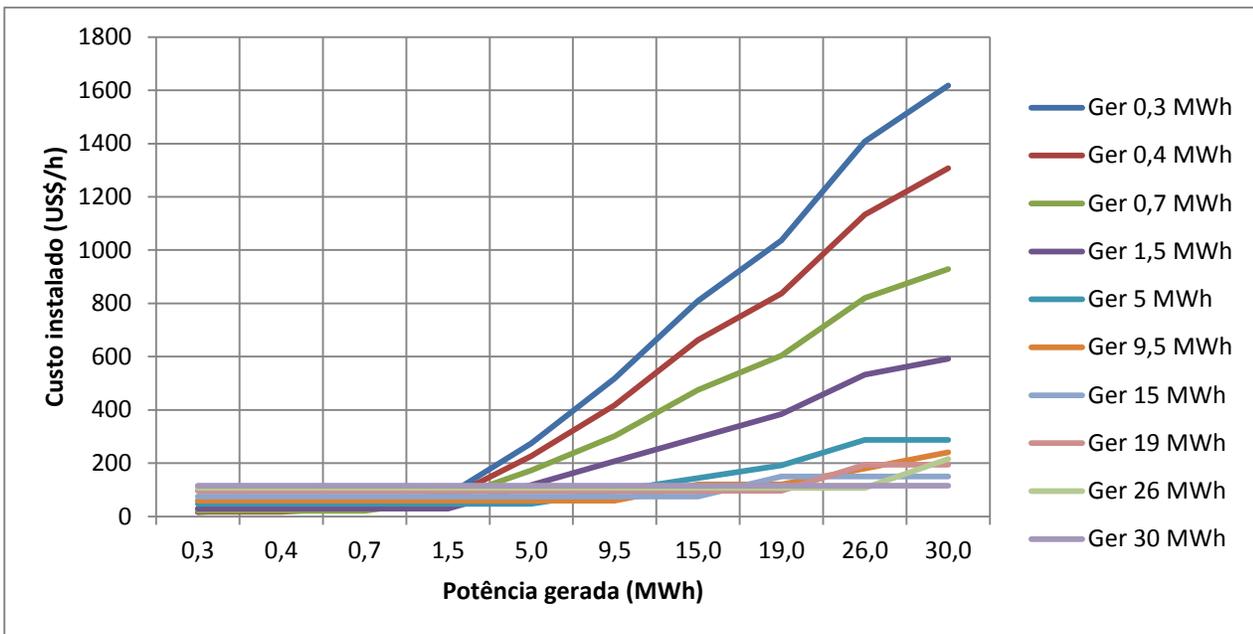


Figura 6.1 Custo por hora de potência total gerada por composições de unidades

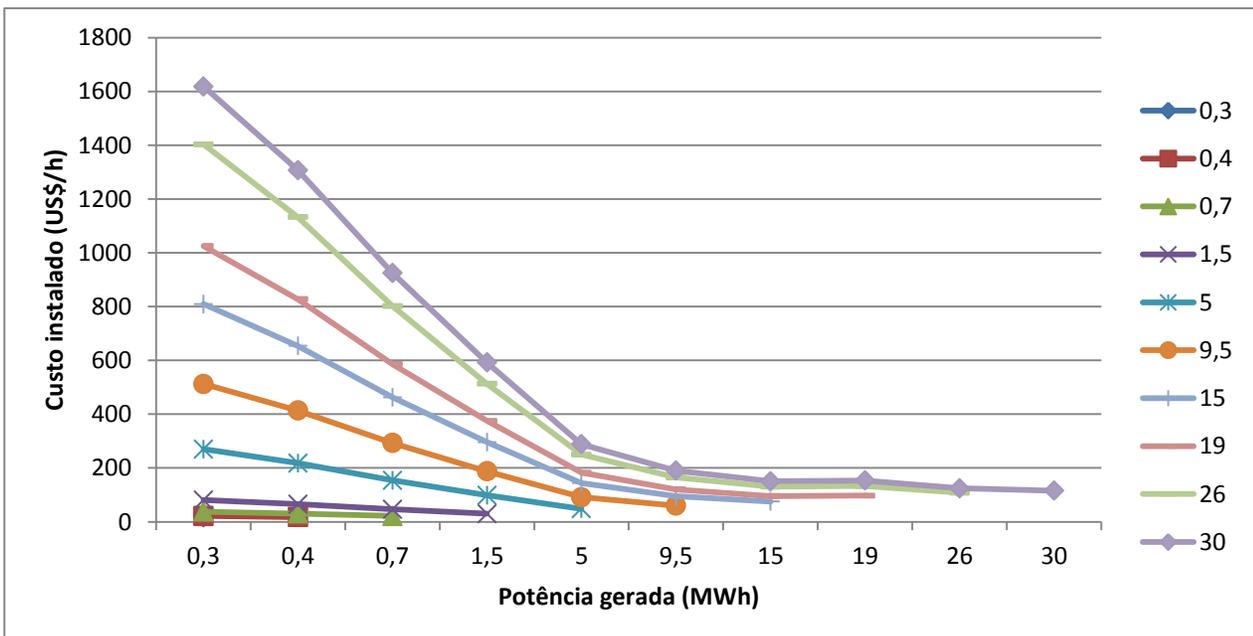


Figura 6.2 Custo por hora de potência total gerada por potências unitárias equivalentes

Os custos por tipos de configuração possíveis em cada porte, em relação à potência gerada em cada caso específico de configuração, são a base para a formação da curva de menor custo. Comparando-se os custos instalados e os custos mínimos de geração por porte (cada tipo de configuração), os resultados podem ser demonstrados pela Tabela 6.8 e pela Figura 6.3, servindo como referência para as análises seguintes.

Tabela 6.8 Custos de instalação x custos mínimos de geração (US\$)

Porte	1	2	3	4	5	6	78	8	9	10
Custo instalado US\$/h	16,18	17,43	21,59	29,61	48,04	60,21	75,22	97,14	107,99	115,90
Custo de geração US\$/MWh	53,95	43,57	30,85	19,74	9,61	6,34	5,01	5,11	4,15	3,86

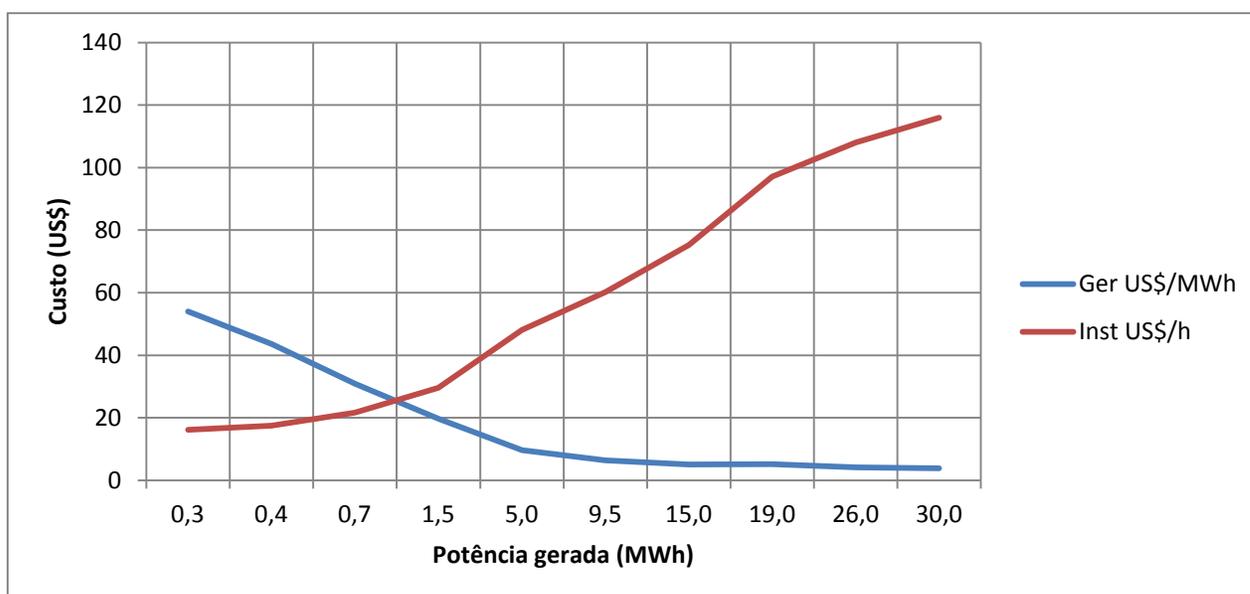


Figura 6.3 Custos de potência instalada x custos mínimos de geração

Os resultados das análises demonstram a vantagem das economias de escala. A Figura 6.3 mostra que, embora o custo instalado de equipamento seja o maior para o maior porte, o custo por energia gerada é o menor em sua respectiva faixa. Isso destaca a importância do correto dimensionamento da usina, com base na previsão de demanda ao longo de seu período de vida útil, para evitar que eventuais subdimensionamentos sejam posteriormente completados por linhas adicionais, o que somente aumentará o custo unitário de processamento e por energia gerada na usina.

6.2.2 Análise de viabilidade do empreendimento

Considerando os dados indicados anteriormente, a análise de viabilidade do empreendimento levou em consideração, para cada porte de usina:

- a faixa de capacidade de processamento;
- o investimento inicial necessário;
- os custos operacionais, de manutenção e logísticos;
- funcionários e salários;
- taxas e impostos;
- receitas e despesas resultantes da operação;
- benefícios diretos e indiretos obtidos pelo processamento WPC.

Segundo TOLMASQUIM (2005), a metodologia adequada para análise de viabilidade na área de energia é a de Fluxo de Caixa Descontado. Foi necessário estabelecer diversas variáveis e assumir outras que, em função de contextos, necessitaram de uma apuração mais cuidadosa.

As análises para determinação do Valor Presente Líquido (VPL) levaram em conta períodos de vida útil do empreendimento de 15, 20 e 30 anos e foi assumida uma Taxa Mínima de Atratividade de 12%.

Foram considerados dois cenários diferentes. O cenário operacional levou em consideração somente os valores diretamente relacionados à operação das usinas e seus resultados financeiros (resultados operacionais).

O cenário geral levou em consideração, além de todos os valores considerados no cenário operacional, também os benefícios diretos obtidos pelo funcionamento das usinas, como os créditos de carbono equivalentes à redução de emissões, e os indiretos, como a eliminação das despesas equivalentes pelo sistema público de saúde e a economia gerada pela substituição da geração de energia elétrica a partir de combustíveis fósseis e não renováveis.

As versões de análise para o cenário operacional mostram resultados significativamente diferentes dos obtidos nas análises em que foram considerados os benefícios diretos e indiretos do processamento do lixo em uma usina WPC. Essa diferença ilustra claramente o conceito de que a finalidade maior de uma instalação de processamento de RSU dessa natureza deve ser, em primeiro lugar, o aspecto sócio-ambiental para, somente depois disso, considerar o aspecto econômico-financeiro (RAND, 2000). Os resultados da análise de viabilidade são indicados na Tabela 6.9 e na Figura 6.4.

Tabela 6.9 Prazo de retorno de investimento (anos) por VPL

Tipo	Operacional			Geral		
	15 anos	20 anos	30 anos	15 anos	20 anos	30 anos
1	não	não	não	10	10	10
2	não	não	não	6	6	6
3	não	não	não	4	4	4
4	não	não	não	2	2	2
5	não	não	não	2	2	2
6	9	9	9	1	1	1
7	6	6	6	1	1	1
8	6	6	6	1	1	1
9	5	5	5	1	1	1
10	4	4	4	1	1	1

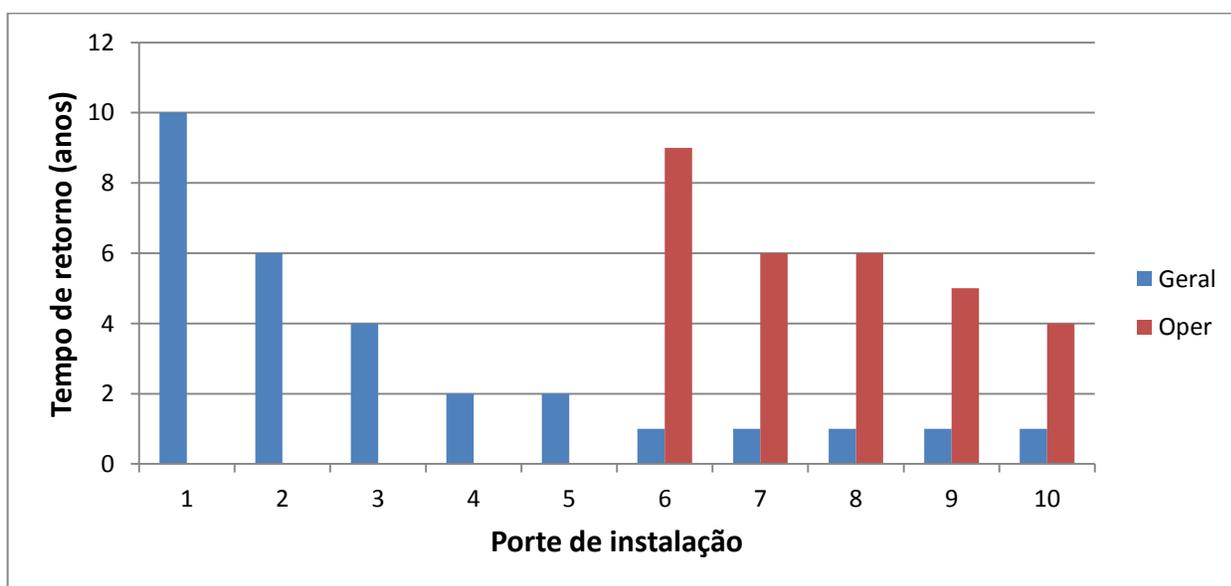


Figura 6.4 Prazo de retorno de investimento por porte de instalação

Do ponto de vista estritamente operacional, as usinas de portes menores 1 a 5 não apresentam retorno positivo e, portanto, nunca se pagariam, independentemente do tempo de vida útil considerado. Qualquer investimento nessas usinas deveria ser considerado a fundo perdido e contar com orçamento complementar continuado. As usinas de portes 1 a 3 apresentam valor líquido anual negativo e as de portes médios 4 e 5 apresentam valor líquido positivo, mas insuficiente para equilibrar os investimentos requeridos e as despesas operacionais. As usinas de portes maiores 6 a 10 apresentam retorno positivo e se pagariam em prazos variando de 10 anos (porte 6) a quatro anos (porte 10), dispensando assim aporte externo de capital. O retorno se daria dentro do tempo mínimo de vida útil considerado (15 anos).

Ao se considerar o conjunto de benefícios diretos e indiretos, entretanto, os resultados das análises mudam radicalmente. As usinas de todos os portes poderiam se pagar desde o primeiro ano (portes 6 a 10) até o décimo ano (porte 1), demonstrando que é muito importante considerar o conjunto de variáveis envolvido no contexto das usinas de processamento de lixo, ao invés de somente os aspectos operacionais individuais. Para a sociedade, esse é o tipo de resultado que interessa e importa, pois o custo final é reduzido e esse impacto é sentido no bolso pelo consumidor, pelo povo, a quem, em última instância, resta pagar pelas despesas incorridas por seus governos. O retorno dessas usinas, nesse caso, se daria dentro do tempo mínimo de vida útil considerado (15 anos) e com alta rentabilidade.

As Figuras 6.5 e 6.6 confirmam a indicação da Figura 6.3. As usinas que consideram os aspectos operacionais apresentam retornos negativos para os portes 1 a 5 e positivos para os portes 6 a 10. As usinas que consideram também os benefícios diretos e indiretos do processamento apresentam retornos positivos para todos os portes, de 1 a 10, crescendo significativamente a partir do porte 4. Isso ilustra também o efeito de perda de escala para os portes menores, em que pequenos volumes devem ser processados no mesmo nível de desempenho e qualidade dos portes maiores, em atendimento aos requisitos legais e regulatórios.

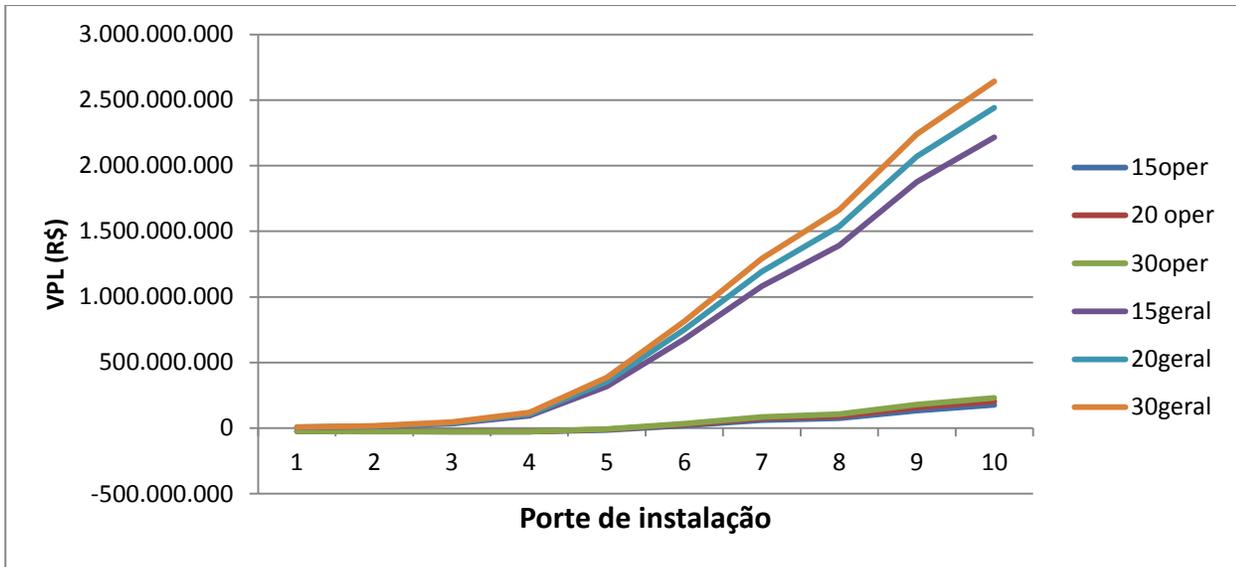


Figura 6.5 Retorno de investimento por porte de instalação, tipos de variáveis e tempo

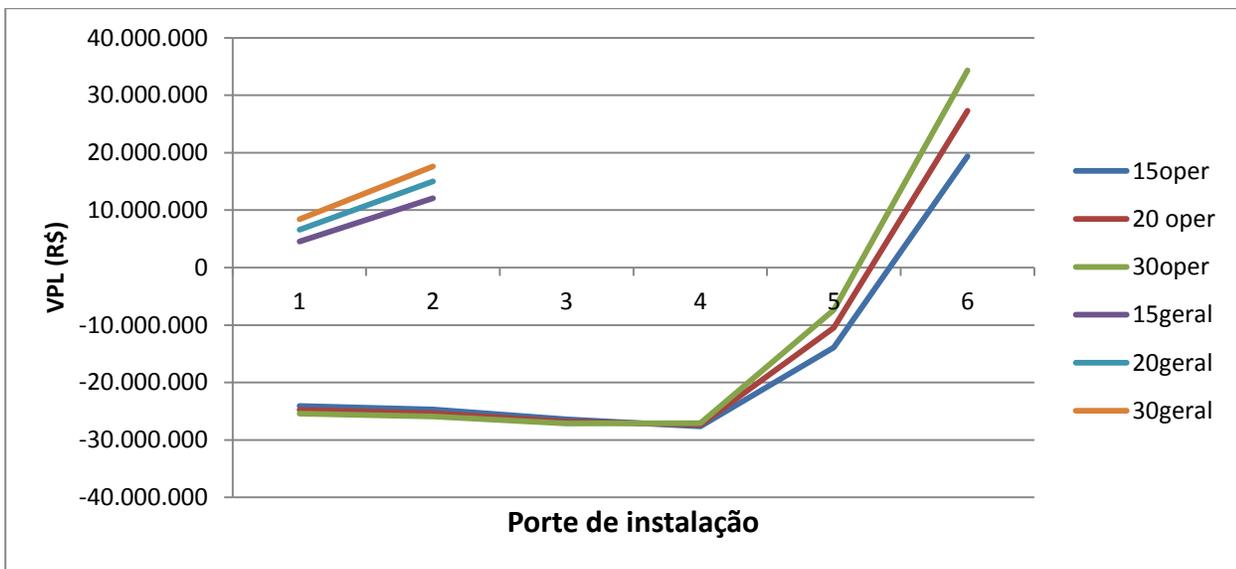


Figura 6.6 Retorno de investimento para portes 1 a 6 em diferentes condições

A essa altura das análises cabe perguntar às autoridades responsáveis pelas decisões a respeito do tratamento de lixo de seus municípios qual o conceito que elas realmente querem implantar em suas comunidades, individualmente ou em consórcios, para obter os melhores retornos para seus cidadãos (e eleitores). Ao considerar os efeitos dos resultados operacionais, estarão privilegiando somente os aspectos de caixa e falta de receitas e, necessariamente, deverão contar com sustentação externa para validar as usinas. Ao considerar também os benefícios diretos e indiretos, a conta passa a considerar também as despesas que se deixa de fazer, o que equivale a receitas virtuais que afetam positivamente o fluxo de caixa.

Atualmente essas despesas ocorrem sob outras rubricas e não se questiona como esse elo pode ser quebrado e eliminado, reduzindo o custo total para a comunidade e permitindo investimentos adicionais em outras áreas de prioridade. O maior problema na gestão pública nacional não é a falta de recursos, mas sim o mau uso dos recursos disponíveis em todos os níveis.

6. 3 Análise de agrupamento

6.3.1 Geração do PIB municipal

A terceira análise para estudo de viabilidade do processamento do lixo por instalações WPC, em que o lixo é completamente tratado e gera subprodutos como recicláveis, água e energia elétrica, verificou a capacidade econômico-financeira dos municípios para suportarem os investimentos requeridos, agora formando grupos para se beneficiarem dos efeitos de sinergia e escala.

A capacidade econômico-financeira de um município é resultado direto de sua disponibilidade de caixa, dividida em diversas rubricas quando da elaboração de sua previsão orçamentária e levada a efeito no devido ano de competência pela gestão desses recursos. O valor orçamentário, segundo a prática das finanças nacionais, está ligado diretamente à arrecadação municipal de taxas e impostos, e indiretamente ao repasse de verbas dos governos estadual e federal, por meio de cálculos nem sempre de fácil compreensão e normalmente mutáveis em função da disponibilidade de caixa.

Os valores orçamentários dos municípios não estão disponíveis para estudo. Um bom indicador indireto para a capacidade econômico-financeira de um município é a formação de seu PIB, como resultado das atividades geradoras levadas a efeito em sua jurisdição. Os valores de PIB gerados pelos municípios do Estado de São Paulo, em ordem crescente de população, estão ilustrados na Figura 6.7. A Cidade de São Paulo não foi considerada, devido à distorção de escala causada pela grande concentração em um só município. O ano de 2005 serve como referência para os demais (IBGE, 2008b).

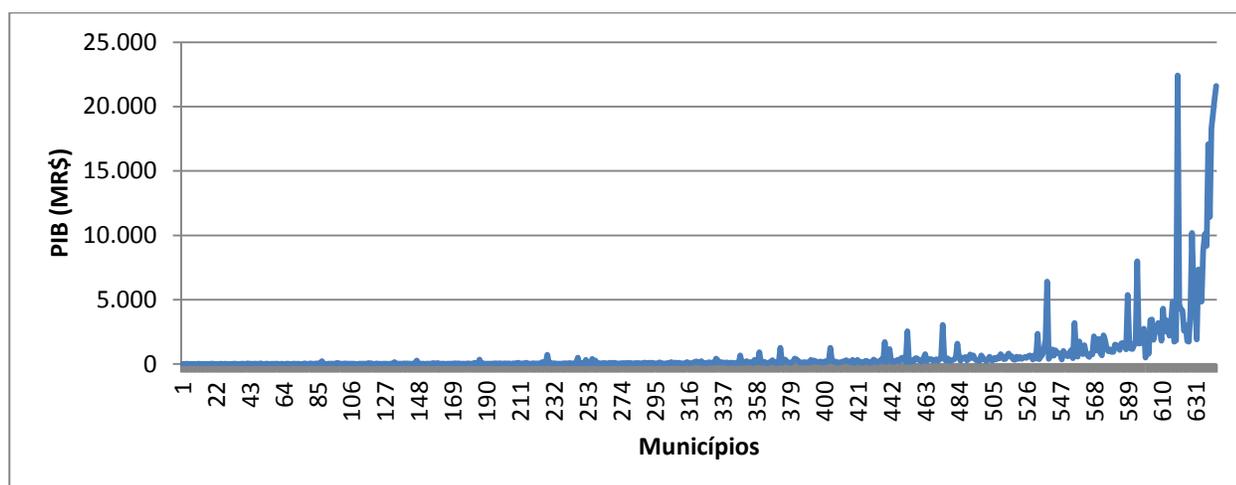


Figura 6.7 Geração de PIB por município em 2005 (por população)

A análise demonstra grande irregularidade na geração do PIB em função da população, devido aos diversos aspectos de atividade econômica dos municípios e sua participação na formação dos recursos. A Figura 6.8 mostra os mesmos dados, na formatação segundo o crescimento do PIB (sem a Cidade de São Paulo).

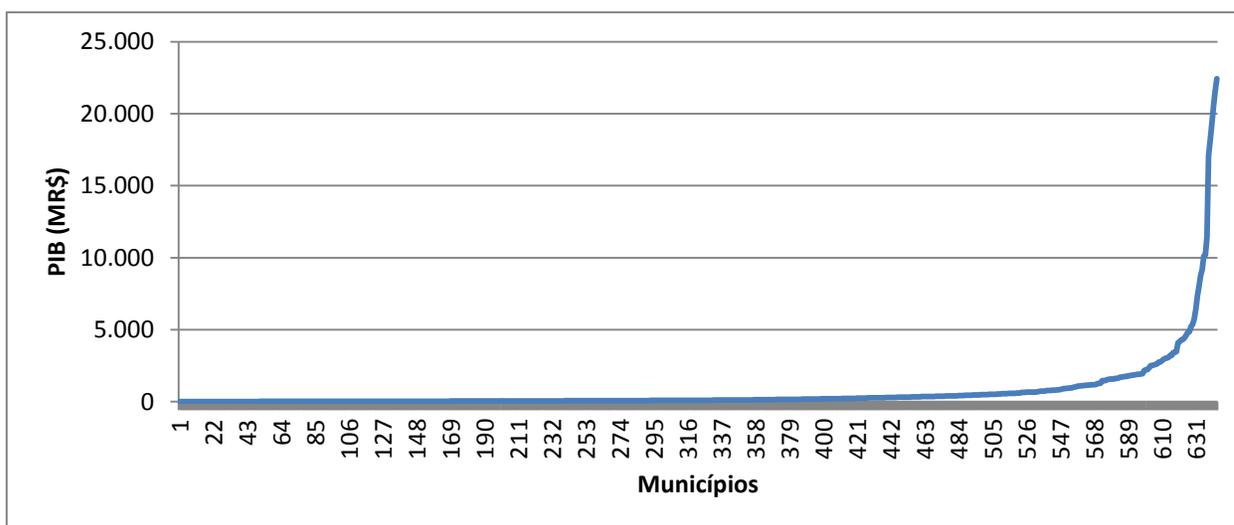


Figura 6.8 Geração de PIB por município em 2005 (por PIB)

Constata-se o forte efeito de concentração na geração do PIB dos municípios, que tem impactos diretos na capacidade de investimento e execução orçamentária. Na prática, a disponibilidade de recursos é menor ainda, pois é necessário deduzir a parcela referente ao peso do aparato administrativo e da gestão pública.

A geração do PIB *per capita*, como grandeza, é mais significativa como indicador e está indicada na Figura 6.9. A Cidade de São Paulo foi considerada, pois seu valor não apresenta efeito de distorção de escala.

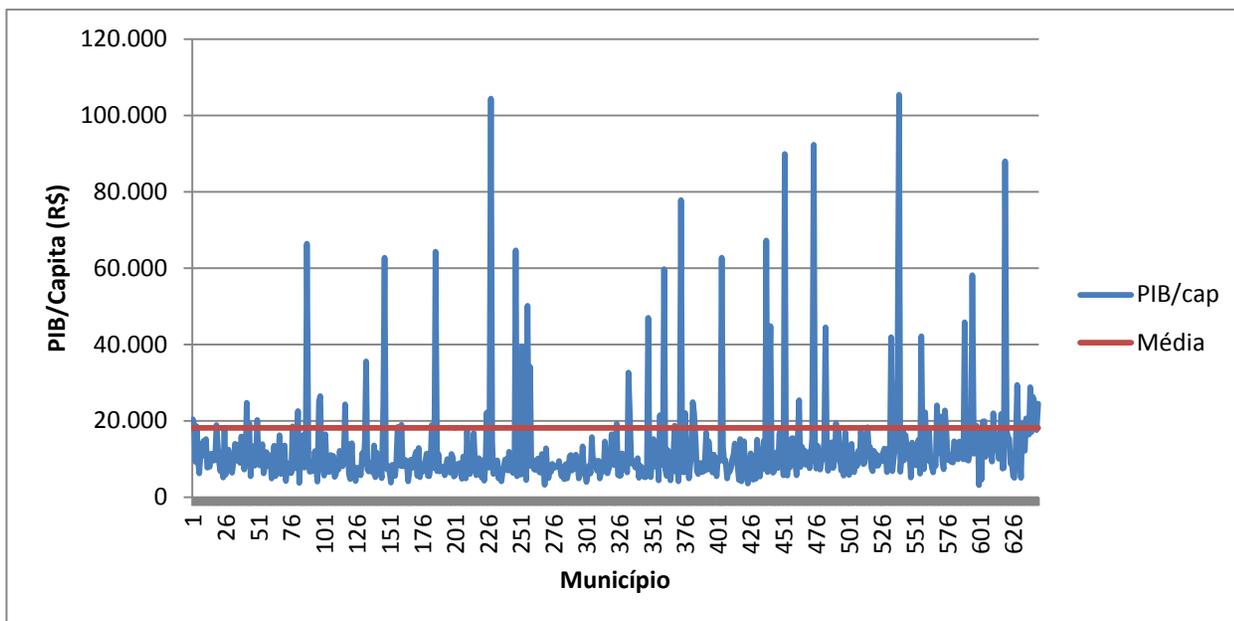


Figura 6.9 Geração de PIB *per capita* em 2005 (por população)

A análise dos dados demonstra forte alteração em relação à hierarquia de geração do PIB. Enquanto as Figuras 6.7 e 6.8 indicam a geração de renda como um todo, a geração de renda por habitante é bastante diferenciada nos mesmos municípios e passa a representar, na prática, a eficiência de geração de renda do município. Em outras palavras, quais são os municípios ricos e quais os que arrecadam menos. Um exemplo significativo disso é a Cidade de São Paulo, que apresenta a maior geração em volume total, mas fica na posição 35 em termos de geração por habitante.

Ao analisar a problemática do lixo, que envolve toda a população e, portanto, uma grandeza distribuída, a geração *per capita* do PIB passa a representar um indicador melhor para as análises. A Figura 6.8 mostrou os mesmos dados, na formatação segundo o crescimento do PIB (sem a Cidade de São Paulo, devido ao efeito de distorção de escala que origina). A Figura 6.10 mostra os mesmos dados, na formatação segundo o crescimento do PIB por habitante (com a Cidade de São Paulo).

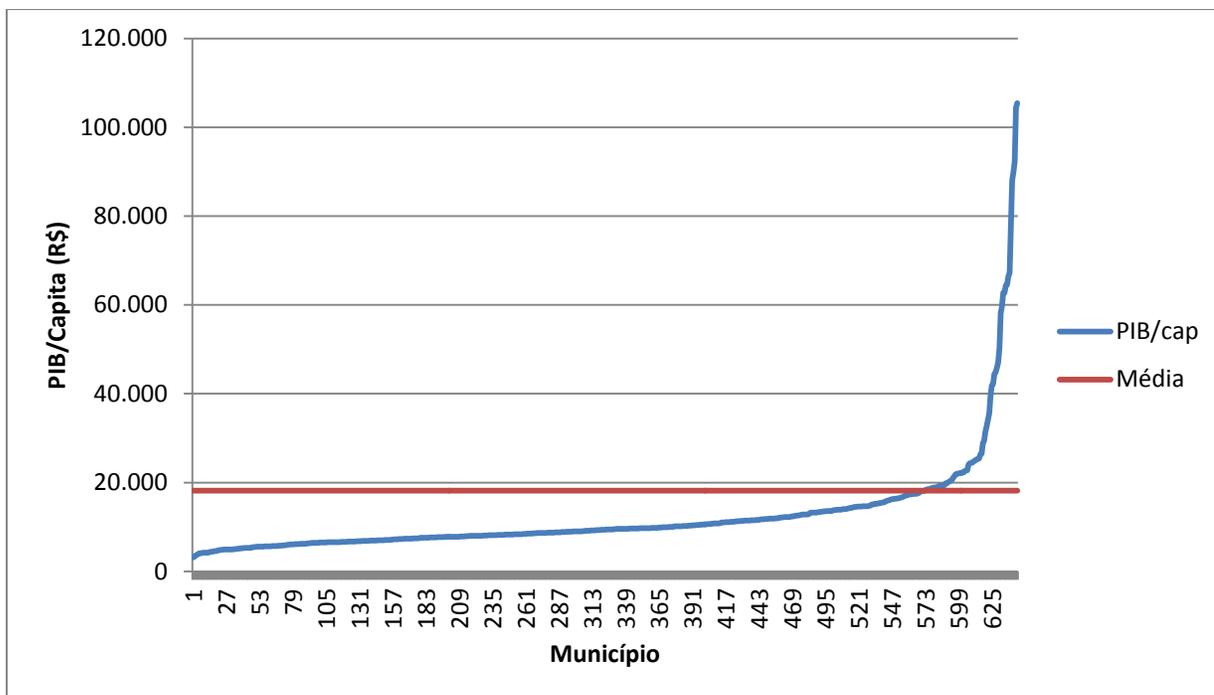


Figura 6.10 Geração de PIB *per capita* em 2005 (por PIB)

Essa Figura permite verificar que, dos 645 municípios do Estado de São Paulo, 572 estão abaixo da média de geração, representando 88,7% do total, enquanto 73 estão acima da média, representando 11,3% do total. Isso novamente indica forte efeito de concentração na geração do PIB, com significativos impactos na disponibilidade de recursos para a execução orçamentária municipal na maioria dos casos.

Constata-se que o melhor caminho para os municípios de menor geração seria a participação em grupos que visassem o processamento comum do volume total de lixo gerado, para se beneficiar dos efeitos de sinergia e escala obtidos pelo aumento do volume tratado.

6.3.2 Análise do fator de agrupamento

A análise de agrupamento levou em conta os efeitos resultantes da formação de grupos pelos municípios, considerando os valores de geração de lixo, geração de PIB e população como base para os cálculos. Buscou-se o efeito comparativo das taxas de crescimento de cada um dos valores, conforme ocorria o aumento do agrupamento.

Para efeito da formação dos agrupamentos, alguns métodos foram utilizados: a partir dos municípios situados nos extremos do estado; a partir dos municípios situados nos pontos médios do estado; a partir dos municípios maiores, para os menores ao redor; em cada região administrativa, a partir dos municípios dos extremos para o centro ou a partir dos municípios maiores, para os menores. Todos os métodos levaram a resultados similares de comportamento das taxas de crescimento, ao se realizar a estratificação dos valores de agrupamento. Decidiu-se adotar o agrupamento por região administrativa como representativo, realizando a estratificação segundo a população. Essa decisão teve também o fundo prático de orientação e motivação políticas envolvidas nas facilidades e dificuldades de os municípios chegarem a consenso sobre formação de grupos dentro de suas regiões e, eventualmente, de outras.

Para a Região Administrativa de Campinas e a Região Metropolitana de São Paulo foi necessário realizar análises alternativas, devido aos portes que ambas apresentaram e, principalmente, ao fator de concentração, em função da relação entre as principais cidades (Campinas, São Paulo) e as demais cidades de cada grupo. A alta concentração geográfica das fontes geradoras na Região Administrativa de São Paulo e a falta de dados locais específicos representam dificuldades na realização das análises.

As análises demonstraram a ocorrência de três situações diferentes nas várias regiões administrativas, como resultado do comportamento das taxas de crescimento:

1. Crescimento superior da geração de RSU

Esse efeito foi verificado nas regiões administrativas de Araçatuba, Barretos, Bauru, Central, Franca e Marília, representando 11,4% da população, 9,8% da geração de lixo e 8,2% da geração do PIB do estado. A Figura 6.11 ilustra o comportamento típico das taxas de crescimento dessas regiões.

As regiões de Araçatuba, Bauru, Franca e Marília espelham uma situação mais delicada, pois o crescimento do PIB é inferior ao crescimento da geração de RSU e da população. Isso prenuncia problemas na geração de recursos para suportar os investimentos necessários nos municípios, especialmente para o tratamento do lixo gerado, como objetivo comum ao grupo.

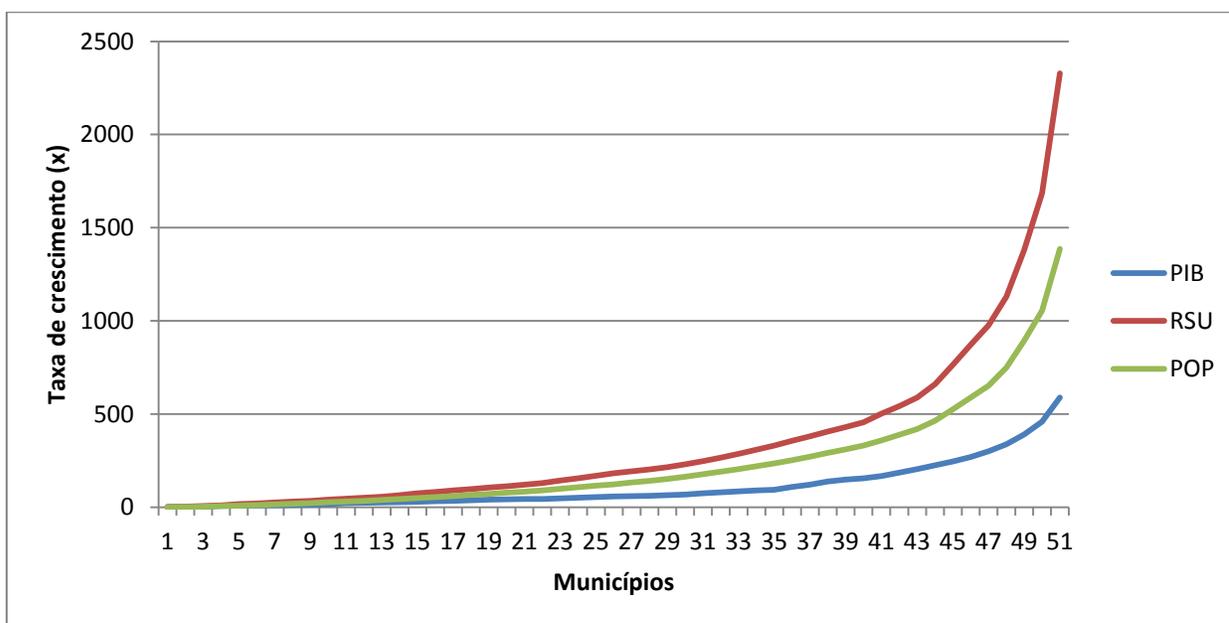


Figura 6.11 Comportamento de taxas de crescimento (RSU maior)

2. Crescimento superior da população

Esse efeito foi verificado nas regiões administrativas de Campinas, Registro, São José do Rio Preto e Sorocaba, representando 24,9% da população, 22,1% da geração de lixo e 22,6% da geração do PIB do estado. Nas regiões de Campinas e Registro a taxa de crescimento do PIB supera a taxa de crescimento de RSU, na região de Sorocaba elas são praticamente equivalentes e na região de São José do Rio Preto a taxa de crescimento de RSU supera a taxa de crescimento do PIB, chamando a atenção para futuros problemas na geração de recursos necessários ao suporte dos investimentos.

Nas demais, o crescimento da população ainda ajuda na geração de PIB superior ao crescimento da geração de RSU. A Figura 6.12 ilustra o comportamento típico das taxas de crescimento nessas regiões.

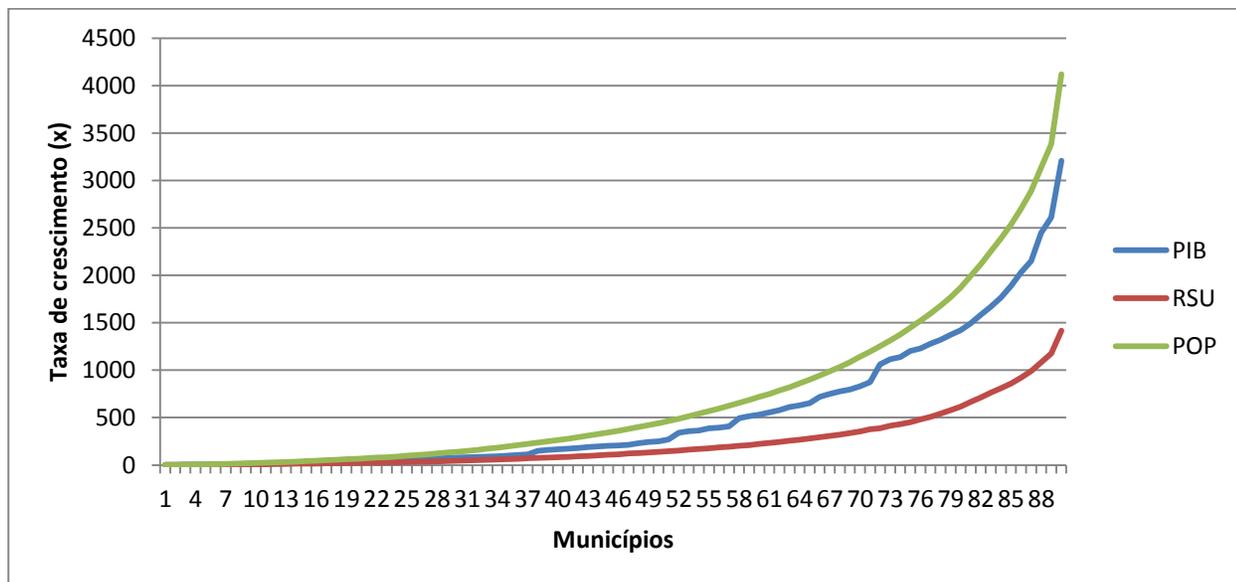


Figura 6.12 Comportamento de taxas de crescimento (POP maior)

3. Crescimento superior da geração do PIB

Esse efeito foi verificado nas regiões administrativas de Presidente Prudente, Ribeirão Preto, Santos, São José dos Campos, representando 14,5% da população, 12,5% da geração de lixo e 12,0% da geração do PIB do estado, e na Região Metropolitana de São Paulo, compreendendo a Cidade de São Paulo (28,2% da população, 35,9% da geração de lixo e 36,1% da geração do PIB do estado) e os demais municípios, representando 21,0% da população, 19,7% da geração de lixo e 21,1% da geração do PIB do estado.

Nas regiões de Ribeirão Preto, São José dos Campos e Região Metropolitana de São Paulo a taxa de crescimento da população supera a taxa de crescimento de RSU, enquanto nas regiões de Presidente Prudente e Santos ocorre o inverso. Em qualquer caso, a taxa de crescimento do PIB superior às demais denuncia melhorias na geração de recursos necessários aos investimentos. A Figura 6.13 ilustra o comportamento típico das taxas de crescimento das regiões.

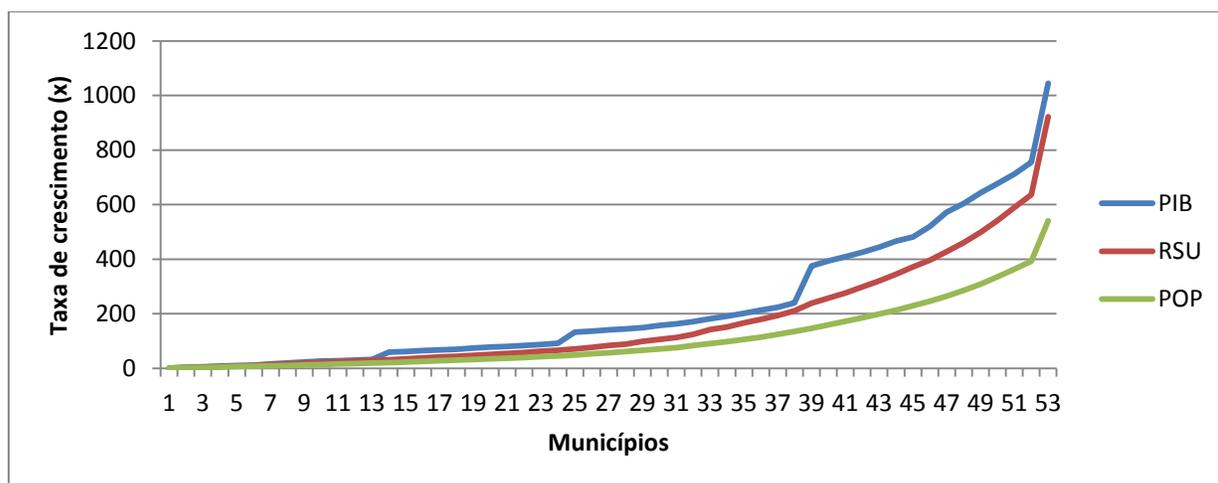


Figura 6.13 Comportamento de taxas de crescimento (PIB maior)

Os resultados das análises demonstraram que o comportamento relativo das taxas de crescimento da população, da geração de RSU e da geração do PIB não é similar em todas as regiões administrativas.

Os casos mais críticos são os das regiões em que a taxa de crescimento da geração de RSU é superior à taxa de crescimento da geração do PIB, ao longo da formação do agrupamento, indicando falta de criação de recursos para suportar os investimentos requeridos para implantação de usinas de processamento de lixo que atenda as necessidades do conjunto desses municípios.

Apuradas as tendências e o comportamento das variáveis durante a formação de agrupamentos, foram analisadas as capacidades econômico-financeira e de investimentos que podem ocorrer em cada caso, levando em consideração os custos relativos aos portes respectivos dos grupos formados; os custos logísticos decorrentes da abrangência geográfica dos grupos; as despesas atuais dos municípios para esse setor; o potencial de gastos em função do PIB acumulado nos grupos.

6. 4 Análise de viabilidade econômico-financeira

6.4.1 Custo da usina em relação ao empenho atual

A quarta análise verificou a capacidade econômico-financeira dos municípios para suportar os investimentos requeridos, formando grupos para um processamento comum e para se beneficiarem dos efeitos de sinergia e escala, comparando o total de

investimentos necessários e os valores empenhados atualmente para o mesmo porte de processamento do lixo.

No caso da Região Administrativa de Campinas e da Região Metropolitana de São Paulo houve necessidade de estudos alternativos, devido ao alto volume de geração no grupo (RMC) e à forte concentração na cidade de São Paulo (RMSP).

Para demonstração dos comportamentos foram selecionadas as curvas do ano 2005. As curvas referentes aos anos 2010 a 2020 apresentam comportamento similar. As Figuras 6.14 e 6.15 ilustram o comportamento típico dos valores.

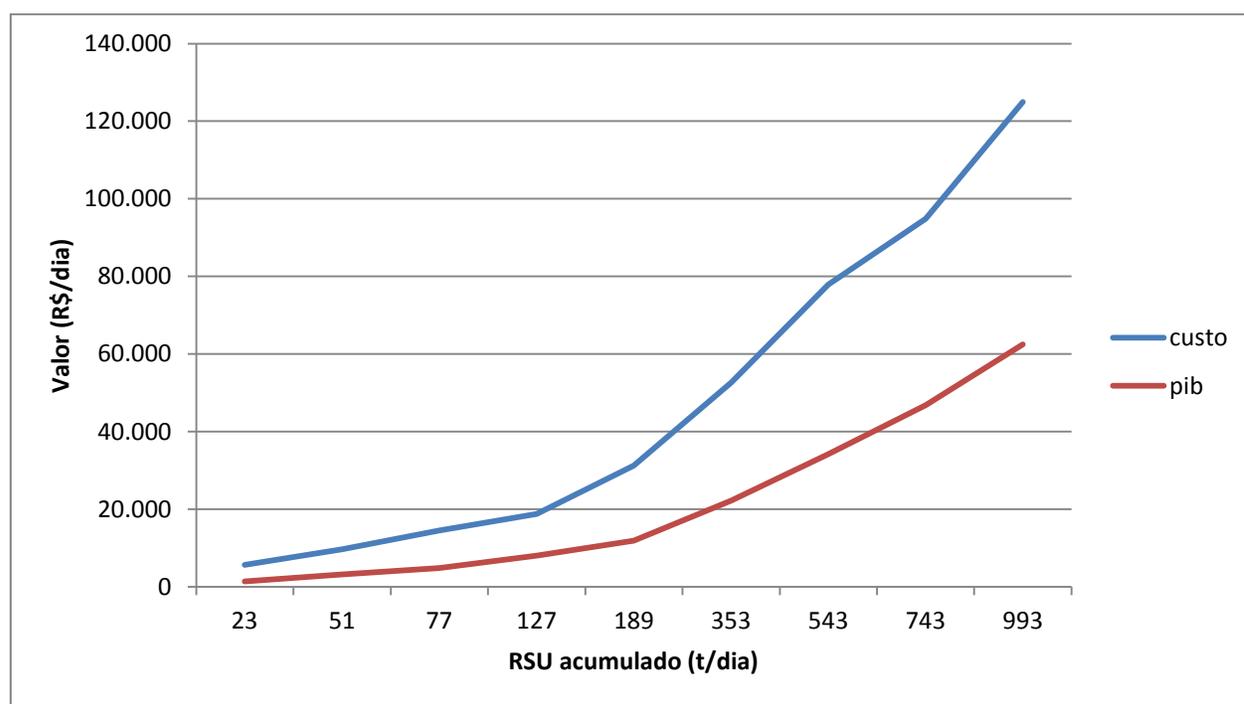


Figura 6.14 Comportamento de custo e empenho atual – Santos 2005

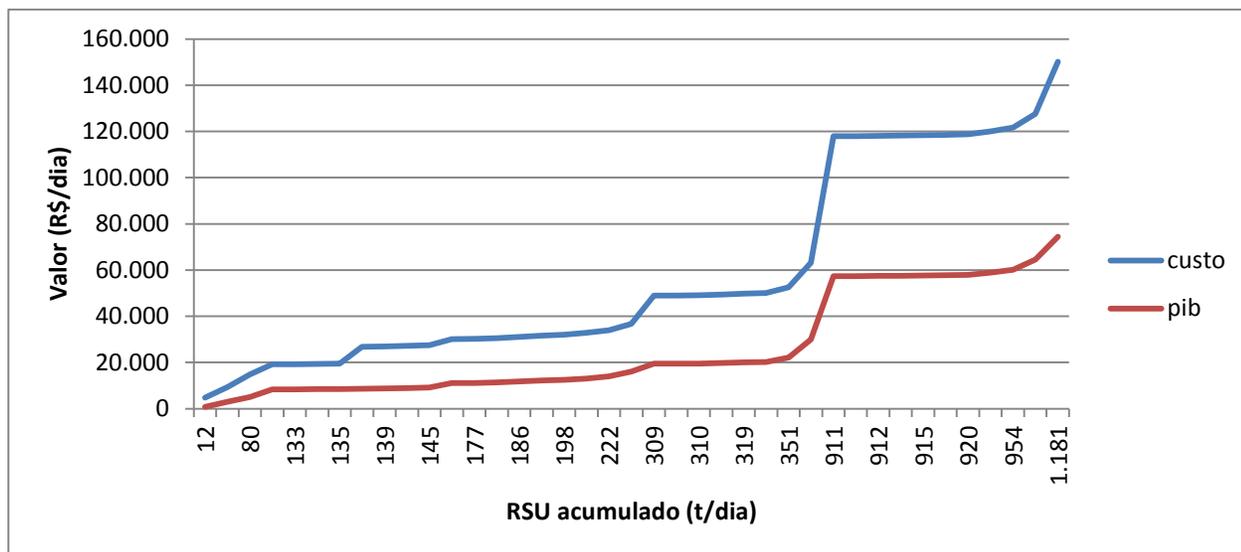


Figura 6.15 Comportamento de custo e empenho atual – S. J. Campos 2005

A Figura 6.16 ilustra o comportamento verificado para a cidade de Campinas. Constatou-se que não houve alteração no comportamento do custo da instalação em relação ao valor empenhado atualmente para a disposição do RSU.

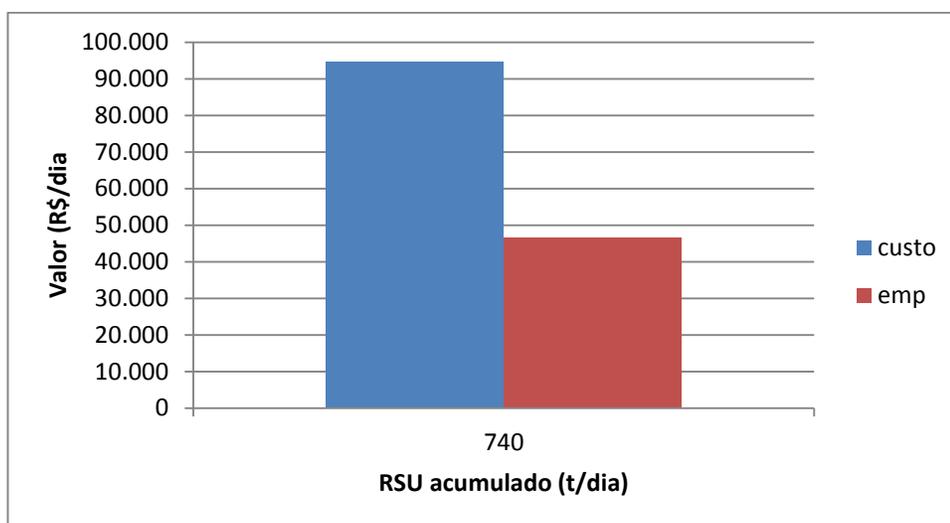


Figura 6.16 RMC Cidade de Campinas – Custo x empenho atual 2005

A Figura 6.17 ilustra o comportamento típico observado em todos os agrupamentos formados na Região Metropolitana de Campinas (RMC). Não se constatou alteração do comportamento das curvas em relação ao perfil observado na análise do agrupamento formado em toda a região, embora com outro porte.

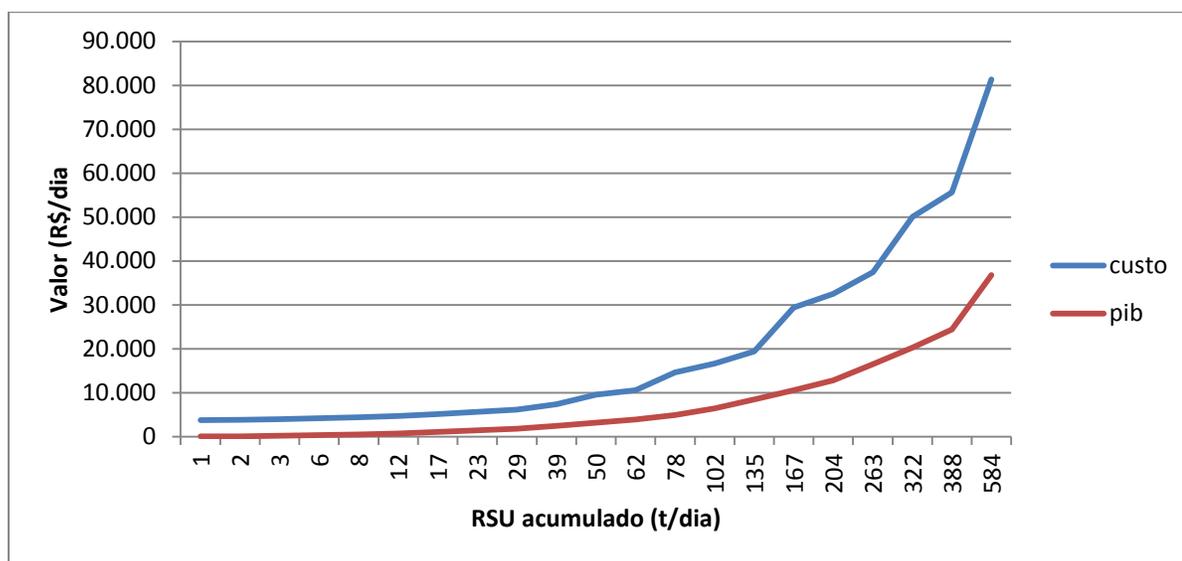


Figura 6.17 Comportamento de custo de usina x empenho atual - RMC

A Figura 6.18 ilustra o comportamento típico observado em todos os agrupamentos formados nas regiões da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Não se constatou alteração do comportamento em relação ao perfil observado na análise do agrupamento formado em toda a região, embora com outro porte.

As análises mostraram que todas as formações de grupos apresentam custos futuros superiores aos valores dispendidos hoje para o processamento dos mesmos volumes de lixo, ao longo da formação de grupos. Ocorre significativa influência dos

custos logísticos e de investimentos na formação dos custos totais, cujos valores aumentam mais que os recursos disponíveis ao longo do aumento do porte de agrupamento e do aumento do volume de RSU

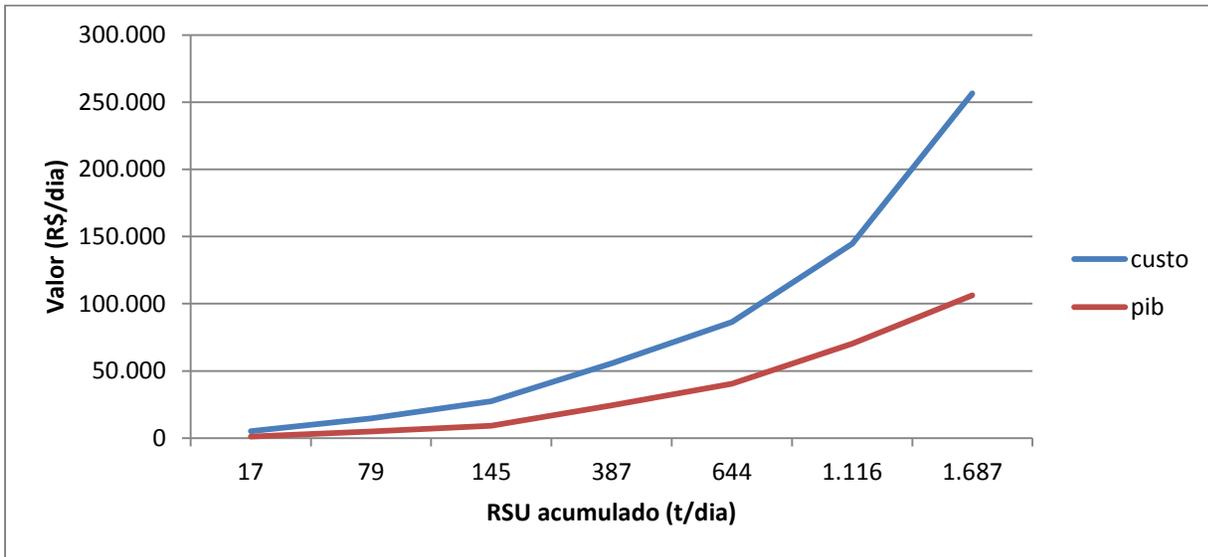


Figura 6.18 Comportamento de custo de usina x empenho atual - RMSP

Para a Cidade de São Paulo não foi possível fazer as análises no período 2005 - 2020, pois os dados necessários para os bairros e regiões administrativas não estão disponíveis. Foi possível efetuar um estudo de formação de agrupamento, em função do RSU gerado, para recomendação de enquadramento das regiões nos portes de usina disponíveis.

Constatou-se que a Cidade de São Paulo, embora apresente forte concentração de valores de geração de RSU, PIB e demande os maiores portes de usinas para atendimento do volume gerado, segue os comportamentos apresentados

pelos demais municípios da RMSP e das demais regiões do estado, potencializando os efeitos nas curvas (e, em alguns casos, distorcendo as curvas por efeito de escala).

6.4.2 Custo da usina em relação ao PIB

A quinta análise para estudo de viabilidade do processamento do lixo por instalações WPC verificou quanto do PIB gerado nos municípios deveria ser empenhado na forma de capacidade econômico-financeira dos municípios para suportar os investimentos requeridos, na mesma situação de formação de grupos para um processamento comum e para se beneficiarem dos efeitos de sinergia e escala.

Para efeito de cálculos foram utilizados os dados de base, além dos dados do PIB gerado (IBGE, 2008b). Também houve necessidade de considerar os custos logísticos agregados pela movimentação do lixo entre as fontes geradoras e a usina de processamento do volume total.]

Nos casos da Região Administrativa de Campinas e da Região Metropolitana de São Paulo houve necessidade de estudos alternativos.

Para efeito de demonstração dos comportamentos foram selecionadas as curvas do ano 2005. As curvas referentes aos anos 2010 a 2020 apresentam comportamento similar em relação ao PIB.

A Figura 6.19 ilustra o comportamento típico mais frequente e constatado nas regiões Central, Franca, Marília, Presidente Prudente, Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, São José dos Campos, Sorocaba e Região Metropolitana de São Paulo.

Representa relativo equilíbrio entre os efeitos de aumento de volume de RSU e aumento do PIB gerado, compensando o aumento dos custos logísticos e evidenciando os benefícios de escala.

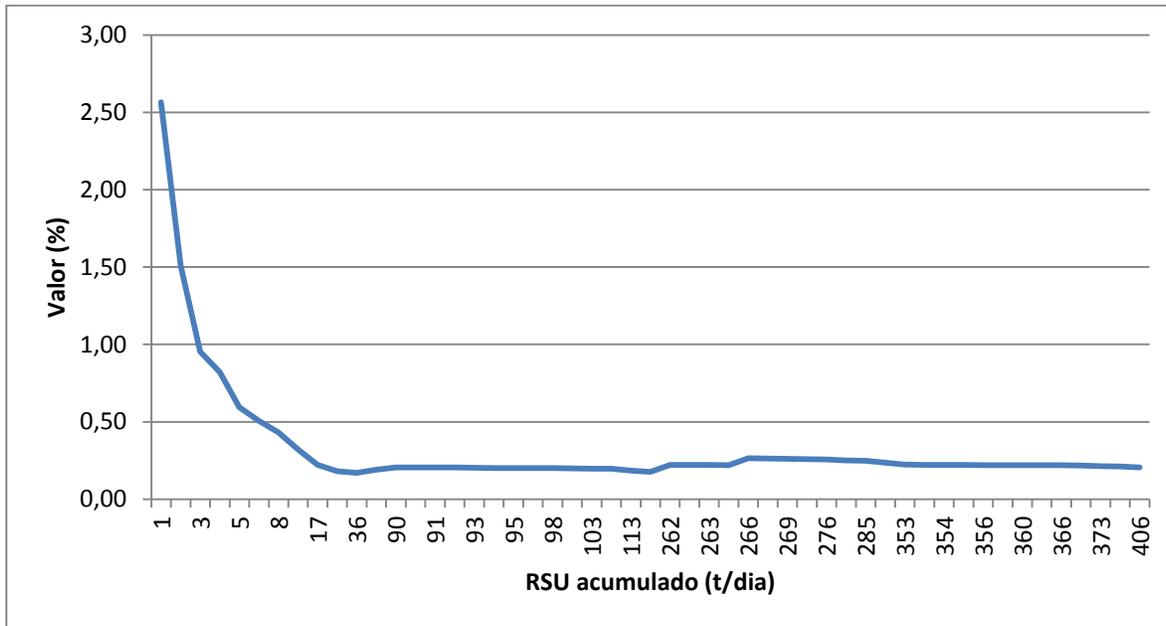


Figura 6.19 Custo da usina em porcentagem do PIB – Marília 2005

A Figura 6.20 ilustra o segundo comportamento típico mais frequente e constatado nas regiões de Araçatuba, Bauru e Campinas.

Representa relativo equilíbrio entre os efeitos de aumento de volume de RSU e aumento do PIB gerado, compensando o efeito de aumento dos custos logísticos e evidenciando os benefícios de escala na primeira metade da curva.

Na segunda metade, indica que os municípios de maior porte passam a participar com maior geração de RSU em relação à geração de PIB, aumentando o

percentual dos investimentos totais em relação ao total do respectivo PIB gerado. Demonstra também redução na eficiência de geração do PIB *per capita*.

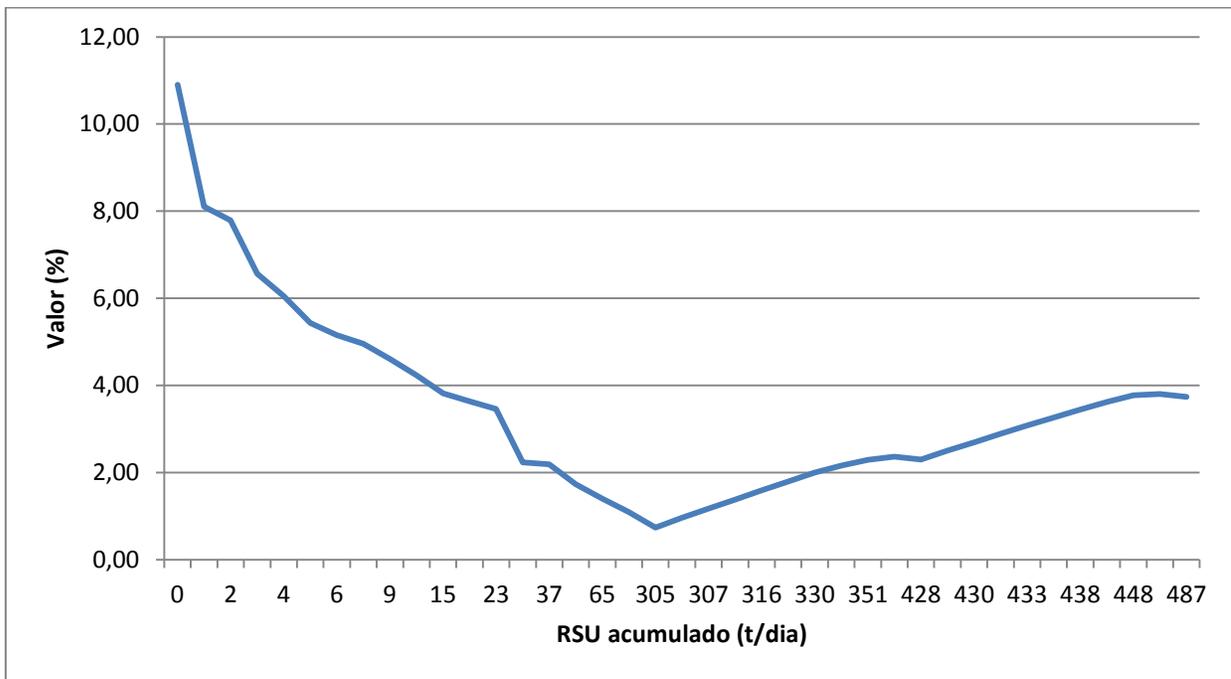


Figura 6.20 Custo da usina em porcentagem do PIB – Bauru 2005

A Figura 6.21 ilustra o terceiro comportamento típico mais frequente e constatado nas regiões de Barretos, Registro e Santos.

Representa relativo equilíbrio entre os efeitos de aumento de volume de RSU e aumento do PIB gerado, compensando o aumento dos custos logísticos e evidenciando os benefícios de escala na primeira metade da curva.

Na segunda metade, indica que os municípios de maior porte passam a participar com maior geração de RSU em relação à geração de PIB, reduzindo a compensação dos custos logísticos.

No final, município(s) de maior porte acentua(m) a participação com maior geração de PIB, reduzindo o percentual dos investimentos totais em relação ao total do PIB gerado e demonstrando maior eficiência na geração de PIB *per capita*.

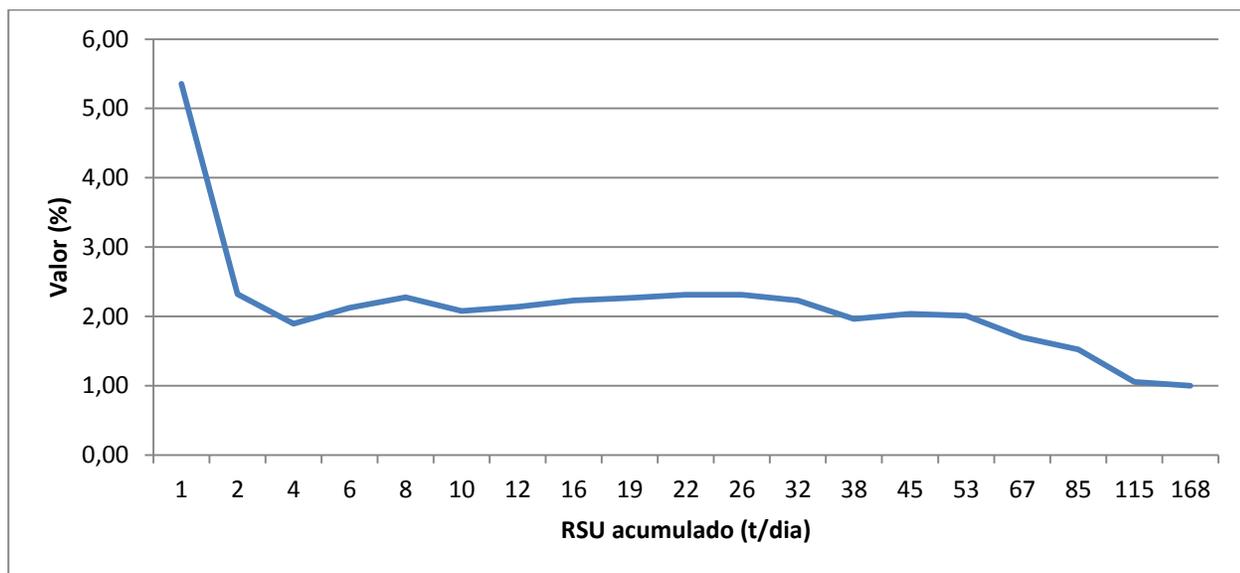


Figura 6.21 Custo da usina em porcentagem do PIB – Barretos 2005

A Figura 6.22 ilustra o comportamento verificado para a cidade de Campinas. Constatou-se que não houve alteração no comportamento do custo da instalação em relação ao valor empenhado atualmente para a disposição do RSU. Quando acrescentado aos valores dos demais municípios da RMC, esse valor potencializa o comportamento da curva resultante para o conjunto.

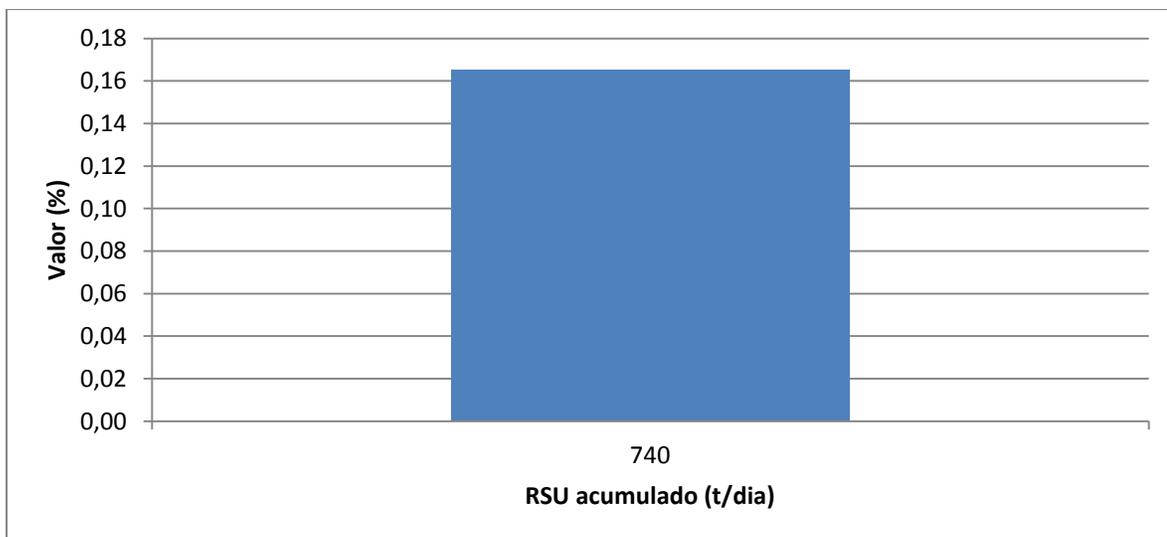


Figura 6.22 Custo da usina em porcentagem do PIB – Campinas 2005

A Figura 6.23 ilustra o comportamento típico observado em todos os agrupamentos formados na Região Metropolitana de Campinas (RMC). Não se constatou alteração do comportamento em relação ao perfil observado na análise do agrupamento formado em toda a região, embora com outro porte.

A Figura ilustra um comportamento que representa uma queda acentuada no início da formação do grupo e relativa estabilização ao longo do aumento do volume de RSU a ser processado na região. Isso demonstra relativo equilíbrio entre os efeitos de aumento de volume de RSU e aumento do PIB gerado (valores diários), compensando o efeito de aumento dos custos logísticos e evidenciando os benefícios de escala.

Os demais perfis também foram constatados, com grau de alternância acentuado em maior ou menor grau.

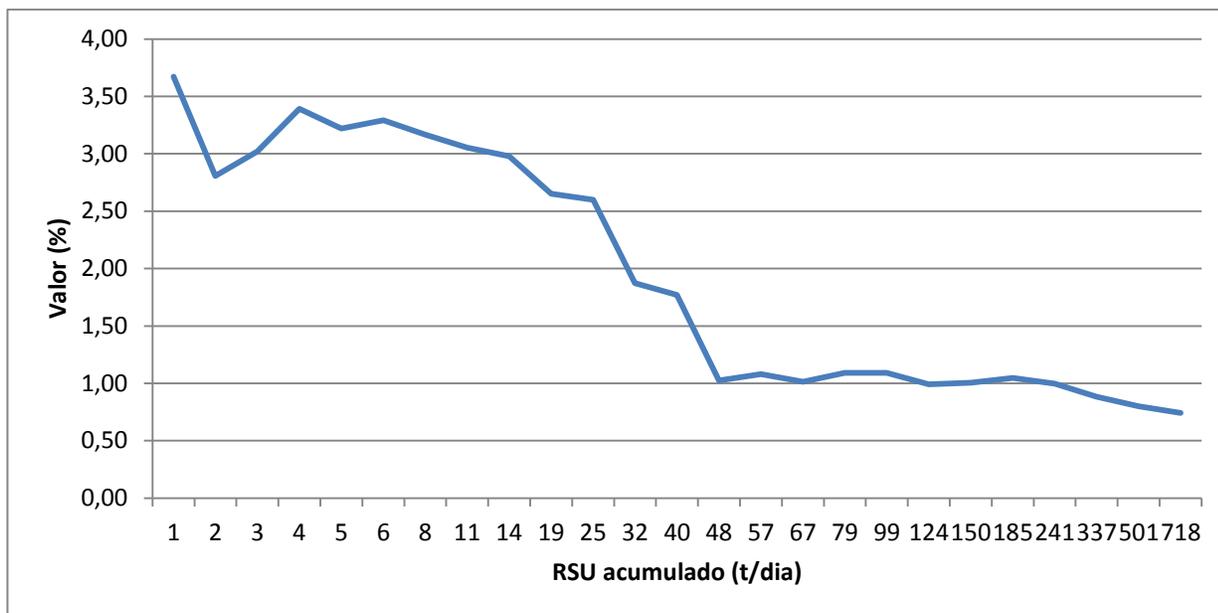


Figura 6.23 Custo da usina em porcentagem do PIB – RMC 2005

A Figura 6.24 ilustra o comportamento típico observado em todos os agrupamentos formados nas regiões da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Não se constatou alteração do comportamento em relação ao perfil observado na análise do agrupamento formado em toda a região, embora com outro porte.

Essa Figura mostra um comportamento que representa relativo equilíbrio entre os efeitos de aumento de volume de RSU e aumento do PIB gerado, compensando o efeito de aumento dos custos logísticos e evidenciando os benefícios de escala. Os demais perfis também foram constatados, com alternância em maior ou menor grau.

Para a Cidade de São Paulo não foi possível fazer as análises no período 2005-2020, pois os dados necessários para os bairros e regiões administrativas não estão disponíveis. Foi possível efetuar um estudo de formação de agrupamento, em função do RSU gerado, para recomendação de enquadramento das regiões nos portes de usina disponíveis.

Constatou-se que a Cidade de São Paulo, embora apresente forte concentração de valores de geração de RSU, PIB e demande os maiores portes de usinas para atendimento do volume gerado, segue os comportamentos apresentados pelos demais municípios da RMSP e das demais regiões do estado, potencializando os efeitos nas curvas (e, em alguns casos, distorcendo as curvas por efeito de escala).

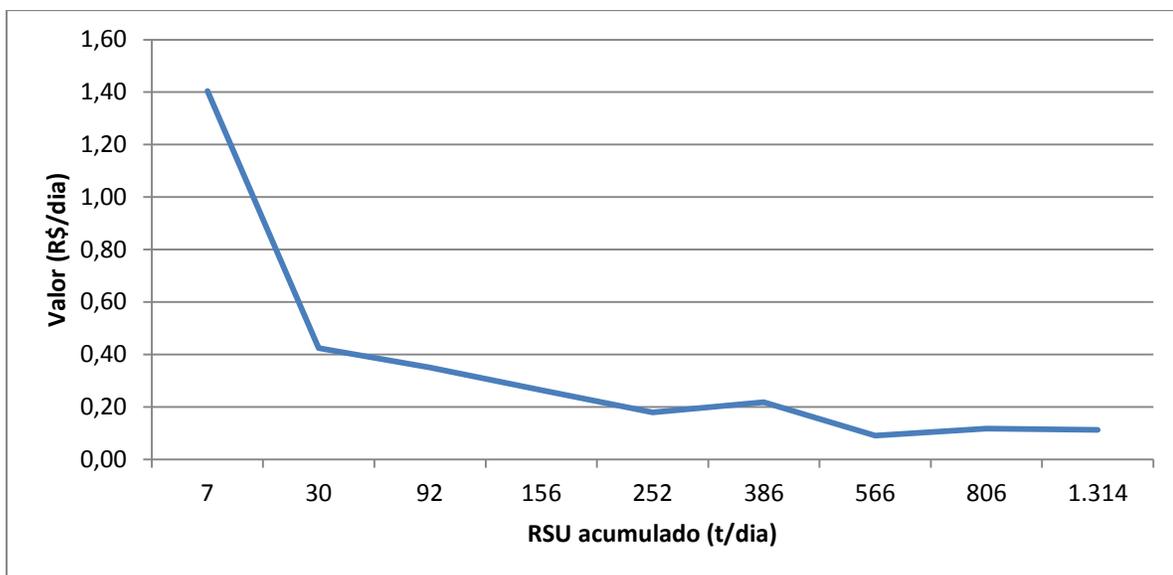


Figura 6.24 Custo da usina em porcentagem do PIB – RMSP 2005

6.4.3 Custo da usina e custos logísticos em relação ao empenho

A sexta análise para estudo de viabilidade do processamento do lixo por instalações WPC verificou a influência dos componentes dos custos totais dos diversos portes de usina, em relação aos recursos atualmente dispendidos para a disposição do lixo. Buscou-se melhor entendimento das efetivas participação e influência de cada um

deles e dos aspectos críticos a serem considerados ao se realizar a conceituação e o planejamento do processamento comum do lixo gerado por agrupamentos de municípios. Os efeitos desses componentes apresentam comportamentos diferentes e seu efeito combinado foi objeto de análise no item 6.4.2.

Para efeito de cálculos foram utilizados os dados de base, além dos dados do PIB gerado (IBGE, 2008b). Também houve necessidade de considerar os custos logísticos agregados pela movimentação do lixo entre as fontes geradoras e a usina de processamento do volume total. No caso da Região Administrativa de Campinas e da Região Metropolitana de São Paulo houve necessidade de estudos alternativos, devido ao alto volume de geração no grupo (RMC) e à forte concentração na cidade de São Paulo (RMSP).

Para demonstração dos comportamentos foram selecionadas as curvas do ano 2005. As curvas referentes aos anos 2010 a 2020 apresentam comportamento similar. A Figura 6.25 ilustra o comportamento típico mais frequente dos valores.

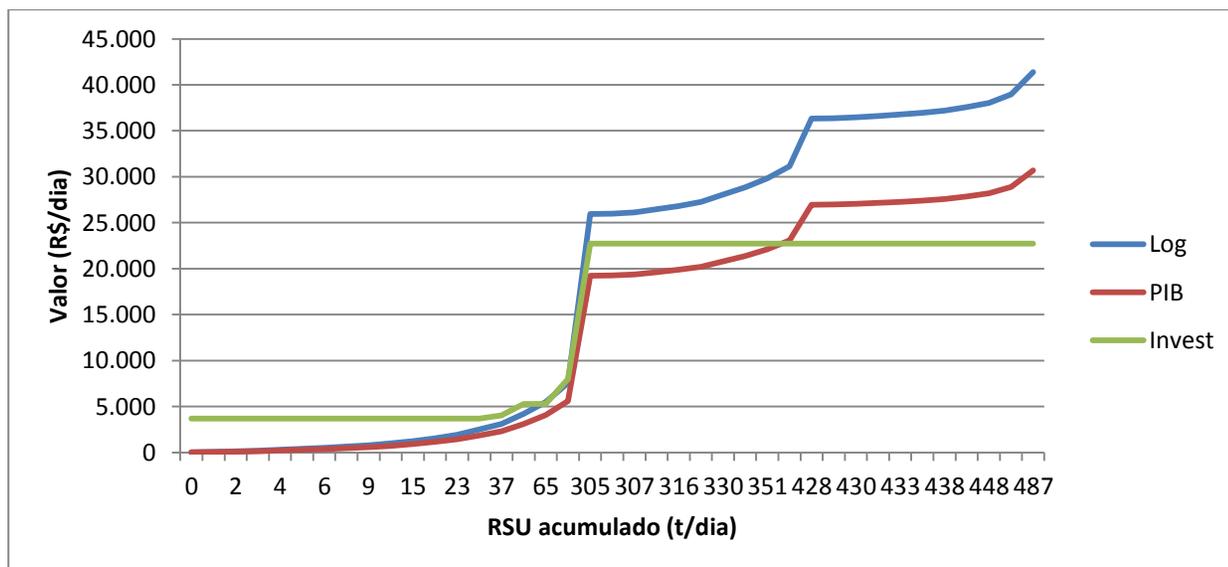


Figura 6.25 Comportamento típico dos componentes de custos

Verificou-se que todas as curvas de todas as regiões apresentaram esse tipo de comportamento para os componentes em relação ao empenho atual.

É importante destacar que, para facilitar as análises de comportamento dos valores em relação ao processo de formação de agrupamentos, todas as curvas se referenciaram por um valor base, considerado o mais fundamental na evolução do agrupamento. O conjunto das sequências de valores foi devidamente estratificado, iniciando pelo menor valor e terminando pelo maior valor, facilitando a leitura e a interpretação das Figuras.

O conjunto das três curvas (custos logísticos, investimentos e empenho atual) pode ser dividido em três fases distintas, que ocorrem ao longo do crescimento na formação do agrupamento: inicialização, transição e consolidação.

A fase de inicialização representa o início da formação do agrupamento, quando o volume total de RSU gerado ainda é pequeno e somente pode ser processado por usinas de pequeno porte. Como verificado anteriormente, essa é a fase em que não ocorrem os benefícios de escala e o custo unitário de processamento é o maior de todo o conjunto.

Nessa fase predominam os valores de investimento, que são altos para o baixo volume de RSU a processar, independentemente da posição relativa das curvas de custos logísticos e do empenho atual.

A Figura 6.26 ilustra essa fase, em que predominam os pequenos volumes gerados e pequenos portes de usinas, e ainda não se iniciou a fase seguinte, de transição.

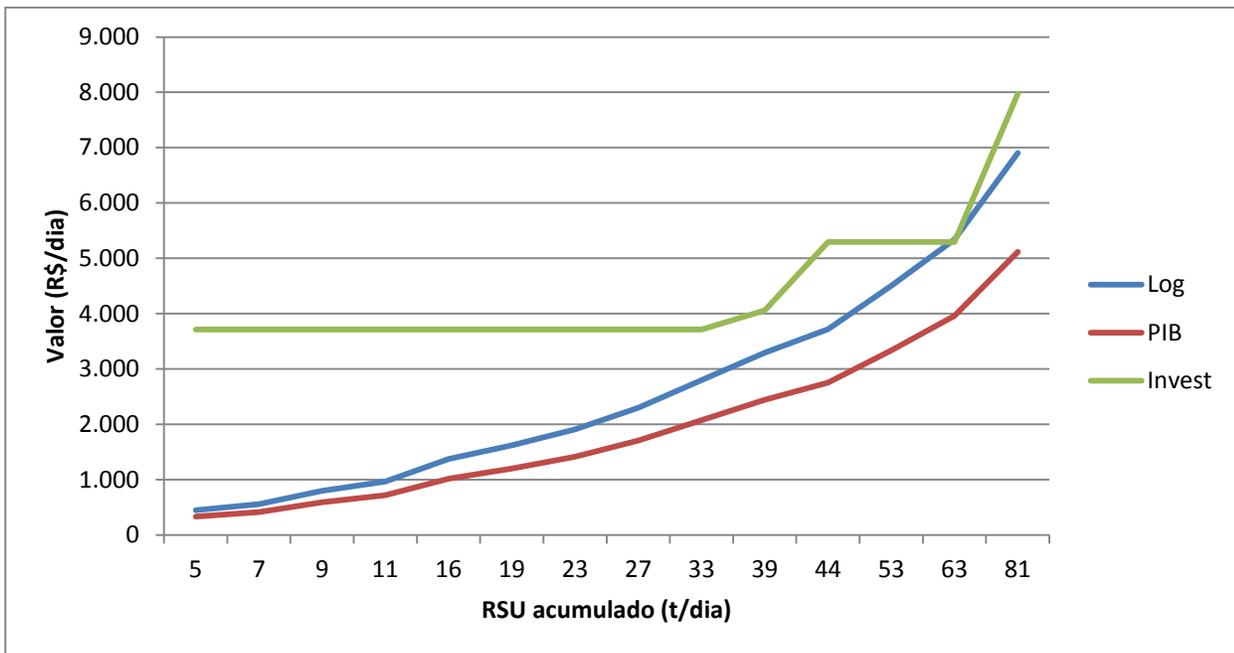


Figura 6.26 Comportamento de valores na fase de inicialização

A Figura 6.27 ilustra um exemplo da fase de inicialização, em que ocorre predominância dos valores de investimento, seguida do início da fase de transição, em que as curvas começam a apresentar comportamento bastante diferenciado em função do crescimento do volume total a processar.

A fase de transição ocorre quando o crescimento do volume de RSU a ser processado começa a se adequar a portes maiores de usinas, levando a um crescente benefício de escala. Nessa fase, o comportamento relativo das curvas de investimento, de custos logísticos e do empenho atual é bastante variado, em função dos valores envolvidos na base de cálculos, as mudanças de configurações, as mudanças escalonadas de porte das usinas adequadas ao processamento e a progressão da geração de RSU. As Figuras 6.28 e 6.29 ilustram bem a fase de transição.

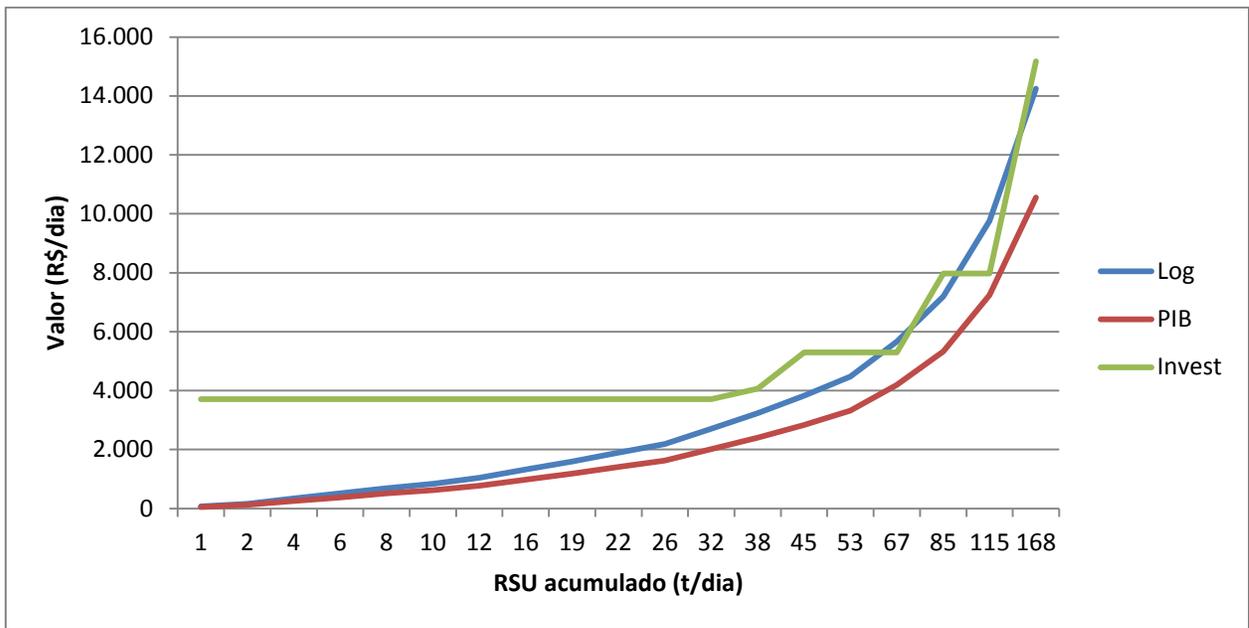


Figura 6.27 Comportamento de valores na fase de inicialização/transição

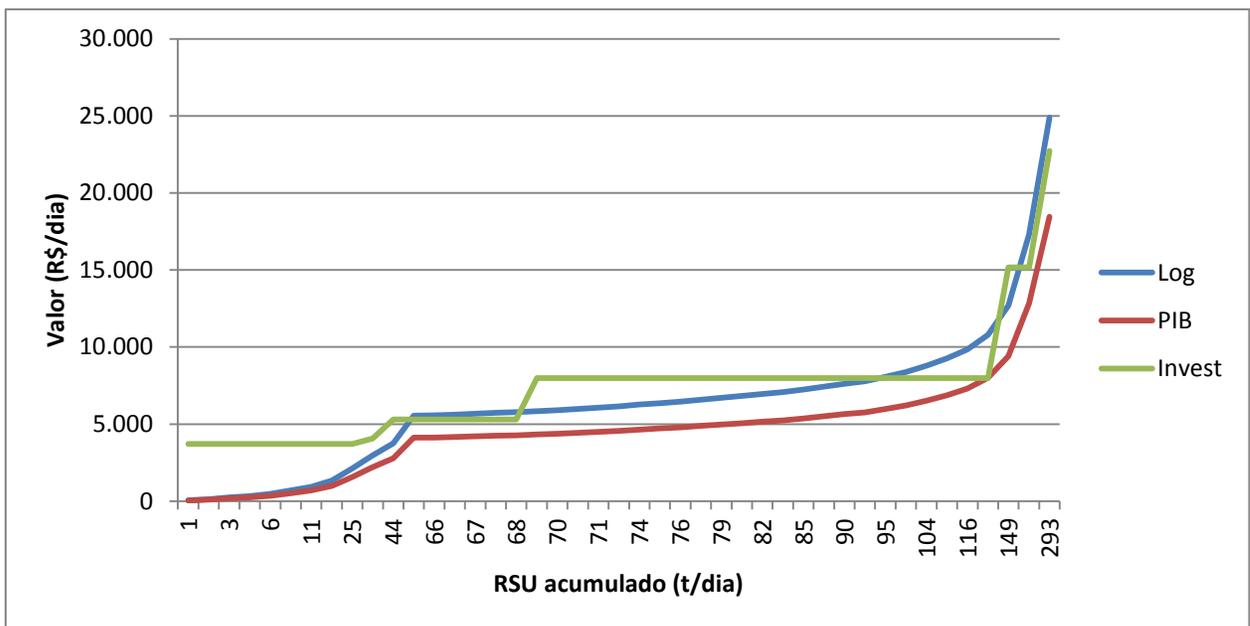


Figura 6.28 Comportamento de valores na fase de transição

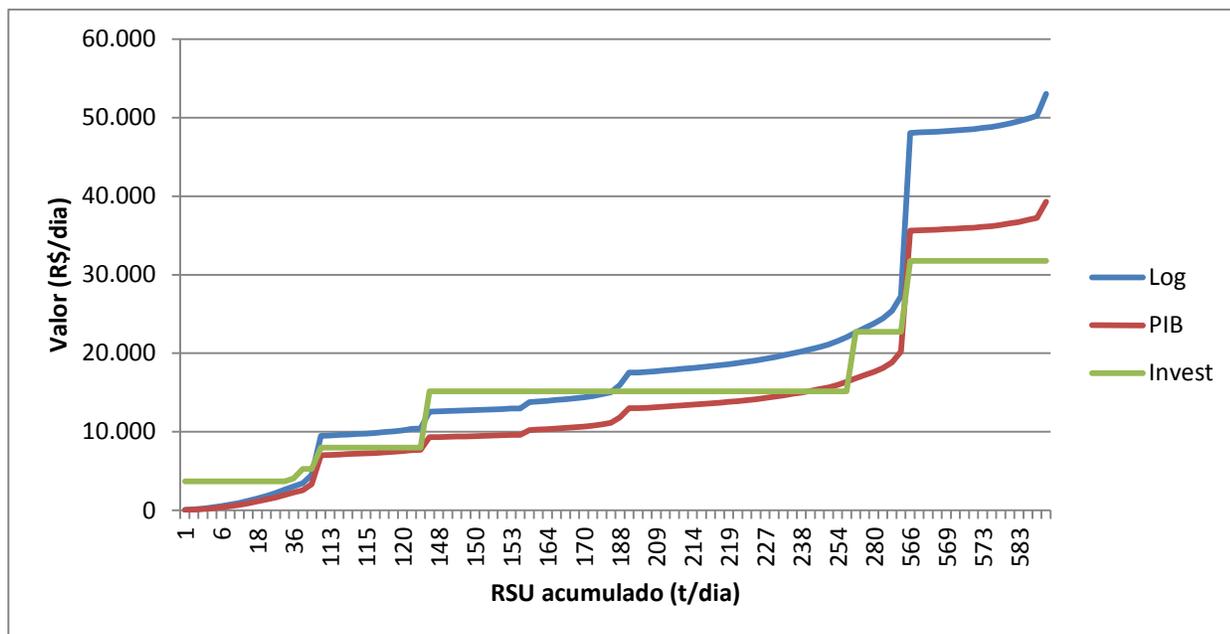


Figura 6.29 Comportamento de valores na fase de transição/consolidação

O posicionamento relativo das curvas não pode ser descrito como randômico ou aleatório, pois as curvas estão representando os resultados esperados pelos cálculos a partir das respectivas bases de valores e isso é exato e previsível, mas não há um padrão previsível para esse comportamento relativo entre as curvas.

A observância do comportamento relativo das curvas permite tomar certas decisões políticas, como a vantagem ou desvantagem de expandir o agrupamento, em função dos resultados econômico-financeiros demonstrados para cada caso.

A passagem da fase de transição para a fase de consolidação se inicia quando começa a ocorrer a predominância dos custos logísticos, que se manterão dessa forma ao longo de toda a fase de consolidação, independentemente do posicionamento relativo entre as curvas de investimentos e de empenho atual, conforme a Figura 6.30.

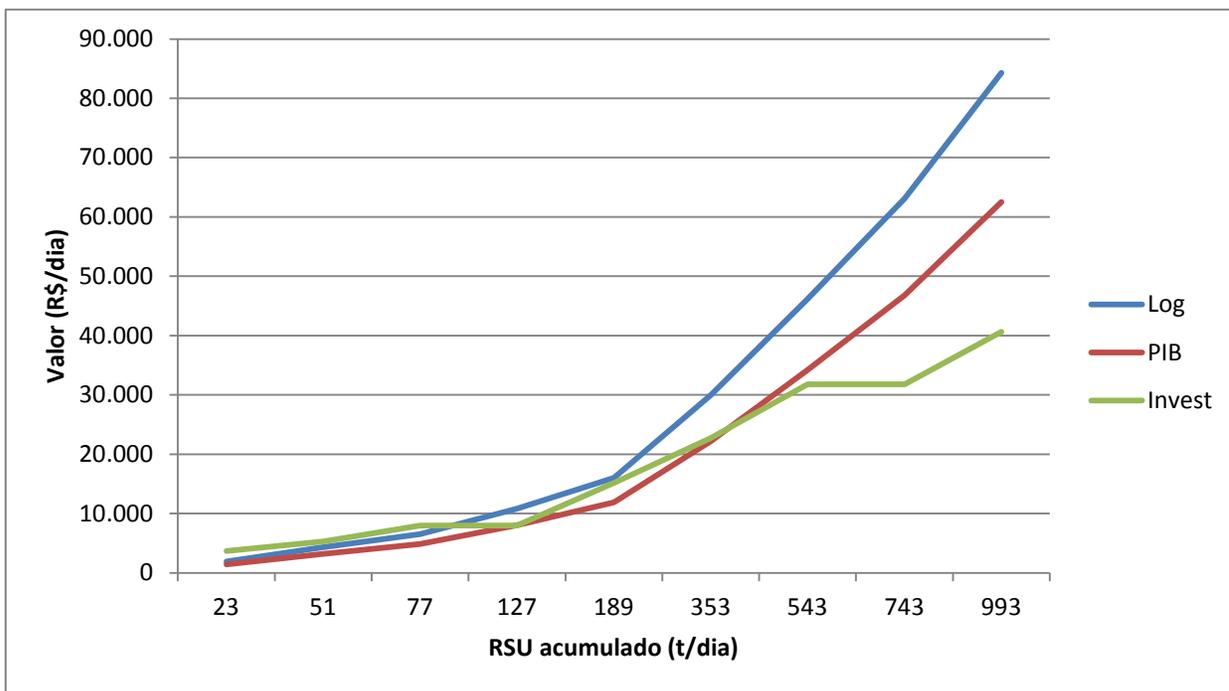


Figura 6.30 Comportamento de valores na fase de consolidação

Essa fase representa o crescimento mais acentuado dos volumes de RSU a processar e seu enquadramento em portes maiores de usinas, que proporcionam fortes benefícios de escala.

Nessa fase, o benefício que a concentração de geração de RSU oferece é compensado pelos efeitos da distribuição geográfica das fontes geradoras, em que os espaços vazios entre elas passam a representar somente despesas adicionais aos custos logísticos básicos.

A única exceção a esse efeito é a Cidade de São Paulo, cujos efeitos de concentração na geração de RSU e de continuidade como fonte geradora quase homogênea, sem espaços vazios, se complementam e potencializam sua fase de consolidação.

Ao se considerar sua participação na Região Metropolitana de São Paulo, esse efeito é diluído no conjunto dos demais municípios e o resultado geral é similar ao das demais regiões administrativas. Por esse motivo foram realizadas análises alternativas para essa região.

A Figura 6.31 ilustra a fase de consolidação em região de grande porte que também demandou análises extras.

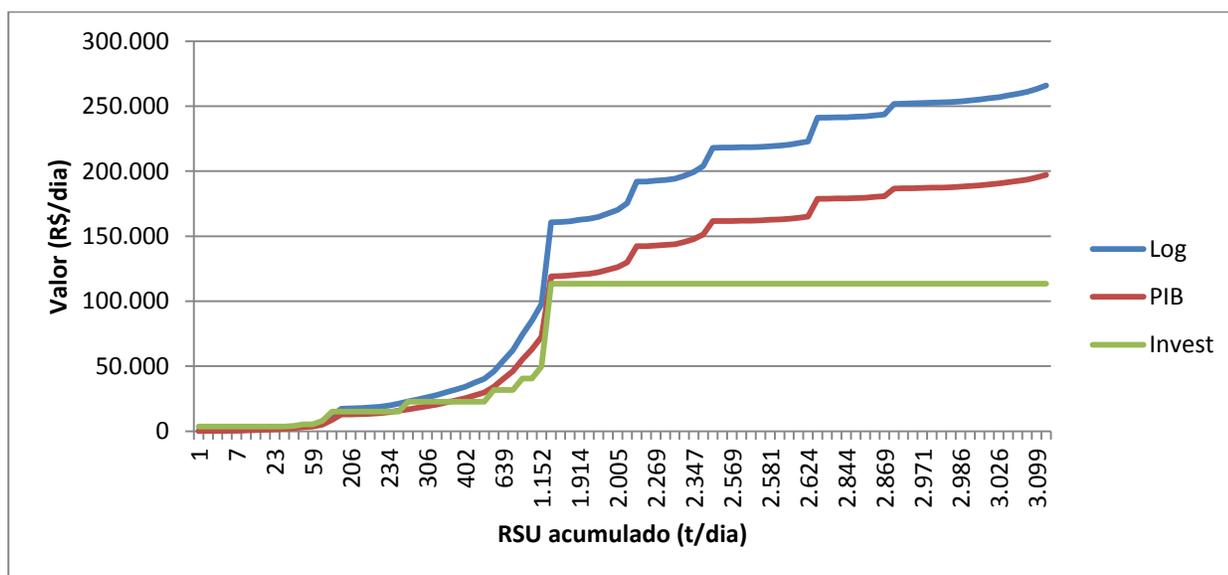


Figura 6.31 Comportamento de valores na fase de consolidação

A Figura 6.32 ilustra o comportamento verificado para a cidade de Campinas que, tomada isoladamente, apresenta somente um valor como agrupamento unitário. Constatou-se que não houve alteração no comportamento da composição dos custos em relação ao processamento do RSU. Quando acrescentado aos valores dos demais municípios da RMC, esse valor potencializa o comportamento da curva resultante.

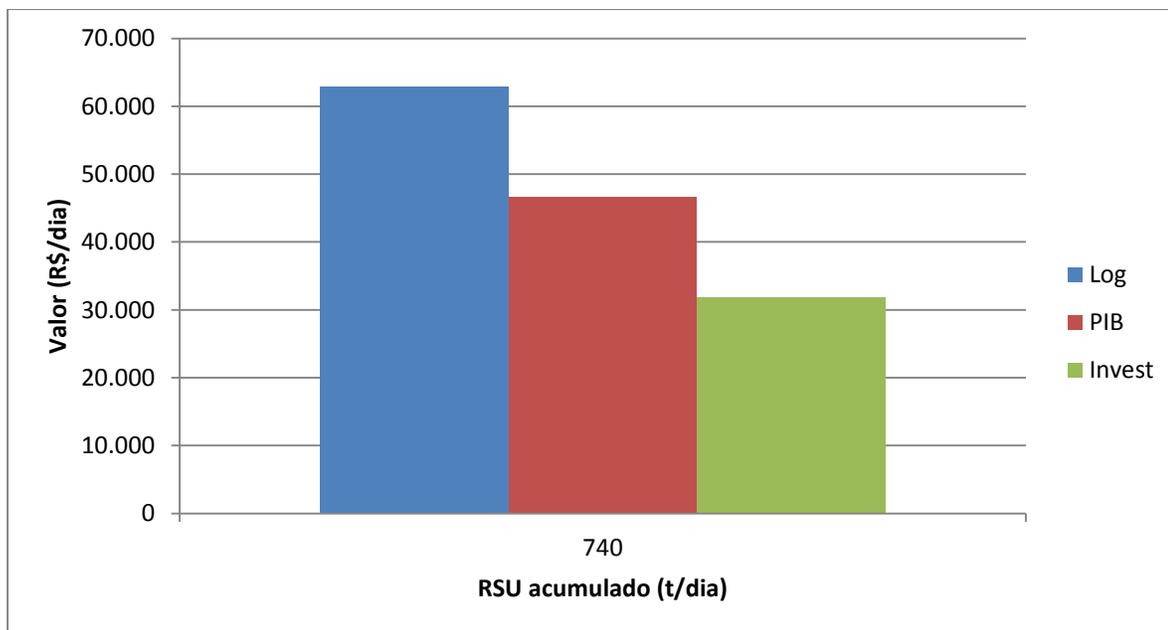


Figura 6.32 Comportamento dos componentes de custos – Campinas 2005

A Figura 6.33 ilustra o comportamento típico observado em todos os agrupamentos formados na Região Metropolitana de Campinas (RMC).

Não se constatou alteração do comportamento em relação ao perfil observado na análise do agrupamento formado em toda a região, embora com outro porte.

A Figura 6.34 ilustra o comportamento típico observado em todos os agrupamentos formados nas regiões da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Não se constatou alteração do comportamento em relação ao perfil observado na análise do agrupamento formado em toda a região, embora com outro porte.

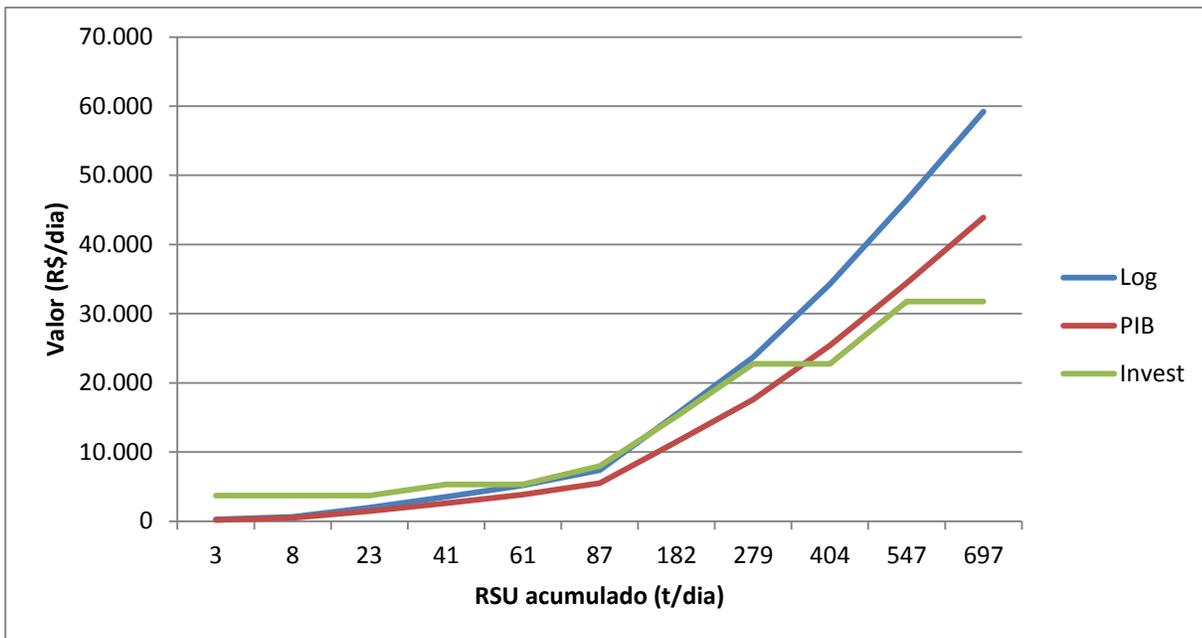


Figura 6.33 Comportamento dos componentes de custos – RMC 2005

Para a Cidade de São Paulo não foi possível fazer as análises de custo de usina em relação ao PIB e seu comportamento ao longo do período 2005-2020, pois os dados necessários para os bairros e regiões administrativas não estão disponíveis. Foi possível efetuar um estudo de formação de agrupamento, em função do RSU gerado, para recomendação de enquadramento das regiões nos portes de usina disponíveis.

Constatou-se, nas análises, que a Cidade de São Paulo, embora apresente forte concentração de valores de geração de RSU, PIB e demande os maiores portes de usinas para atendimento do volume gerado, segue os comportamentos apresentados pelos demais municípios da RMSP e das demais regiões do estado, na verdade potencializando os efeitos nas curvas (e, em alguns casos, distorcendo as curvas por efeito de grandeza de escala).

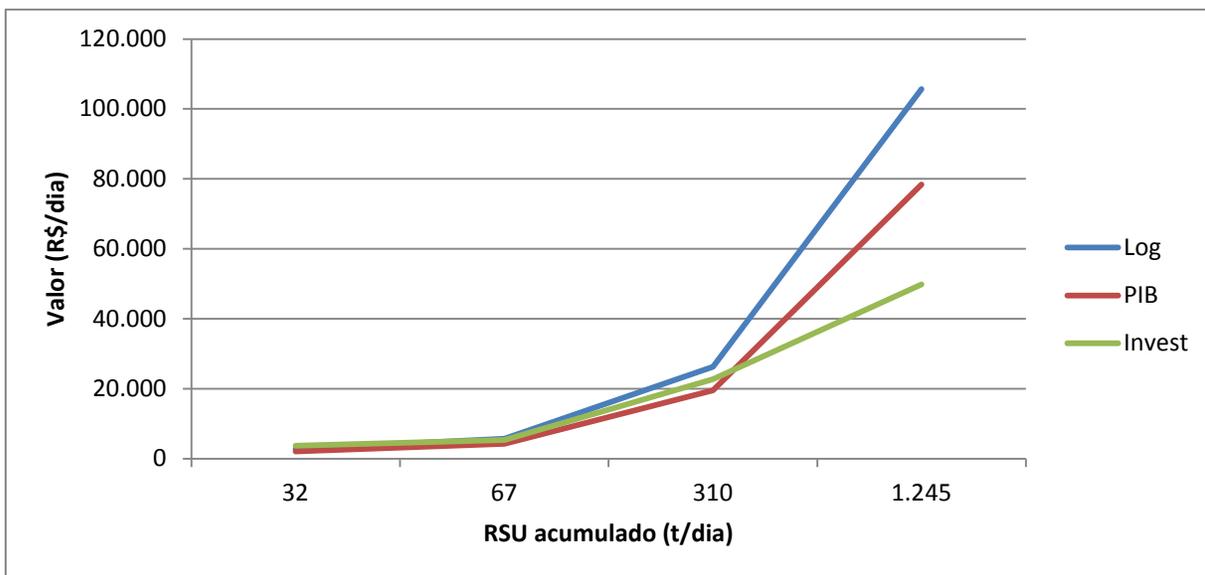


Figura 6.34 Comportamento dos componentes de custos – RMSP 2005

6.4.4 Diferença entre custos e empenho

A sétima análise para estudo de viabilidade do processamento do lixo por instalações WPC verificou a necessidade de complementação de recursos financeiros para atendimento aos investimentos requeridos, em relação ao empenho atual.

Quando se realizam análises de viabilidade econômico-financeira é fundamental a indicação do resultado final, seja ele positivo ou negativo. As análises anteriores demonstraram que, mantidos os níveis de empenho atuais, nenhuma região teria capacidade financeira suficiente para suportar os investimentos necessários para a implantação de usinas de processamento de RSU.

Esta análise indica valores para a defasagem e posiciona os analistas em relação a medidas preventivas necessárias em qualquer estudo preliminar sobre o assunto, para evitar impactos negativos de difícil superação posterior.

Para efeito de cálculos foram utilizados os dados de base, além dos dados do PIB gerado (IBGE, 2008b). Foram considerados os custos logísticos agregados pela movimentação do lixo entre as fontes geradoras e a usina de processamento do total.

No caso da Região Administrativa de Campinas e da Região Metropolitana de São Paulo houve necessidade de estudos alternativos, devido ao alto volume de geração no grupo (RMC) e à forte concentração na cidade de São Paulo (RMSP).

Para efeito de demonstração dos comportamentos foram selecionadas as curvas do ano 2005. As curvas referentes aos anos 2010 a 2020 apresentam comportamento similar.

As Figuras 6.35 a 6.37 ilustram o comportamento típico dos valores. A maioria das regiões apresentou esse perfil de curva.

O formato da curva sempre será escalonado, devido ao formato escalonado dos valores referentes aos investimentos, mas sua ocorrência depende da interação com as curvas de custos logísticos e do empenho atual e pode ser mais ou menos acentuado, com degraus de maior ou menor porte e com maior ou menor duração ao longo do processo de formação dos agrupamentos.

A diferente origem da base de dados de cada curva não pode prever um padrão para esse posicionamento. Como os dados são inerentes a cada município, como fonte geradora de resíduos sólidos, a combinação dos mesmos no processo de formação dos agrupamentos origina os diferentes comportamentos e posicionamentos das curvas.

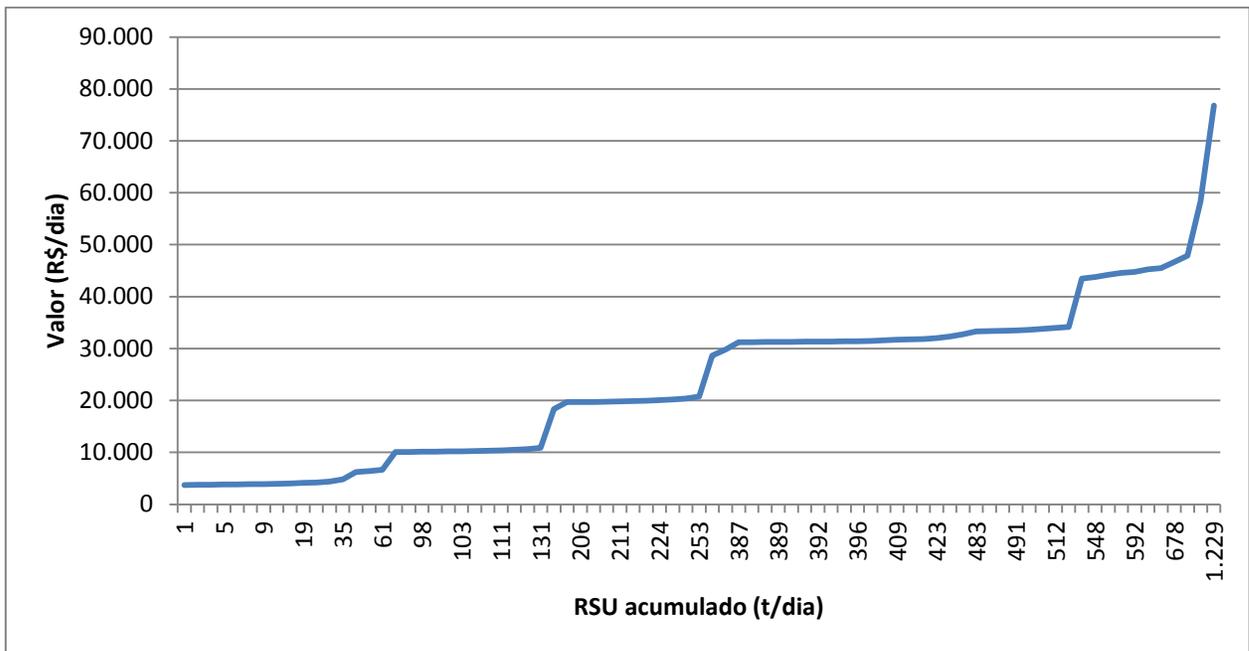


Figura 6.35 Comportamento da diferença entre custos e empenho atual - 2005

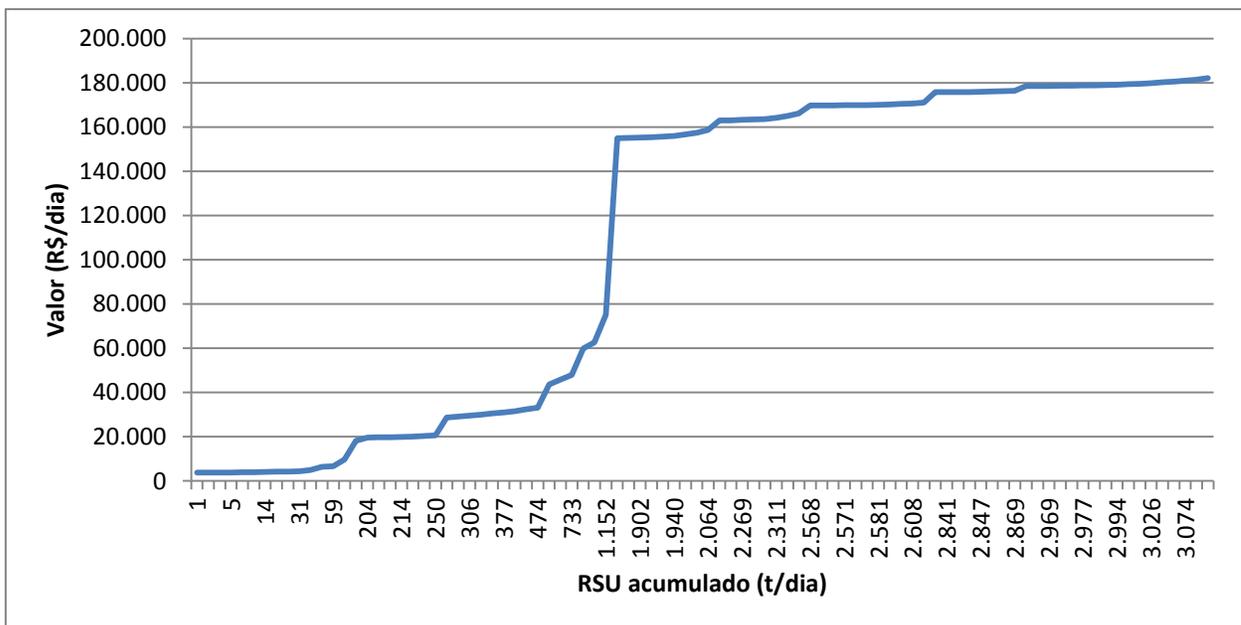


Figura 6.36 Comportamento da diferença entre custos e empenho atual - 2010

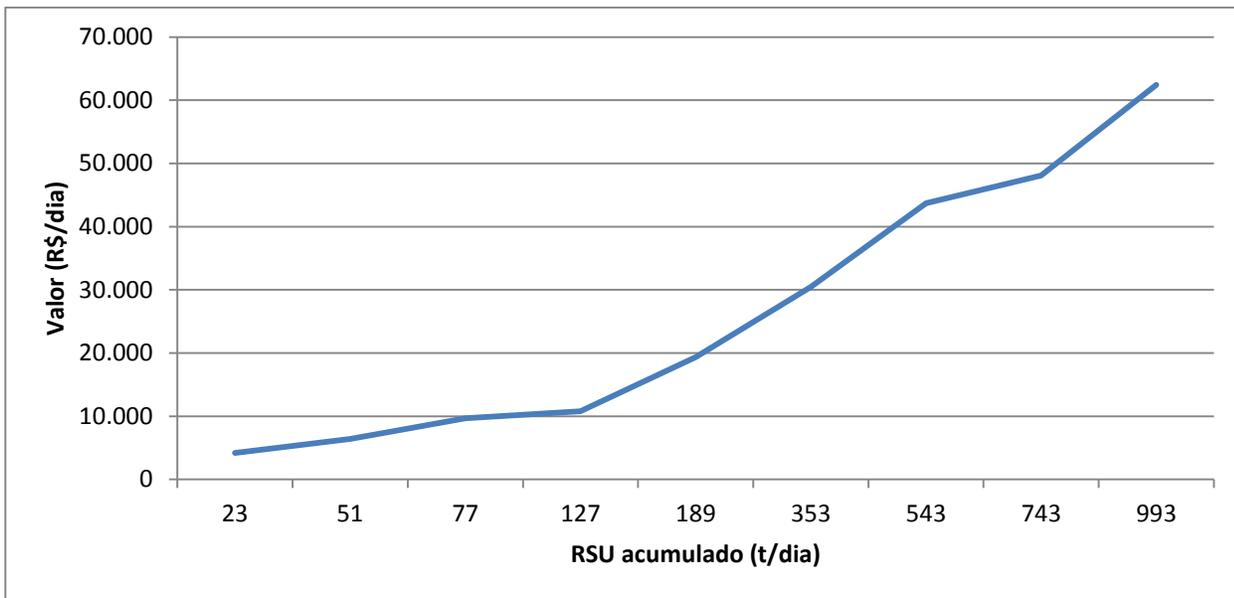


Figura 6.37 Comportamento da diferença entre custos e empenho atual - 2020

A Figura 6.38 ilustra o comportamento verificado para a cidade de Campinas.

Constatou-se que não houve alteração no comportamento da diferença entre custos e empenho atual dispendida para processamento do RSU.

Quando acrescentado aos valores dos demais municípios da RMC, esse valor potencializa o comportamento da curva resultante.

A Figura 6.39 ilustra o comportamento típico observado em todos os agrupamentos formados na Região Metropolitana de Campinas (RMC). Não se constatou alteração do comportamento em relação ao perfil observado na análise do agrupamento formado em toda a região, embora com outro porte.

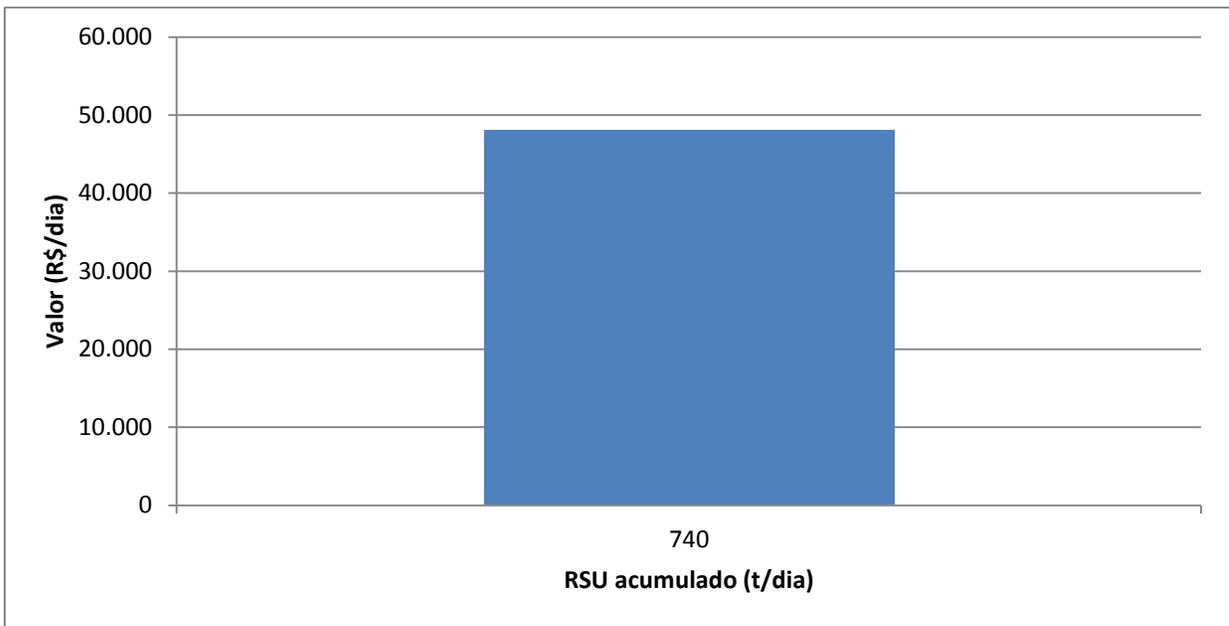


Figura 6.38 Diferença entre custos e empenho atual – Campinas 2005

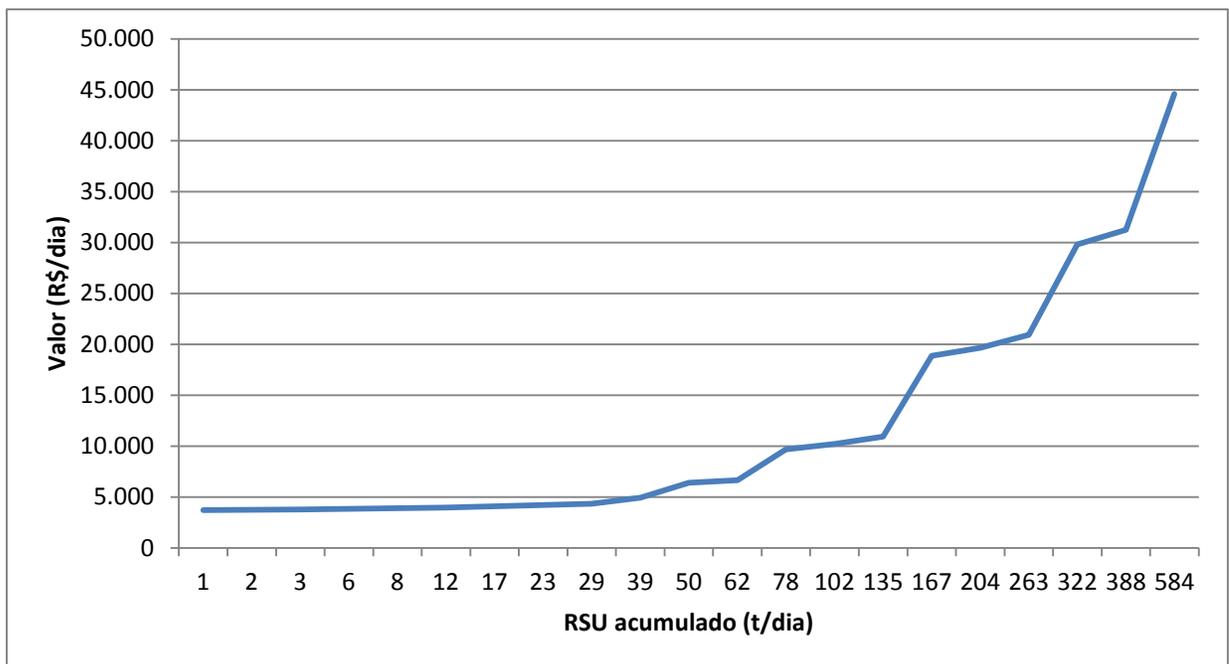


Figura 6.39 Diferença entre custos e empenho atual – RMC 2005

A Figura 6.40 ilustra o comportamento típico observado em todos os agrupamentos formados nas regiões da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Não se constatou alteração do comportamento em relação ao perfil observado na análise do agrupamento formado em toda a região, embora com outro porte.

Para a Cidade de São Paulo não foi possível fazer as análises no período 2005-2020, pois os dados necessários não estão disponíveis. Foi possível efetuar um estudo de formação de agrupamento, para recomendação de enquadramento das regiões nos portes de usina disponíveis.

Constatou-se que a Cidade de São Paulo, embora apresente forte concentração de valores de geração de RSU, PIB e demande os maiores portes de usinas, segue os comportamentos apresentados pelos demais municípios da RMSP e das demais regiões do estado, potencializando os efeitos nas curvas (e, em alguns casos, distorcendo as curvas por efeito de grandeza de escala).

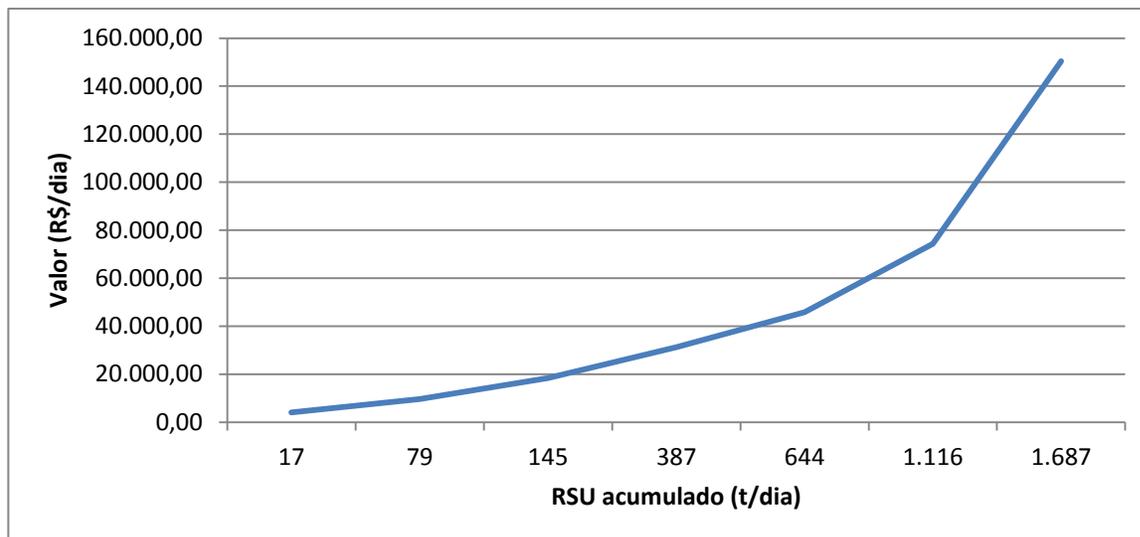


Figura 6.40 Diferença entre custos e empenho atual – RMSP 2005

As Figuras ilustram comportamentos diferenciados entre algumas regiões, demonstrando os efeitos de crescimento e compensação dos custos associados de investimento e de logística em relação ao PIB requerido para sustentar os custos de implantação das usinas.

É fundamental considerá-los no estudo de implantação de usinas WPC de processamento de lixo, devido à constatação de que, tomando como referência o empenho atual para custeio das atividades de movimentação e disposição do lixo gerado, os agrupamentos formados em todas as regiões não dispõem de recursos suficientes para suportar os investimentos necessários a sua implantação e, obrigatoriamente, estarão dependentes de aporte externo de recursos financeiros.

Uma alternativa para compensação de custos nos estudos de viabilidade é a análise da isenção de impostos, que estão sob competência do poder público, mas podem ser objeto de uso político para atração de empresas para os municípios, conforme os objetivos e as conveniências de cada um.

Segundo TOLMASQUIM (2005), na modalidade “sem conexão” uma isenção parcial de impostos pode gerar uma redução de 16,6% na tarifa de equilíbrio e, num cenário com isenção total de impostos, uma redução de 47,3% na tarifa de equilíbrio, modificando significativamente os resultados das análises realizadas até este ponto.

7. Recomendações de agrupamento e financiamento

As análises demonstraram que a maioria dos municípios não apresenta porte suficiente de geração individual de RSU para que sejam viáveis a instalação e a operação de uma usina WPC destinada ao processamento do volume de lixo gerado. Somente os municípios de maior porte, em menor quantidade, mas representando parcela significativa da população do estado, tem geração de lixo em volume suficiente para suportar os investimentos requeridos por uma usina adequada ao tratamento do RSU gerado por sua população. Isso indica que somente a partir de um volume mínimo pode ocorrer o enquadramento adequado de um município ao porte de uma usina.

Do ponto de vista dos pequenos municípios, a alternativa seria a formação de agrupamentos entre si, somando-se os volumes individuais de geração de RSU até atingir um volume suficiente para permitir o enquadramento no porte de uma usina “comunitária” que realizasse o processamento do volume total gerado. Isso é possível sob os pontos de vista técnico, econômico-financeiro e político.

Tecnicamente, a meta se resume a atingir um volume total mínimo que se enquadre no porte de processamento de uma usina WPC. As análises demonstraram que isso é possível e viável em diversos tamanhos de agrupamento.

Do ponto de vista econômico-financeiro, as análises demonstraram que a formação de agrupamentos leva a benefícios de escala e, quanto maior o volume total a ser processado, maior será a usina necessária e, portanto, menor o custo unitário de processamento. As análises demonstraram que, infelizmente, os agrupamentos formados necessitariam de aumento de recursos dispendidos para fazer frente aos investimentos requeridos, adotando como base os valores dispendidos atualmente para o processamento dos mesmos volumes de RSU gerado. A participação de municípios maiores em agrupamentos de diversos municípios menores não elimina esse problema.

7.1 Consórcios

Do ponto de vista político, a formação de agrupamentos não parece ser uma tarefa fácil, devido aos diversos interesses e linhas de conduta dos governantes de plantão, além do tempo que esse tipo de negociação costuma demandar. Na prática, havendo vontade política para resolver os problemas comuns causados pela existência e pelo processamento insuficiente ou mesmo inexistente do lixo gerado por seus municípios, a maior decisão se resume nos aspectos:

- Forma de constituição do empreendimento;
- Forma de financiamento para investimento e operação.

Há basicamente quatro tipos de constituição societária a serem considerados para o caso de formação conjunta do empreendimento:

- Empresa pública
- Empresa privada
- Empresa de capital misto
- Empresa com parceria público-privada (PPP)

Na forma de empresa pública, a sociedade seria parte da administração pública, com capital público, com ou sem geração de lucro. A transferência do lixo dos agentes de coleta para a(s) usina(s) seria realizada ao mesmo nível de competência e responsabilidade.

Na forma de empresa privada o investimento deveria ter outras fontes de financiamento e a operação e a transferência do lixo deveriam ser realizadas por meio de licitação pública. A geração de lucro seria essencial para a continuidade da empresa e a comparação dos efeitos de investimento, do ponto de vista de custos fixos, variáveis e de capital, em relação às receitas obtidas pela geração e venda de mais energia, teria papel fundamental na determinação de maiores margens de lucro para a empresa. Embora outros fatores também exerçam papel de influência e demandem estudo mais aprofundado, essa margem é essencial para a viabilização do empreendimento.

Na forma de empresa de capital misto, o gerenciamento e a geração de lucro dependerão basicamente da estrutura da empresa e da participação societária de cada acionista. Isso também determinará se a operação deverá ser leve, flexível e ágil, ou formal, burocrática e pesada.

Como uma empresa resultante de PPP, o gerenciamento e a geração de lucro também dependerão da estrutura da empresa e dos termos de operação. Esse é um novo tipo de estrutura societária e de negócios que teve sucesso na Inglaterra e que demonstra ter grande potencial no Brasil, dependendo do grau de abertura que o setor público venha a demonstrar e levar a efeito.

Em todos os casos, a forma de financiamento do empreendimento deveria ter um forte vínculo com a estrutura empresarial selecionada.

Empresas públicas podem ser financiadas por fundos públicos, estaduais ou federais, ou instituições públicas de financiamento, como BNDES e similares.

Empresas privadas podem ser financiadas por capital próprio, investidores privados ou instituições financeiras privadas ou públicas, como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) ou similares, ou bancos privados.

Empreendimentos de capital misto podem ser financiados por instituições de financiamento privadas ou públicas, ou mesmo ambas, simultaneamente.

As empresas resultantes de PPP podem receber financiamentos de instituições privadas ou públicas de financiamento, ou ambas, simultaneamente.

Deve-se também destacar que a origem dos financiamentos, conforme sua respectiva natureza, pode ser nacional ou estrangeira. Segundo LESSA (2011), o investimento privado, como o estrangeiro, se movimenta conforme a expectativa de mercado e de crescimento de mercado sólido. Se não houver essa expectativa, não é ele que, isoladamente, criará esse dinamismo.

Em todos os casos os requisitos básicos dos agentes de financiamento deveriam ser seriamente considerados e rigorosamente seguidos, especialmente os termos de retorno de investimento (*payback*), pois as usinas têm operação contínua de base 24x7 (24 horas por dia, 7 dias por semana), com alimentação contínua de lixo e geração contínua de energia, e não devem sofrer interrupções de funcionamento ou mesmo desligamento. Evidentemente há previsões para manutenção com troca de componentes de desgaste ao longo do ano e também planos para ocorrência de contingenciamentos, mas são fatos considerados como técnicos e fazem parte da rotina operacional esperada.

As demais decisões a respeito da formação societária dependem de consenso entre os acionistas e variam significativamente conforme os participantes. Por esse motivo não serão objeto deste estudo.

7.2 Parceria público-privada (PPP)

Além dos mecanismos tradicionais de financiamento de empreendimentos, já bastante conhecidos no Brasil, a modalidade através de PPP representa algo novo e que merece análise mais aprofundada, pois demonstra grande potencial de aplicação no Brasil atual, especialmente em função do histórico econômico e da cultura gerencial ainda em vigor no setor governamental.

Segundo LESSA (2011), por registro histórico o precursor de PPP no Brasil foi o imperador D. Pedro II, que implantou a maior parte das ferrovias brasileiras no século XIX através de subsídios por meio de contratos do Tesouro. Ao longo do tempo, outros casos ocorreram, mas se perderam na História.

Em tempos mais recentes, e com nova metodologia, a PPP tem sido cada vez mais considerada para fins de cumprimento de metas de expansão e desenvolvimento, especialmente no setor de infraestrutura e serviços públicos, nos quais o desempenho e a eficiência dos órgãos governamentais são sobejamente reconhecidos como necessários, mas insuficientes ou mesmo inadequados. Exemplos de setores como transporte coletivo, saneamento, habitação, tecnologia, saúde e educação básica são mostrados pela mídia a cada dia...

Segundo LESSA (2011), com base em Schumpeter, o crédito é um instrumento absolutamente essencial para fazer avançar o sonho de um país e a PPP representa uma forma nova e interessante de poder inovar nas formas de crédito. Isso se aplica ao tomador, aos novos protagonistas, à formatação da operação de crédito, ao seu sistema de garantias que, sem perda do tradicional aspecto da prudência bancária, passa a oferecer novas possibilidades e potencialidades de crédito, o que torna a PPP um instrumento fascinante.

Dessa forma, é consenso entre autores que a PPP tem potencial para ajudar a solucionar de forma clara e socialmente eficaz a relação entre investimento privado e infraestrutura pública em áreas de relevância social, na forma de uma parceria entre a administração pública e a iniciativa privada, com o objetivo de fornecer serviços de qualidade à população, por um largo período de tempo.

Nesse contexto, a PPP se manifesta como uma parceria em que o setor privado projeta, financia, executa e opera uma determinada obra/serviço, com o objetivo de oferecer o melhor atendimento a uma determinada demanda social.

Como contrapartida, o setor público paga ou contribui financeiramente, no decorrer do contrato, pelos serviços prestados à população, dentro do melhor padrão de qualidade especificado e aferido pelo Poder concedente. Após o término do período da PPP, a obra/ativo é transferido para o Estado.

Historicamente, até a implantação da Legislação Federal de PPP, o setor público sempre se relacionou com a área privada e particulares exclusivamente através de atos normativos, como as leis federais nº 8.987/95 (Lei das Concessões Comuns) e nº 9.074/95 (Ato Regulatório das Concessões). Também foram e continuam sendo utilizadas outras formas de parcerias, como convênios, licenças, contratos de gestão ou outras formas jurídico-administrativas permitidas.

Em 2004, a lei federal nº 11.079 veio fundamentar o conceito de Parceria Público-Privada no Brasil, definindo as PPP's como "contratos administrativos de concessão, nas modalidades patrocinada ou administrativa". Na prática, isso remete ao conceito de que as PPP's são uma nova categoria de contratos públicos de concessão, a longo prazo, em que o governo define/especifica o que quer, em termos de obras/ativos/serviços públicos, e o potencial parceiro privado manifesta como e a que preço poderá apoiar/atender o governo. Trata-se, então, de uma parceria entre governo e iniciativa privada, com o objetivo de proporcionar à população serviços de qualidade, durante muitos anos.

A lei 11.079/2004 especifica que as PPP são aplicáveis a tipos de contratos de concessão de serviços públicos que não tenham auto-sustentação, seja porque o fluxo de caixa é insuficiente e deve ser complementado por recursos de um parceiro público (modalidade patrocinada) como, por exemplo, uma rodovia, seja porque é um serviço prestado ao Estado que não tem outra fonte de receita, exceto aquela representada pela remuneração vinda do poder público (modalidade administrativa) como, por exemplo, um presídio ou um sanatório.

Essas modalidades se encaixam perfeitamente na situação das usinas de processamento de RSU para os municípios e permitem composições de acordo com o tipo de formação societária selecionado para a estrutura da empresa.

Numa PPP a participação do setor privado é caracterizada por:

- disponibilizar capital adicional;
- prover capacidades alternativas de gestão e implementação;
- fornecer valor ao consumidor e ao público em geral;
- melhorar a identificação das necessidades e a otimização dos recursos;

Para fins de operacionalização, pode-se considerar quatro tipos de modelo:

1. Modelo tradicional de contratação/concursos de setor público;
 - o setor público assume a responsabilidade por financiamento, construção, operação e manutenção, assumindo todos os riscos;

2. Modelo em que o setor público financia e repassa a operação para o setor privado;
 - modelo intermediário, em geral para gestão e serviços;
3. Modelo de concessões;
 - modelo mais utilizado, envolve concepção, construção, financiamento e exploração/operação pelo setor privado;
 - modelo intermediário em que riscos e responsabilidade são partilhados entre o setor público e seus parceiros privados segundo seus potenciais;
4. Modelo em que tudo pertence ao setor privado;
 - o setor privado assume a responsabilidade por financiamento, construção, operação e manutenção, assumindo todos os riscos.

Por meio da PPP constata-se uma série de vantagens:

- Aceleração da disponibilização da infraestrutura;
- Execução mais rápida;
- Redução de custo no ciclo de vida do projeto;
- Melhor alocação de riscos;
- Melhores incentivos para realização dos projetos;

- Melhoria da qualidade do serviço;
- Geração de receitas adicionais;
- Reforço da gestão pública em planejamento e regulação;

Considerando o histórico de desempenho decisório e administrativo dos órgãos governamentais e a cultura de gestão ainda predominante no cenário nacional, a PPP tem grande potencial de aplicação ao envolver, de forma amparada por lei, os setores público, privado e instituições necessárias à operabilidade dos contratos, cada qual buscando o melhor desempenho em sua área e em seus potenciais, na busca da melhor prestação de serviços à sociedade.

Esta, como público usuário/consumidor e pagador de impostos e taxas que remuneram os contratos, tem o mais legítimo direito e interesse em que essa prestação atenda e mesmo supere suas expectativas.

7.3 *Project Finance* (PF)

Segundo REAL DE AZÚA (2002), o *Project Finance* (PF) é uma forma de financiamento surgida nos Estados Unidos no começo da década de 1980 e que permite a empresas públicas e privadas nacionais obterem volumosos financiamentos para projetos.

Contorna, assim, a tradicional dificuldade de captação de fundos no mercado nacional, devido a sua tradicional rigidez e às taxas cobradas, ou no mercado internacional, devido a restrições por deslizamentos históricos ou por origem de países emergentes (falta de referenciais, incertezas, ambiente político instável, mutabilidade de regras e leis, altos riscos, probabilidades de inadimplência, entre outros).

A necessidade de captação de capital por empresas privadas tornou-se aguda em tempos recentes, com sua entrada no mercado de serviços de utilidade pública como telefonia, eletricidade, rodovias e ferrovias, e demandou novas alternativas para grandes investimentos, em volumes não disponíveis nos bancos nacionais, como a participação de investidores estrangeiros, iniciando o ciclo que perdura até o momento.

Segundo VELLUTINI (2006), na modalidade Project Finance as instituições de financiamento procuram apoiar acionistas financeiramente sólidos e experientes no desenvolvimento e implantação de projetos que lhes sejam importantes segundo sua estratégia de negócios/expansão a médio/longo prazo, fornecendo financiamento a uma sociedade de propósito específico (SPE) constituída para essa finalidade.

Conforme PINTO JR. (2007), atividades como produção, transporte e distribuição de energia são condições econômicas que necessitam de preços adequados para remunerar os investimentos de longo prazo realizados pelos agentes econômicos (financiadores), em um setor em que a flexibilidade e a substitutibilidade dependem das condições econômicas da oferta e da demanda de energia.

Nesse contexto, segundo VELLUTINI (2006), as instituições financiadoras precisam se assegurar de que os acionistas (responsáveis) do projeto tenham a necessária especialização técnica e suficiente capacidade financeira para garantir o fornecimento de recursos necessários nas diversas fases do empreendimento.

Segundo REAL DE AZÚA (2002), o aspecto da garantia é fundamental para os agentes financeiros, que buscam se cercar de cuidados maiores do que nos casos tradicionais de empréstimos, principalmente devido ao porte e ao prazo em questão.

Basicamente, o PF é uma estrutura de financiamento que permite ao realizador de um projeto obter créditos sem necessidade de registro em seu passivo. Parte-se do princípio que o projeto será lucrativo e que seus lucros realizarão o pagamento do valor financiado, sem necessidade de garantias adicionais por parte dos acionistas.

Os principais pressupostos do PF podem ser caracterizados como:

- trata-se de um projeto individual e exclusivo, com valor intrínseco independente das demais atividades do realizador (acionista);
- há uma significativa previsão de lucros permanentes;
- ocorre um enquadramento contratual que garanta o correto andamento das fases de construção, operação e manutenção do projeto;
- é necessária a criação de uma empresa com finalidade única e específica como forma legal de obtenção de financiamento, garantindo a segurança dos credores quanto a qualquer reclamação legal baseada em causas alheias ao projeto (no Brasil a empresa é constituída na forma de Sociedade Anônima).

Na negociação do financiamento entre as partes envolvidas no projeto, é fundamental a avaliação e a distribuição dos riscos entre os participantes. Normalmente a instituição financeira líder do consórcio assume o gerenciamento dos riscos (REAL DE AZÚA, 2002).

Por se tratar de financiamento de longo prazo (15 a 20 anos, em geral) de um projeto sujeito aos efeitos de oferta e demanda, dois elementos são de fundamental importância:

- os lucros futuros
- a estabilidade dos lucros ao longo do tempo

Isso demanda previsões adequadas do fluxo de caixa, que fornecerá os recursos para pagamento do financiamento, e previsões futuras dos índices econômico-financeiros (*financial ratios*), como índices de liquidez e de cobertura, que influenciam os aspectos contábeis e financeiros, suportadas por detalhados exames prévios de enquadramento jurídico, riscos políticos e econômico-financeiros, além das questões tecnológicas e das medidas de proteção ao empreendimento e aos envolvidos (REAL DE AZÚA, 2002).

Segundo VELLUTINI (2006), a realização de análises de sensibilidade para determinação da robustez do projeto em relação ao impacto de variáveis técnicas e financeiras e na ocorrência de cenários econômicos desfavoráveis, tanto internos como externos, incluindo os de contingências e de força maior, que influenciem os resultados do empreendimento, permitem a adoção de medidas preventivas na fase de estudos de viabilidade, antecipando ocorrências de difícil resolução posterior.

Definir as características técnico-econômicas dos processos produtivos que apresentam forte caráter sistêmico, como a indústria de eletricidade, envolve uma análise de cunho abrangente, que supera as abordagens segmentadas, com seus respectivos enfoques centrados nos comportamentos isolados dos elementos individuais (PINTO JR., 2007).

Os financiamentos diretos, contratados diretamente com instituições privadas ou públicas, são a forma que melhor se adapta à estrutura jurídica do PF, em função do tipo de vinculação legal que pode ser estabelecido entre o agente financiador, o projeto e o tomador do financiamento (REAL DE AZÚA, 2002).

Os financiamentos concedidos pelo setor público podem ter diversas origens, basicamente bancos de desenvolvimento como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) no Brasil, ou estrangeiros, como o Banco Mundial, o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e a International Finance Corporation (IFC), uma divisão do Banco Mundial que fornece créditos ao setor privado na forma de estruturação especial, incluindo vinculação com bancos comerciais.

Em geral, os créditos fornecidos pelos organismos internacionais apresentam algumas vantagens:

- longo prazo para pagamento;
- taxas de juros menores que a das instituições privadas;
- possibilidade de negociação de juros fixos;
- abertura para obtenção de novos créditos privados.

Por outro lado, esses organismos apresentam o inconveniente de demoradas negociações, por excesso de burocracia e tramitações (REAL DE AZÚA, 2002).

De modo geral, a modalidade de financiamento via PF oferece ao tomador do crédito mais vantagens do que desvantagens, como:

- a negociação é facilitada se o tomador assume os riscos de crédito da fase de construção e, eventualmente, inicial de operação;
- disponibilidade de créditos e garantias disponibilizados por bancos comerciais para o projeto, mas não para o tomador;
- condições de crédito melhores para o projeto que para o tomador;
- custos de financiamento da construção não precisam refletir nos balanços financeiros do tomador, até início de operação.

Inconvenientes:

- o tempo dispendido na negociação da documentação;
- custo elevado de contratação de seguros abrangentes;
- custo de terceiros para assumir riscos transferidos;
- custo de monitoramento do desempenho do projeto.

Considerando o porte das usinas, os valores envolvidos, os longos prazos de financiamento e a responsabilidade envolvida na correta operação das instalações, além da participação direta ou indireta do poder público no empreendimento e o interesse de investimentos no País, o modelo de financiamento pela modalidade de *Project Finance* apresenta bom potencial para implementação nos projetos de usinas para processamento de RSU com geração de energia elétrica.

8. Conclusões e recomendações para futuros estudos

8.1 Conclusões

De forma resumida, pode-se apresentar as conclusões do trabalho:

1. A excessiva dependência de combustíveis fósseis exige medidas para acelerar o aproveitamento de fontes de energia renovável disponíveis e pesquisas para o desenvolvimento de novas fontes e de tecnologia para seu aproveitamento.

2. A problemática do lixo demanda ações para seu aproveitamento de forma mais efetiva e produtiva; aproveitando seu potencial para os materiais recicláveis, água e massa como base para seu aproveitamento energético.

3. Embora em quantidade menor quando comparado às tradicionais fontes de combustíveis fósseis ou mesmo os recursos hídricos, o RSU apresenta bom potencial como fonte de energia renovável, ao permitir a recuperação energética para a geração de energia elétrica de forma contínua e consistente.

4. Além de certos limites inferior e superior de capacidade a disponibilidade de máquinas e equipamentos fica prejudicada ou mesmo cessa, respeitando-se os padrões de desempenho e qualidade necessários para atendimento aos requisitos ambientais legais e regulatórios. Da mesma forma, a viabilidade econômico-financeira é bastante afetada para valores mais extremos, devido aos fatores de escala para os limites inferiores e fatores logísticos, para os superiores. Além de certos valores,

portanto, não se recomenda a montagem de usinas de processamento por razões técnicas e econômicas.

5. O custo unitário de processamento diminui significativamente conforme aumenta o uso de uma usina com uma determinada capacidade (entre valores mínimo e máximo) ou aumenta o porte da usina selecionada para instalação. O custo unitário de processamento é fortemente reduzido com maior tonelagem processada.

6. A base inicial de análise desse tipo de estudo deve ser a verificação de economias de escala. Em princípio, a cada fonte ou grupo de fontes geradoras deveria corresponder uma unidade de processamento que atendesse à demanda total apresentada.

7. A análise da distribuição dos valores de geração de RSU em relação à população das diversas regiões administrativas indicou que existe forte alinhamento entre as duas variáveis.

8. A estratificação demonstrou que uma parcela de aproximadamente 60% do total de municípios está abaixo de 20.000 habitantes e que a parcela de 80% do total está abaixo de 50.000 habitantes, o que indica forte concentração de 521 municípios em baixa população e, com notáveis exceções, significativas limitações em termos de capacidade operacional e econômica, em grande parte devidas ao próprio modelo de desenvolvimento do País. O patamar de cerca de 90% do total é atingido com mais 62 unidades, totalizando 573 municípios com população abaixo de 100.000 habitantes.

9. Um dos fatores que determinaram a divisão do universo de dados nas faixas apresentadas foi o potencial de crescimento dos municípios durante o período de estudo (2007 a 2020). Uma escolha acertada das faixas permitiu que a sensibilidade se manifestasse nos cálculos em decorrência dos crescimentos populacionais previstos e adotados nesse estudo.

10. Outro fator importante na escolha foi o perfil de distribuição de população, que concentra grande quantidade de municípios pequenos, um médio grupo de grandes municípios e uma unidade que representa a enorme capital. Devido à dificuldade prática em determinar médias e correlações nesse cenário, a melhor solução foi estabelecer a segmentação em faixas representativas, para evitar distorções nos cálculos estatísticos.

11. Ficou claramente demonstrada a ocorrência do efeito da urbanização e do crescimento populacional sobre a geração individual de RSU. No grupo um, tem-se uma geração média de 0,374 kg/habitante para um porte médio de 18.790 habitantes, no grupo dois uma média de 0,628 kg/habitante para um porte médio de 273.634 habitantes e, no grupo três, uma geração média de 1,198 kg/habitante, para um porte de quase onze milhões de habitantes! Esse efeito justificou os cálculos de ajuste das curvas de geração de RSU conforme os municípios crescem, se urbanizam e passam a adotar outros hábitos e padrões de consumo e, portanto, mudam de perfil gerador, aumentando a geração do lixo doméstico, objeto deste estudo.

12. A análise de distribuição por volume gerado de RSU demonstrou que 548 municípios, representando 85% do total do estado, não têm geração suficiente para alcançar o porte mínimo de processamento das usinas (34 toneladas por dia). O total gerado por esses municípios representa 10,4% do total de RSU gerado no estado.

13. Os demais 97 municípios, representando 15% do total do estado, apresentam geração de RSU maior que o porte mínimo de processamento das usinas, permitindo o tratamento de 89,6% do volume de RSU do estado em 104 usinas (2005).

14. Somente 18 municípios, representando 2,8% do total, apresentam condição financeira para suportar o processamento do RSU gerado, que corresponde a 66% do volume total do estado.

15. Foi demonstrado que os municípios de maior porte tendem a concentrar a capacidade de suportar os investimentos necessários, considerando os valores pagos

atualmente pela disposição do lixo em aterro. A Cidade de São Paulo representa um desses casos, mas de porte extremado.

16. Foi possível constatar que o volume de lixo gerado aumenta ao longo do período 2005-2020, tornando necessária uma maior quantidade de usinas para o processamento desses resíduos gerados de forma crescente ao longo dos anos e com o agravamento do fator de crescimento das cidades (urbanização).

17. Constatou-se que a questão da formação de agrupamentos das fontes passou a ser a otimização da participação das fontes, em função do total gerado pelo conjunto, e da minimização da função custo total desse conjunto em relação aos custos da usina.

18. A análise demonstrou que o crescimento da geração de lixo em diversos casos leva os municípios a níveis superiores de porte de usina, com os respectivos custos superiores, e essa diferença inicial na maioria das vezes não consegue ser coberta pela capacidade financeira do município. Constata-se que crescem ao longo do período 2005-2020, em ambos os casos, a quantidade de municípios que alcançam a capacidade mínima de processamento, o percentual de lixo total que pode ser processado e a quantidade de usinas necessárias para esse tratamento, enquanto decrescem a quantidade de municípios que apresentam capacidade financeira para suportar os investimentos requeridos e o percentual de lixo total que pode ter seu processamento pago.

19. Os resultados das análises de custo mínimo de processamento demonstraram claramente a vantagem das economias de escala, pois os valores da curva de custo mínimo por geração de energia (US\$/MWh) se originam das configurações unitárias de cada porte. Ficou demonstrado que, embora o custo instalado de equipamento para geração de energia seja o maior para o maior porte, o custo por energia gerada é o menor em sua respectiva faixa de porte. Esse fato destaca a importância do correto dimensionamento de cada usina, com base na previsão de

demanda ao longo do período mínimo da vida útil do empreendimento, para evitar que eventuais subdimensionamentos sejam, posteriormente, completados por equipamentos e linhas adicionais, o que somente fará aumentar o custo unitário de processamento e o custo por energia gerada na usina

20. Os resultados das análises de viabilidade econômico-financeira, com base nos parâmetros adotados e do ponto de vista estritamente operacional, demonstraram que as usinas de portes menores 1 a 5 não apresentam retorno positivo e, portanto, nunca se pagariam, independentemente do tempo de vida útil considerado. Qualquer investimento nessas usinas deveria ser considerado a fundo perdido e contar com orçamento complementar continuado. As usinas de portes 1 a 3 apresentam valor líquido anual negativo e as de portes médios 4 e 5 apresentam valor líquido positivo, mas insuficiente para equilibrar os investimentos requeridos e as despesas operacionais. As usinas de portes maiores 6 a 10 apresentam retorno positivo e se pagariam em prazos variando de 10 anos (porte 6) a quatro anos (porte 10), dispensando assim aporte externo de capital. O retorno se daria dentro do tempo mínimo de vida útil considerado (15 anos).

21. Os resultados das análises de viabilidade econômico-financeira, ao se considerar o conjunto de benefícios diretos e indiretos, demonstraram mudança radical. As usinas de todos os portes poderiam se pagar desde o primeiro ano (portes 6 a 10) até o décimo ano (porte 1), demonstrando que é muito importante considerar o conjunto de variáveis envolvido no contexto das usinas de processamento de lixo, ao invés de somente os aspectos operacionais individuais. Para a sociedade, esse é o tipo de resultado que interessa e importa, pois o custo final é reduzido e esse impacto é sentido no bolso pelo consumidor, pelo povo, a quem, em última instância, resta pagar pelas despesas incorridas por seus governos. O retorno dessas usinas, nesse caso, se daria dentro do tempo mínimo de vida útil considerado (15 anos) e com alta rentabilidade, permitindo significativos lucros e a formação de reserva de caixa para reinvestimentos de qualidade nas instalações ou outras iniciativas benéficas à comunidade.

22. A análise da geração de PIB por município permitiu verificar que, dos 645 municípios do Estado de São Paulo, 572 estão abaixo da média de geração, representando 88,7% do total, enquanto 73 estão acima da média, representando 11,3% do total. Isso indica forte efeito de concentração na geração do PIB, com significativos impactos na disponibilidade de recursos para a execução orçamentária municipal na maioria dos casos, e sugere que o melhor caminho para os municípios de menor geração por habitante seria a participação em grupo que visasse o processamento comum do volume total de lixo gerado, para se beneficiar dos efeitos de sinergia e escala que podem ser obtidos pelo aumento do volume tratado.

23. Os resultados das análises demonstraram que o comportamento relativo das taxas de crescimento da população, da geração de RSU e da geração do PIB não é similar em todas as regiões administrativas. Os casos mais críticos são os das regiões em que a taxa de crescimento da geração de RSU é superior à taxa de crescimento da geração do PIB, ao longo da formação do agrupamento, indicando falta de criação de recursos para suportar os investimentos requeridos para implantação de usinas de processamento de lixo que atenda as necessidades do conjunto desses municípios.

24. Os resultados das análises de custo da usina em relação ao empenho atual, comparando o total de investimentos necessários e os valores empenhados atualmente para o mesmo porte de processamento do lixo, demonstraram que todas as formações de grupos apresentam custos futuros superiores aos valores dispendidos hoje para o processamento dos mesmos volumes de lixo, ao longo da formação de grupos. Ocorre significativa influência dos custos logísticos e de investimentos na formação dos custos totais, cujos valores aumentam mais que os recursos disponíveis ao longo do aumento do porte de agrupamento e do aumento do volume de RSU a ser processado.

25. Constatou-se que a Cidade de São Paulo, embora apresente forte concentração de valores de geração de RSU, PIB e demande os maiores portes de usinas para atendimento do volume gerado, segue os comportamentos apresentados pelos demais municípios da RMSP e das demais regiões do estado.

26. Os resultados das análises de custo da usina em relação ao PIB, verificando quanto do PIB gerado nos municípios deveria ser empenhado na forma de capacidade econômico-financeira dos municípios para suportar os investimentos requeridos, na mesma situação de formação de grupos para um processamento comum e para se beneficiarem dos efeitos de sinergia e escala, demonstrou comportamento diferenciado entre regiões, devido às diferentes eficiências de geração de recursos.

27. As análises dos custos em relação ao empenho atual, para verificar a influência dos componentes dos custos totais dos diversos portes de usina, em relação aos recursos atualmente dispendidos para a disposição do lixo, permitiu constatar que todas as regiões apresentam curvas de comportamento similar nas fases de inicialização, transição e consolidação ao longo do crescimento do agrupamento.

A única exceção a esse efeito é a Cidade de São Paulo, cujos efeitos de concentração na geração de RSU e de continuidade como fonte geradora quase homogênea, sem espaços vazios, se complementam e potencializam sua fase de consolidação. Ao se considerar sua participação na Região Metropolitana de São Paulo, esse efeito é diluído no conjunto dos demais municípios e o resultado geral é similar ao das demais regiões administrativas.

28. Os resultados das análises dos custos em relação ao empenho atual, verificando a necessidade de complementação de recursos financeiros para atendimento aos investimentos requeridos, em relação ao empenho atual, na formação de agrupamentos, demonstraram que, mantidos os níveis de empenho atuais, nenhuma região teria capacidade financeira suficiente para suportar os investimentos necessários para a implantação de usinas de processamento de RSU. Seria necessário aporte de capital (financiamento ou complementação orçamentária) externo para a implantação das usinas.

Todas as análises de viabilidade econômico-financeira foram realizadas considerando-se somente os resultados operacionais, sem levar em conta os benefícios indiretos que o processamento de RSU pode gerar no fluxo de caixa total expandido. ,

Sob esse enfoque, os resultados e as conclusões podem mudar radicalmente. A questão principal é estabelecer quem pode assumir esse balanço geral positivo e efetuar as devidas distribuições contábeis nos orçamentos.

Os resultados das análises demonstraram que a grande maioria dos municípios do estado, de pequeno e médio porte, não apresenta porte de geração para o processamento ou condição financeira para suportar os investimentos requeridos pelas usinas. Somente os poucos municípios de grande porte conseguem apresentar recursos para bancar a instalação das usinas e realizar o processamento do RSU gerado.

Resta aos demais municípios a alternativa de formar agrupamentos para atingir massa crítica suficiente que permita se beneficiarem dos efeitos de sinergia e escala, mas os resultados das análises demonstraram que os agrupamentos não conseguem atingir esse ponto.

A inclusão dos municípios maiores nos agrupamentos também não é suficiente para mudar esse cenário, pois não conseguem compensar a falta de recursos dos municípios menores, adotando como base os valores empenhados atualmente para disposição do lixo gerado.

Dessa forma, o perfil dos municípios do Estado de São Paulo recomenda a adoção de programas de complementação orçamentária para a implantação de usinas de processamento de RSU, considerando somente os resultados operacionais como base para os cálculos de viabilidade econômico-financeira.

Adotando-se uma visão maior, no enfoque sócio-ambiental, é necessário considerar os benefícios indiretos que o tratamento completo do RSU, por meio das usinas WPC, proporciona aos municípios e à sociedade, além dos resultados operacionais em si.

Nessa conta maior, os resultados são positivos desde o início:

- São gerados postos de trabalho diretos e indiretos;
- Realiza-se a inclusão social de forma intensa e consistente;
- O lixo é eliminado, transformado em produtos recicláveis, água, energia elétrica e cinzas;
- Eliminam-se os problemas de saúde causados por poluição e contaminação;
- Eliminam-se suas respectivas despesas no atendimento do Sistema de Saúde;
- Termina a geração de gases por lixões e aterros que aceleram o efeito estufa e o aquecimento global;
- Poupam-se recursos naturais nobres e novos;
- Compensa-se a geração de energia por fontes não renováveis, poluentes e mais caras;
- A geração de energia é contínua e não depende de fatores climáticos ou de sazonalidade;

- A geração de energia é local/regional e simplifica a logística de transmissão/distribuição na rede;
- Todo o processo de gestão é simplificado;
- Cria-se valor para os acionistas;
- A sociedade ganha em melhoria de saúde, espaço e qualidade de vida;
- A economia local/regional é fortalecida e estimulada;
- Intensifica-se a integração entre municípios participantes dos consórcios;
- A população é atendida nos objetivos de cidadania e boa governança.

Resta agora aos prefeitos municipais e às autoridades estaduais e federais, relacionadas de forma direta ou indireta com a problemática do lixo, que saiam da zona de conforto tradicionalmente proporcionada pela cultura nacional de populismo eleitoreiro, com muito discurso e pouca ação.

Que adotem postura proativa, demonstrem vontade política para resolver o problema, sinalizem e demonstrem ao povo que a principal prioridade é trabalhar para uma solução imediata e iniciem o processo de implementação de usinas para processamento do resíduo urbano, beneficiando a sociedade a curto, médio e longo prazos, de forma real, consistente e abrangente.

8.2. Recomendações para futuros estudos

Considerando a complexidade do assunto tratado neste estudo e os diversos enfoques que podem ser adotados na análise de uma empresa dessa natureza, pode-se sugerir como propostas de novos trabalhos para o desenvolvimento da compreensão deste tema:

1. Impacto dos custos de conexão à rede na economicidade das usinas.
2. Estudo para definição e quantificação dos custos logísticos específicos e seu real impacto nos resultados financeiros do empreendimento.
3. Investigação e detalhamento dos componentes de investimento, custos de operação e manutenção ao longo das fases de construção, início de operação e operação e sua influência no comportamento do fluxo de caixa e do resultado financeiro do empreendimento.
4. Análises de sensibilidade em relação aos principais parâmetros do empreendimento e refinamento dos resultados financeiros em função das condições de operação e de cenários de oferta e demanda.
5. Estudo do balanço energético do empreendimento e determinação da influência dos fatores críticos e limites nos resultados operacionais e financeiros.
6. Investigação das modalidades de financiamento para projetos dessa natureza, considerando também a finalidade sócio-ambiental do empreendimento e as condições de retorno do investimento no período útil de operação da empresa.

7. Estudo dos cenários de preços, oferta e demanda ao longo do tempo dos produtos gerados pelo empreendimento para efeito de formação de receitas e caixa.

8. Estudo dos efeitos de tributação e isenções nos resultados financeiros.

Referências

ABBAS, J. E. **A problemática econômica e geográfica em que se inserem a gestão dos resíduos sólidos domiciliares e os modernos métodos para sua incineração.** 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo. 2008.

ADRIAN, C. A hunger for new energy sources could revive the outlook for waste-to-energy plants. *Recycling Today*, v 42, n 5, p 94-100, May 2004; ISSN: 10966323.

ALBINA, D., THEMELIS, N. Emissions from Waste-to-Energy: a comparison with coal-fired power plants. *Energy Conversion and Resources* - 2003, p 169-184, 2003, ISBN-10: 0791837157, ISBN-13: 9780791837153.

ALERTA BRASIL. **Energia: os erros do governo no leilão de Belo Monte.** Gusta. Publicado em 26 de Abril de 2010. Disponível em <<http://alertabrasil.blogspot.com>>. Acesso em: 26 de Abril de 2010.

ALMEIDA, S. **Estudo térmico e caracterização química de amostras de resíduos sólidos de aterro sanitário.** 2007. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química. 2007.

ANRE AGENCY FOR NATURAL RESOURCES AND ENERGY. JAPAN. Disponível em <http://www.enecho.meti.go.jp/english/energy/new_energy/waste.html>. Acesso em: Maio 2011.

APEC-VC Asia-Pacific Economic Cooperation Virtual Center for Environmental Technology Exchange. **Future municipal solid waste treatment technologies.** Disponível em <<http://www.apec-vc.or.jp/j/Waste Treatment Technologies.htm>>. Acesso em: Outubro de 2010.

ARRUDA, A. R. **Avaliação de possível obtenção de créditos de carbono a partir de um projeto de mecanismo de desenvolvimento limpo com madeira plástica feita de polietileno e fibra de côco.** 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Polímeros) - Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ. 2007.

ASSIS, C. S. **Modelo de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: uma contribuição ao planejamento urbano.** 2002. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2007.** São Paulo: ABRELPE, 2008. 151 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2009.** São Paulo: ABRELPE, 2010. 207 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GERADORAS TERMELÉTRICAS ABRAGET. **Planejamento estratégico de combustíveis para geração termelétrica no Brasil.** Rio de Janeiro: Canal Energia, 2007. 198 p.

ABLP Associação Brasileira de Limpeza Pública. Disponível em: <<http://www.ablp.org.br>>. Acesso em: Maio 2011.

BAHOR, B. Waste-to-energy - a source of clean renewable energy and a process for reducing greenhouse gas and fine particulate emissions. Proceedings of the 14th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 14, v 2006, May 1, 2006 - May 3, 2006; p 3, 2006, ISBN-10: 0791842045, ISBN-13: 9780791842041.

BALCAZAR, J. G. C. **Modelagem de ciclos combinados integrados à incineração de resíduos sólidos municipais**. 2011. Dissertação (Mestrado em Transmissão e Conversão de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá. 2011.

BARJA, G. J. A. **A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. 2006.

BARLOW PROJECTS INC. Waste-to-energy project powered by ingenuity. AFE Facilities Engineering Journal, v 30, n 3, p 29-30, May/June 2003; ISSN: 10885900.

BARROS, D. D. **Modelagem financeira para projetos de tratamento de resíduos sólidos no Brasil, com base no mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto**. 2006. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2006.

BERENYI, E. Waste-to-energy has its time finally come (again)? Proceedings of the 14th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 14, May 1, 2006 - May 3, 2006; v 2006, p 15, 2006, ISBN-10: 0791842045, ISBN-13: 9780791842041.

BIDONE, F. R. A. (Org.). **Programa de pesquisa em saneamento básico**. Metodologias e técnicas de minimização, reciclagem e reutilização de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. 65 p.

BOTURA, C. A. **Desenvolvimento de um sistema de incineração de resíduos sólidos para utilização com combustão pulsante**. 2005. Tese (Doutorado em Transmissão e Conversão de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá. 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério de Minas e Energia, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Diretrizes de Política de Agroenergia 2006-2011. Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estado da arte e tendências das tecnologias para energia**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. CTenerg Secretaria Técnica do Fundo Setorial de Energia. Janeiro de 2003. p 1-90.

BRASIL. Ministério da Defesa. IEAv Instituto de Estudos Avançados. Centro Técnico Aeroespacial. ENU Divisão de Energia Nuclear. **Uma Análise da Situação da Energia Elétrica no Brasil**. Arquivo sobre Energia e Desenvolvimento Sustentável. Arquivo Yuji Ishiguro. Disponível em <<http://www.ieav.cta.br/enu/yuji/analise.php>>. Acesso em: Janeiro de 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. EPE Empresa de Pesquisa Energética. NOTA TÉCNICA DEN 06/08. Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. Rio de Janeiro, Novembro de 2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. EPE Empresa de Pesquisa Energética. PNE 2030 Plano Nacional de Energia. Seminários Públicos 2006 (10). 2009a. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/pne/forms/empreendimento.aspx>>. Acesso em: Fevereiro de 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. EPE Empresa de Pesquisa Energética. PNE 2030 Plano Nacional de Energia. Apresentações e Relatórios 2007 (3). 2009b. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/pne/forms/empreendimento.aspx>>. Acesso em: Fevereiro de 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. EPE Empresa de Pesquisa Energética. PNE 2030 Plano Nacional de Energia. Cadernos temáticos 2008 (11). 2009c. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/pne/forms/empreendimento.aspx>>. Acesso em: Fevereiro de 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **BEN Balanço Energético Nacional 2010**. Brasília: MME, 2011. Disponível em <www.mme.gov.br>. Acesso em: Janeiro de 2011.

BRASIL. Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão. IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeção da população do Brasil 1980-2050**. Revisão 2008. Brasília: IBGE, 2008a.

BRASIL. Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão. IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contagem da população do Brasil 2007**. Brasília: IBGE, 2008b. Também disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm>>.

BRASIL. Ministério da Saúde. Brasil. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p. ISBN: 85-7346-045-8 1.

BRIDI, E. **Resíduos sólidos urbanos – uma proposta para otimização dos serviços de coleta e da disposição final**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia Civil. 2008.

BRITO FILHO, L. F. **Estudos de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ. 2005.

BORBA, S. M. P. **Análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudo de caso**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ. 2006.

BSU Baliranje Spaljivanje Utiskivanje BSU Waste incinerator / Thermal power plant (WI/TPP). Disponível em <<http://www.bsu.hr/en/incineration.html>>. Acesso em: Outubro 2010.

CAIXETA, D. M. **Geração de energia elétrica a partir da incineração de lixo urbano: o caso de Campo Grande/MS**. 2005. Monografia (Especialização do Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em resíduos sólidos) - Universidade de Brasília UnB. 2005.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. São Paulo: Humanitas / FFLCH / USP: 1999.

CALLE, J. A. C. **Comportamento geomecânico de resíduos sólidos urbanos**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2007.

CARVALHO, J. F. **O declínio da era do petróleo e a transição da matriz energética brasileira para um modelo sustentável.** 2009. Tese (Doutorado em Energia) - Universidade de São Paulo, PPGE/USP. 2009.

CARVALHO, M. F. **Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos.** 1999. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 1999.

CASTALDI, M. J., THEMELIS, N. J. The case for increasing the global capacity for waste to energy (WTE). *Waste Biomass Valor* (2010) 1: 91-105.

CASTRO, D., SAMPSON, L. The Lee County WTE Expansion project: building a new WTE unit in the 21st century. Proceedings of the 15th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 15, May 21, 2007 - May 23, 2007; p 97-105, 2007, ISBN-10: 0791847896, ISBN-13: 9780791847893.

CERNUSCHI, S. et al. Number concentration and chemical composition of ultrafine and nanoparticles from WTE (waste to energy) plants. *Science of the Total Environment* 420 (2012) 319-326.

CHANG, Y. H., CHEN, W. C., CHANG, N. B. Comparative evaluation of RDF and WTE incineration. *Journal of Hazardous Materials* 58 (1998) 33-45.

CHARLES, M. A. New trends in Waste-to-energy. *Waste Age* Volume 24, Issue 11, November 1993, 3p.

CHENG, H., HU, Y. Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy: current and future practices in China. *Bioresource Technology* 101 (2010) 3816-3824.

CHINA. GoC/World Bank/GEF. China Renewable Energy Scale-up Program (CRESP). **Consultation on Biomass Power Generation Technology Improvement.** Chinese Academy of Sciences. Guangzhou Institute of Energy Convection (GIEC). China, April 2005.

CLARK, M. What about small facilities? 19th Annual North American Waste-to-Energy Conference, NAWTEC 19, 2011, Pages 151-157. Conference: 19th Annual North

American Waste-to-Energy Conference, NAWTEC19; Lancaster, PA; 16 May 2011 through 18 May 2011; Code 89294.

CLEMENTINO, L. D. **A conservação de energia por meio da cogeração de energia elétrica.** São Paulo: Érica, 2001. 171 p.

CLUNIE, J. Waste-to-energy project economics and financing: a look into the factors influencing the future. Proceedings of the 14th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 14, v 2006, p 59-67, 2006, May 1, 2006 - May 3, 2006; ISBN-10: 0791842045, ISBN-13: 9780791842041.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM CEMPRE. **Gestão sustentável do lixo urbano.** São Paulo: CEMPRE/PH, 2008a. 1 DVD-RAM.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM CEMPRE. **Guia da coleta seletiva de lixo.** São Paulo: CEMPRE/PH, 2008b. 1 DVD-RAM.

CONFEDERATION OF EUROPEAN WASTE-TO-ENERGY PLANTS CEWEP. Disponível em <www.cewep.eu>. Acesso em: Janeiro de 2010.

CONSONNI, S., GIUGLIANO, M., GROSSO, M. Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste. Part A: mass and energy balances. *Waste Management* 25 (2005) 123-135.

CONSONNI, S., GIUGLIANO, M., GROSSO, M. Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste. Part B: Emission and cost estimates. *Waste Management* 25 (2005) 137-148.

CONSONNI, S., VIGAN, F. Material and energy recovery in integrated waste management systems: The potential for energy recovery. *Waste Management*, v 31, n 9-10, p 2074-2084, September-October 2011; ISSN: 0956053X, E-ISSN: 18792456.

CORREA NETO, V. **Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana de açúcar e gás natural.** 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2001.

COSTA, C. V. **Políticas de promoção de fontes novas renováveis para geração de energia elétrica:** lições da experiência europeia para o caso brasileiro. 2006. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2006.

CUNHA, M. E. G. **Análise do setor de saneamento ambiental no aproveitamento energético de resíduos: o caso do município de Campinas – SP.** 2002. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. 2002.

DAINOFF, A., ANACKER, D. The design and operation of an advanced NOx control system on the new 636TPD MWC at the Lee County WTE facility. Proceedings of the 17th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 17. Chantilly, VA, United States. May 18, 2009 - May 20, 2009. Pages:29-35. ISBN-13: 9780791848807.

DANTAS, D. N. **Uso da biomassa de cana de açúcar para geração de energia elétrica:** análise energética, exergética e ambiental de sistemas de cogeração em sucroalcooleiras do interior paulista. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 2010.

DANTAS, K. M. C. **Proposição e avaliação de sistemas de gestão ambiental integrada de resíduos sólidos através de indicadores em municípios do Estado do Rio de Janeiro.** 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2005.

DANTAS FILHO, P. L. **Análise de custos na geração de energia com bagaço de cana de açúcar:** um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo. 2009. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, Programa Interunidade de Pós-Graduação em Energia (IEE/EP/IF/FEA). 2009.

DE LÉO, O. C. **O lugar do lixo na Cidade de São Paulo, a gestão territorial e a contribuição geográfica.** 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de São Paulo. 2006.

DE WAART, H. A. A. M.; VAN BERLO, M. A fourth generation WTE facility designed for energy and materials recovery: the Amsterdam AEB waste-fired power plant. Proceedings of the 16th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 16, p 235-244, 2008, ISBN-10: 0791842932, ISBN-13: 9780791842935.

DIJKGRAAF, E., VOLLEBERGH, H. R. J. Burn or bury? A social cost comparison of final waste disposal methods. Ecological Economics Volume 50, Issue 3-4, 1 October 2004, Pages 233-247.

DMITRIJEVAS, C. **Análise de ecoeficiência de técnicas para tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos.** 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. 2010.

DUBEUX, C. B. S. **Mitigação de emissões de gases de efeito estufa por municípios brasileiros:** metodologias para elaboração de inventários setoriais e cenários de emissões como instrumentos de planejamento. 2007. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2007.

ENVIRONMENT CANADA. Disponível em: <<http://www.ec.gc.ca/envhome.html>>. Acesso em: julho 2010.

EPA releases air rules for WTE facilities. In: WORLD WASTES Volume: 39: 81-81. Published: JAN 1996.

ERNESTO, V. A. R. T. **Caracterização térmica do bagaço de cana de açúcar visando aproveitamento energético.** 2009. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química de Araraquara. 2009.

EURITS European Union for Responsible Incineration and Treatment of Special Waste. **The incineration of hazardous waste: how to achieve high environmental protection in a free market.** Disponível em: <http://www.eurits.org/pages/hazardous_waste.asp>. Acesso em: Maio 2011.

EUROCONTROL; IfEN. **WGS84 QUALITY IMPLEMENTATION MANUAL** Version 2.4 February 12, 1998. [S.I.]: EUROCONTROL European Organization for the Safety of Air

Navigation Brussels, Belgium; IfEN Institute of Geodesy and Navigation (IfEN) University FAF Munich, Germany

EUROPA 2 European Parliament and Council. Directive 2000/76. Waste incineration. Disponível em: <http://www.europa.eu.int/eur-lex/en/consleg/pdf/2000/en_2000L0076_do_001.pdf>. Acesso: Maio 2011.

FADIGAS, E. A. F. A., NEGRI, J. C., MURAKAMI, L. T., PAZZINI, L. H. A., BARILLARI, S. **Zoneamento ambiental para estudo de localização de usinas termelétricas nas bacias dos rios Piracicaba/Capivari/Jundiá.** Disponível em <http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/CLAGTEE2003_ElianeFadigas1.pdf>. Acesso em: Abril 2009.

FELLNER, J., CENCIC, O., RECHBERGER, H. A new method to determine the ratio of electricity production from fossil and biogenic sources in waste-to-energy plants. Environmental Science & Technology 2007, 41, 2579-2586.

FEPAM Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler – RS. Incineração. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br>>. Acesso: Maio 2011.

FERREIRA, J. A., DOS ANJOS, L. A. Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 17(3): 689-696, mai-jun, 2001.

FIGUEIREDO, N. J. V. **Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica:** estudo de caso. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, PPGE/USP (IEE/EP/IF/FEA). 2011.

FITZGERALD, G. C., THEMELIS, N. J. Technical and economic impacts of pre-shredding the MSW feed to moving grate WTE boilers. Proceedings of the 17th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC17. Chantilly, VA, United States. May 18, 2009 - May 20, 2009. Annu. North Am. Waste Energy Conf., NAWTEC2009Pages:243-249. ISBN-13:9780791848807.

FORTES, M. Z. **Priorização de alternativas de geração termelétrica distribuída.** 2007. Tese (Doutorado em Sistemas de Potência) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. 2007.

FRANCHETTI, M. J. **Solid waste**. A systems approach. Analysis & minimization. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill Companies, 2009. 545 p.

FRANCO Fo., L. G. Proteção ambiental dos povos da antiguidade. Disponível em <<http://flavionogueira.wordpress.com/meio-ambiente>>. Acesso em: Maio 2011a.

FRANCO Fo., L. G. Períodos e fases do direito ambiental no Brasil. Disponível em <<http://flavionogueira.wordpress.com/meio-ambiente>>. Acesso em: Maio 2011b.

FRANCO Fo., L. G. Fases: imperial e republicana. Disponível em <<http://flavionogueira.wordpress.com/meio-ambiente>>. Acesso em: Maio 2011c.

FRANCO Fo., L. G. Brasil/República. Disponível em <<http://flavionogueira.wordpress.com/meio-ambiente>>. Acesso em: Maio 2011d.

FRIEGE, H., FENDEL, A. Competition of different methods for recovering energy from waste. Waste management & research: the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA Volume 29, Issue 10 Suppl., October 2011, Pages 30-38.

FUNDAÇÃO PREFEITO FARIA LIMA – CEPAM. Superintendência de Assistência Técnica. Superintendência de Desenvolvimento Urbano, Rural e do Meio Ambiente. **Consórcio intermunicipal para o tratamento de resíduos sólidos**. Elisabeth Teixeira Lima e Lesley Gasparini Leite. São Paulo, 1997. (Série Manuais, 3). 39 p.

FURLAN, W. **Modelo de decisão para escolha de tecnologia para o tratamento de resíduos sólidos no âmbito de um município**. 2007. Tese (Doutorado em Administração) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. 2007.

FURTADO, M. C. **Avaliação das oportunidades de comercialização de novas fontes de energias renováveis no Brasil**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. 2010.

GARCIA, R. S. **Análise exergética e econômica de processos reativos com mecanismos cinéticos detalhados**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. 2005.

GESELL, G., CLARK, M. Grate and boiler technology assessment for a new WTE plant in the U.S. Proceedings of the 15th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 15, May 21, 2007 - May 23, 2007; p 53-63, 2007, ISBN-10: 0791847896, ISBN-13: 9780791847893.

GETZ, N. P. How does waste to energy stack up. JOURNAL OF THE AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION Volume: 44: 1309-1312. Published: NOV 1994.

GIUGLIANO, M. et al. Material and energy recovery in integrated waste management systems. An evaluation based on life cycle assessment. Waste Management 31 (2011) 2092-2101.

GIUGLIANO, M., GROSSO, M., RIGAMONTI L. Energy recovery from municipal waste: a case study for middle-sized Italian district. Waste Management 28 (2008) 39-50.

GLOBAL DEVELOPMENT RESEARCH CENTER GDRC. Disponível em <www.gdrc.org>. Acesso em: Janeiro de 2011.

GOLDEMBERG, J.; BARBOSA, L. M. A legislação ambiental no Brasil e em São Paulo. *Revista Eco 21*, Ano XIV, Edição 96, Novembro 2004.

GOLDEMBERG, J., VILLANUEVA, L. D. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**. 2a. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.

GONÇALVES, J. E. **Caracterização química e energética de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis***. 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu. 2006.

GONÇALVES, J. E. **Avaliação energética e ambiental de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis***. 2010. Tese

(Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu. 2010.

GONÇALVES, M. A. **O trabalho no lixo**. 2001. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente. 2001.

GROSSO, M. et al Experimental evaluation of PCDD/Fs and PCBs release and mass balance of a WTE plant. *Chemosphere* 86 (2012), 293-299.

GUEDES, V. P. **Estudos do fluxo de gases através do solo de cobertura de aterro de resíduos**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2007.

GUENA, A. M. O. **Avaliação ambiental de diferentes formas de geração elétrica**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. 2007.

HÄGGSTRÖM, M. Human body diagrams. Wikimedia Commons. Disponível em <http://commons.wikimedia.org/wiki/H%C3%A4ggstr%C3%B6m_diagrams>. Acesso em: Novembro 2010.

HAHN, J., JONES, K. Waste-to-energy: the next step in the hierarchy after the 3-Rs. *Proceedings of the 16th Biennial 1994 National Waste Processing Conference*, June 5, 1994 - June 8, 1994; p 11-17, 1994; ISSN: 01454781; ISBN-10: 079181209X, ISBN-13: 9780791812099.

HAUSER, P. D. **Criação de valor e desenvolvimento sustentável: uma avaliação da incineração de resíduos sólidos municipais em projetos enquadráveis no mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto**. 2006. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2006.

HAY, D. J. Incineration of municipal solid waste regulatory initiatives in Canada. *Environmental Impact Assessment Review* 9 (1989) 291-304.

HEIDERICH, N. N. L. **Modelagem matemática para a localização ótima de usinas de incineração com recuperação energética de resíduos sólidos domiciliares:** uma aplicação para Região Metropolitana da Baixada Santista e Litoral Norte. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências, área de concentração Economia Aplicada) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2011.

HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos:** uma abordagem tecnológica. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004.

HENRIQUES, R. M. **Potencial para geração de energia elétrica no Brasil com resíduos de biomassa através da gaseificação.** 2009. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2009.

HOFFMANN, B. S. **O ciclo combinado com gaseificação integrada e a captura de CO₂:** uma solução para mitigar as emissões de CO₂ em termelétricas a carvão em larga escala a curto prazo? 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010.

HOLANDA, M. R. **Perspectivas da cogeração com resíduos sólidos municipais sob a ótica da gestão ambiental.** 2003. Tese (Doutorado em Transmissão e Conversão de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá. 2003.

HOLANDA, M. R. **Avaliação do potencial de cogeração a partir de resíduos sólidos municipais na região de Guaratinguetá.** 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá. 1998.

HUANG, W., XU, W.; QU, Z.; YUN, S. Risk management in BOT projects of WTE plant. 2011. 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, MACE 2011 - Proceedings, p 3401-3406.

IKUTA, F. A. **Resíduos sólidos urbanos no Pontal do Paranapanema – SP:** inovação e desafios na coleta seletiva e organização de catadores. 2010. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL IBAM. Disponível em: <<http://www.ibam.org>>. Acesso em: Janeiro de 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS IPT. **Lixo municipal**. Manual de gerenciamento integrado. 2^a. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370 p.

JAMASB, T., NEPAL, R. Issues and options in waste management: a social cost-benefit analysis of waste-to-energy in the UK. *Resources, Conservation and Recycling*, v 54, n 12, p 1341-1352, October 2010; ISSN: 09213449.

JAMASB, T., NEPAL R., KIAMIL, H. Waste to energy in the UK: policy and institutional issues. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. Energy 163. May 2010. Issue EN2. Pages 79-86.

JOHNKE, B. Emissions from waste incineration. IPCC/OECD/IEA National Greenhouse Gas Inventories Programme. 2000. Waste sector pages 455-468.

KAPLAN, P. O., DECAROLIS, J., THORNELOE, S. Is it better to burn or bury waste for clean energy generation? *Environmental Science & Technology* 2009, 43, 1711-1717.

KATZMAN, L. Waste-to-energy plants. Recycling's perfect partner. *World Wastes*, v 33, n 1, Jan 1990; ISSN: 07456921.

KAWAHARA, Y., MATSUBARA, Y. Advanced coating technologies for aggressive corrosion environments in WTE and power plants. *Materials Science Forum*, v 696, November 8, 2010 - November 11, 2010; p 302-307, 2011, High-Temperature Oxidation and Corrosion 2010, ISHOC-10; ISSN: 02555476; ISBN-13: 9783037852354.

KISER, J. Reexamining the recycling and WTE compatibility issue. *Proceedings of the 14th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 14*, May 1, 2006 - May 3, 2006 v 2006, p 19-20, ISBN-10: 0791842045, ISBN-13: 9780791842041.

KISER, S. D.; ORSINI, T., BAKER, B. High temperature performance of corrosion resistant boiler weld overlay materials. *NACE - International Corrosion Conference*

Series, March 11, 2007 - March 15, 2007; p 074621-0746216, 2007, Corrosion 2007. ISSN: 03614409.

KLEIN, A., THEMELIS, N. Energy Recovery from Municipal Solid Wastes by Gasification. Proceedings of the 11th Annual North American Waste to Energy Conferences (NAWTEC11), April 28, 2003 - April 30, 2003;p 241-252, 2003; ISBN-10: 0791836657, ISBN-13: 9780791836651.

KLEIN A., ZHANG H., THEMELIS, N.J. Analysis of a waste-to-energy power plant with CO₂ sequestration. North American Waste to Energy Conference (NAWTEC 11) 11 Proceedings, ASME International, Tampa FL (2003) p. 263-270, 2003.

KORZUN, E.A. Recycling energy values of municipal solid waste. JOURNAL OF ENERGY ENGINEERING-ASCE Volume: 117: 133-150. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9402(1991)117:3(133). Published: DEC 1991.

KREITH, F. **Handbook of solid waste management.** New York, Estados Unidos: McGraw-Hill, 1994. ISBN 0-07-035876-1.

KRISHNAN, N., THEMELIS, N. J. Life cycle environmental impacts of two options for MSW management in New York City: modern landfilling vs waste to energy. NAWTEC 13: Proceedings of the 13th Annual North American Waste to Energy Conference. Pages: 193-201. Published: 2005. Conference: 13th Annual North American Waste to Energy Conference. Location: Orlando, FL. Date: MAY 23-25, 2005.

LAPPONI, J. C. **Projetos de investimento na empresa.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 488 p.

LAUBER, J. D. Economic and technical viability of various MSW, WTE waste to energy thermal treatment processes. Proceedings of the Air and Waste Management Association's Annual Conference and Exhibition, AWMA. Volume 7, 2007, Pages 4969-4970. Air and Waste Management Association - 100th Annual Conference and Exhibition of the Air and Waste Management Association 2007; Pittsburgh, PA; 26 June 2007 through 29 June 2007.

LEA, W. R. Plastic incineration versus recycling: a comparison of energy and landfill cost savings. JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS Volume: 47: 295-302. DOI: 10.1016/0304-3894(95)00117-4. Published: MAY 1996.

LEE, S. H., THEMELIS, N., CASTALDI, M. Combating corrosion in WTE facilities - Theory and experience. Proceedings of the 14th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC14, v 2006, May 1, 2006 - May 3, 2006; p 175-185, 2006, ISBN-10: 0791842045, ISBN-13: 9780791842041.

LEHMAN, A., SHABAT, D. How public sector agencies and governments responsible for Waste-To-Energy (WTE) operations maintain cost-effective and environmentally sound WTE operations through active technical, financial, and environmental oversight. Proceedings of the 11th Annual North American Waste to Energy Conferences (NAWTEC 11), April 28, 2003 - April 30, 2003; p 3-7, 2003; ISBN-10: 0791836657, ISBN-13: 9780791836651.

LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006. 250 p. 2ª reimpressão.

LEME, R. M. **Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos e uso de água na produção de eletricidade com biomassa de cana de açúcar.** 2005. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

LESSA, C. Seminário Internacional Parceria Público-Privada (PPP) na prestação de serviços de infraestrutura MRE-BID-BNDES. Disponível em <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/seminario/PPP_encerra1.pdf>. Acesso em: Setembro de 2011.

LIMA, A. X. **Estudo de viabilidade técnico-econômica de uma usina de incineração de resíduos sólidos no ABCD.** 1994. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, PIPG em Energia. 1994.

LIMA, F. R. N. **Localização de aterros sanitários – utilizando lógica nebulosa: caso Petrópolis.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2005.

LIMA, J. D. de **Sistemas integrados de destinação final de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 277 p.

LIMA, L. M. Q. **Lixo: tratamento e biorremediação**. 3ª. ed. São Paulo: Hemus, 2004. 266 p.

LINO, I. C. **Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: comparativa de métodos**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro. 2007.

LOPES, L. **Gestão e gerenciamento integrados dos resíduos sólidos urbanos**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Universidade de São Paulo. 2006.

LOPEZ, L. A. **Desenvolvimento sustentável: uma análise do álcool como alternativa energética**. 1999. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. 1999.

LORE, A., OSWALD, K. Benchmarking mass burn WTE facility performance: how does your facility measure up? Proceedings of the 17th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 17, May 18, 2009 - May 20, 2009, p 43-62, 2009, ISBN-13: 9780791848807.

MACHADO, P. A. L. **Direito Ambiental Brasileiro**. 15ª. ed. São Paulo: Malheiros Editores, 2007. ISBN: 9788574208060

MARANHO, A. S. **Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos para Bauru e região**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Bauru. 2008.

MARCO, R. M. F. **Diagnóstico da geração e disposição dos resíduos sólidos urbanos nos municípios da 7ª. Região Administrativa do Estado de São Paulo**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Produção de Bauru. 2009.

MARQUES, A. C. M. **Compactação e compressibilidade de resíduos sólidos urbanos**. 2001. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 2001.

MARRECO, J. M. **Planejamento de longo prazo da expansão da oferta de energia elétrica no Brasil sob uma perspectiva da teoria das opções reais**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2007.

MARTINS, B. L. **Análise do plano integrado de gestão, gerenciamento e manejo dos resíduos sólidos urbanos no município de Lençóis Paulista**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Produção de Bauru. 2009.

MARTINS, J. M. C. **Estudo dos principais mecanismos de incentivo às fontes renováveis alternativas de energia no setor elétrico**. 2010. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. 2010.

MATOS, D. A. **Tomada de decisão em redes logísticas de reciclagem de materiais através da Dinâmica de Sistemas**. 2012. 193p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos. 2012.

MATTHES, S.A. et al. Field test of high temperature corrosion sensors in a waste to energy plant. NACE - International Corrosion Conference Series, March 16, 2008 - March 20, 2008; p 082931-0829320, 2008, Corrosion 2008. ISSN: 03614409.

MELDONIAN, N. L. **Alguns aspectos do lixo urbano no Estado de São Paulo e considerações sobre a reciclagem do alumínio e do papel**. 1998. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. 1998.

MENDES, L. G. G. **Proposta de um sistema para aproveitamento energético de um aterro sanitário regional na cidade de Guaratinguetá**. 2005. Dissertação (Mestrado em Transmissão e Conversão de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá. 2005.

MILLRATH, K., THEMELIS, N.J. Waste as a renewable source of energy: current and future practices. IMECE 2003-55258. 2003 International Mechanical Engineering Congress & Exposition. Washington, D.C., November 16-21, 2003.

MINCHETTI, I. M. **Mercado de carbono: um estudo comparado entre Brasil, China e Índia.** 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Letras de Araraquara. 2009.

MIRANDA, M. L., HALE, B. Waste not, want not: the private and social costs of waste-to-energy production. Energy Policy, Vol. 25, No. 6, pp. 587-600, 1997.

MONNI, S. From landfilling to waste incineration: implications on GHG emissions of different actors. International Journal of Greenhouse Gas Control 8 (2012) 82-89.

MONTEIRO, J. G. M. **Um estudo sobre alternativas de seqüestro de carbono: modelos, métricas e otimalidade.** 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de processos químicos e bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2009.

MORALES, M. L. A. **Simulação do desempenho de tratamento de resíduo sólido urbano: sistema AAA.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração Saneamento e Ambiente) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. 2004.

MOREIRA, C. A. **Geofísica aplicada no monitoramento de área de disposição de resíduos sólidos domiciliares.** 2009. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro. 2009.

MOREIRA, M. A. A. **Aplicação de técnicas de geoprocessamento para seleção de áreas de disposição de resíduos sólidos em aterro sanitário – município de Descalvado (SP).** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos. 2005.

MORGADO, T. C., FERREIRA, O. M. **Incineração de resíduos urbanos, aproveitamento na cogeração de energia:** estudo para a região metropolitana de Goiânia. Goiânia: UCG, 2006.

MORRIS, J. Burn or bury North America MSW? LCAs provide answers for climate impacts & carbon neutral power potential. *Environmental Science & Technology* 2010, 44, 7944-7949.

MOTTA, R. R. [et al.] **Engenharia econômica e finanças.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. 312 p.

MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATOR RESIDUES. Chapter 2 – Municipal solid waste. *Studies in Environmental Science* Volume 67, 1997, Pages 15–57.

MUNÕZ, S. I. S. **Impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, SP:** avaliação dos níveis de metais pesados. 2002. Tese (Doutorado em Enfermagem em Saúde Pública, linha de pesquisa Saúde Ambiental) - Universidade de São Paulo, Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto. 2002.

NAKAMURA M., ZHANG H., MILLRATH, K., THEMELIS, N.J. Modeling of waste-to-energy combustion with continuous variation of the solid waste fuel. IMECE 2003-55342. 2003 International Mechanical Engineering Congress & Exposition. Washington, D.C., November 16-21, 2003.

NARUO, M. K. **O estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando sistema de informações geográficas.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2003.

NASCIMENTO, G. A. **Aproveitamento de bagaço em usinas de álcool e açúcar:** venda, queima ou hidrólise. 2008. Dissertação (Mestrado em Transmissão e Conversão de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá. 2008.

NASCIMENTO, V. B. **Estudo do processo de trabalho nas cooperativas de material reciclável e efeitos à saúde em decorrência do manuseio de produtos químicos.**

2010. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010.

NUNES, T. C. S. **Indicadores contábeis como medidas de risco e retorno diferenciados de empresas sustentáveis:** um estudo no mercado brasileiro. 2010. Dissertação (Mestrado em Controladoria e Contabilidade) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. 2010.

O ESTADO DE SÃO PAULO. **Megacidades.** São Paulo: O Estado de São Paulo, 2008. 117 p.

OBERMOSER, M., FELNER, J., RECHBERGER, H. Determination of reliable CO(2) emission factors for waste-to-energy plants. WASTE MANAGEMENT & RESEARCH Volume: 27: 907-913. DOI: 10.1177/0734242X09349763. Published: NOV 2009.

OLIVEIRA, D. A. S. **Desenvolvimento, energia e sustentabilidade:** uma perspectiva do relatório Brundtland. 2003. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. 2003.

OLIVEIRA, F. L. P., LEMME, C. F., LEAL, R. P. C. Custo de capital próprio e adicionalidade em projetos de energia renovável no mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Kyoto. Relatórios COPPEAD; 391. Rio de Janeiro, UFRJ/COPPEAD, 2010. 28p. 27cm. ISBN 978-85-7508-079-5. ISSN 1518-3335.

OLIVEIRA, G. **Consórcio intermunicipal para o manejo integrado de lixo em cinco municípios da região administrativa de Bauru.** 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia – Organização do Espaço) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro. 2004.

OLIVEIRA, J. G. **Perspectivas para a cogeração com bagaço de cana de açúcar:** potencial do mercado de carbono para o setor sucroalcooleiro paulista. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 2007.

OLIVEIRA, L. B. **Lixo que vale ouro.** Governo do Rio de Janeiro. Secretaria de Ciência e Tecnologia. FAPERJ - Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro. Publicado em 26/8/2002. Disponível em <http://www.faperj.br/boletim_interna.phtml?obj_id=352>. Acesso em: Agosto de 2005.

OLIVEIRA, L. B. **Potencial de aproveitamento energético de lixo e biodiesel de insumos residuais no Brasil.** 2004. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004.

OLIVEIRA, L. B., ROSA, L. P. Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economic benefits. *Energy Policy* 31 (2003) 1481-1491.

OLIVEIRA, L. B., ROSA, L. P. **Usinas termelétricas híbridas: geração de energia com balanço nulo de emissões de gases do efeito estufa, usando combustível fóssil e biomassa residual.** Disponível em <www.bancor.com.br/.../Usinas%20Termel.-Pinguelli%20Rosa.pdf>. Acesso em: Agosto 2011.

ORSATI, A. S. **Análise de impactos ambientais e econômicos na escolha de locais para disposição final de resíduos sólidos.** 2006. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Civil de Ilha Solteira. 2006.

PANEPINTO, D., GENON, G. Carbon dioxide balance and cost analysis for different scenarios of solid waste management. *ECOSYSTEMS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT VIII*. Book Series: Search Institute Series on Developmentally Attentive Community and Society. Pages: 445-456. DOI: 10.2495/ECO110391. Published: 2011. Conference: 8th International Conference on Ecosystems and Sustainable Development (ECOSUD 2011). Location: Univ. Alicante, Alicante, SPAIN. Date: APR 13-15, 2011.

PAVAN, M. C. O. **Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil.** 2010. Tese (Doutorado em Energia) - Universidade de São Paulo, PPGE/USP. 2010.

PAVLAS, M., BEBAR, L., KROPAC, J. Waste to Energy - an evaluation of the environmental impact. *Chemical Engineering Transactions* Volume: 18: 671-676. DOI: 10.3303/CET0918109. Published: 2009. Conference: 12th Conference on Process Integration, Modeling and Optimization for Energy Saving and Pollution Reduction. Location: Rome, ITALY. Date: FEB 10-MAY 13, 2009.

PAVLAS, M., TOUS, M., BEBAR, L. Waste to energy - an evaluation of the environmental impact. *APPLIED THERMAL ENGINEERING* Volume: 30. DOI:

10.1016/j.applthermaleng.2009.10.019. Published: NOV 2010. Conference: 12th Conference on Process Integration, Modeling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction. Location: Rome, ITALY. Date: MAY 10-13, 2009.

PAVLAS, M., TOUS, M, KLIMEK, P. et al. Waste incineration with production of clean and reliable energy. CLEAN TECHNOLOGIES AND ENVIRONMENTAL POLICY Volume: 13: 595-605. DOI: 10.1007/s10098-011-0353-5. Published: AUG 2011.

PEDERSEN, A. et al. Partitioning of trace elements in a WtE boiler; the influence of different waste types. Air and Waste Management Association - 27th Annual International Conference on Thermal Treatment Technologies 2008, May 12, 2008 - May 16, 2008;v 1, p 64-99, 2008, ISBN-13: 9781605603797.

PELLEGRINO, S. A. C. **Gestão de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte: sistematização de diretrizes e procedimentos.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos. 2003.

PENA, D. S. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos.** FIESP. Seminário Internacional – Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de São Paulo – 17 de outubro de 2008. Disponível em:<http://www.saneamento.sp.gov.br/bio_apresen/Abertura_FIESP_17out.pdf>. Acesso em: Dezembro 2009.

PEREIRA A. S., OLIVEIRA L. B., REIS M. M. Waste recycling and the sustainable city. Transactions of the Wessex Institute. Pages: 1-8. Paper DOI: 10.2495/URS000201.

PIEROBON, L. R. P. **Sistema de geração de energia de baixo custo utilizando biogás proveniente de aterro sanitário.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica – Energia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia Mecânica. 2007.

PIKE RESEARCH. **Waste-to-Energy Technology Markets.** Thermal and Biological Processes for Electricity and Heat Generation from Municipal Solid Waste: Market Analysis and Forecasts. 4Q2010. [S.l.]: Pike Research, 2010. Disponível em <pikeresearch.com>. Acesso em: Janeiro de 2011.

PINHO, P. M. O. **Avaliação dos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos na Amazônia brasileira.** 2011. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Universidade de São Paulo. 2011.

PINTO JR. H. Q. [et al.] **Economia de energia.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 2ª reimpressão. 343 p.

POGGIO, A., GRIECO, E. Influence of flue gas cleaning system on the energetic efficiency and on the economic performance of a WTE plant. *Waste Management* 30 (2010), 1355-1361.

POGGIO, A., GRIECO, E. Simulation of the influence of flue gas cleaning system on the energetic efficiency of a waste-to-energy plant. *Applied Energy* 86 (2009), 1517-1523.

POLLETO FILHO, J. A. **Viabilidade energética e econômica da incineração de resíduo sólido urbano considerando a segregação para reciclagem.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Bauru. 2008.

PORTER, R. C. **The economics of waste.** Washington: RFF Press, 2002. 301 p.

PUC-RIO **Manejo de resíduos sólidos urbanos: aterros sanitários.** Disponível em <http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/rsudoutrina_01.pdf>. Acesso em: Setembro 2011. Certificação digital no. 0210229/CA.

QUEIROZ, G. M. O. R. **Análise de dificuldades técnicas e econômicas na inserção da cogeração pelas usinas sucroalcooleiras.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. 2008.

RAND, T.; HAUKOHL, J.; MARXEN, U. **Municipal solid waste incineration: requirements for a successful project.** World Bank technical paper; no. 462. Washington, Estados Unidos: World Bank, 2000. 103 p.

REAL, J. L. G. **Riscos ambientais em aterros de resíduos sólidos com ênfase na emissão de gases.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2005.

REAL DE AZÚA, D. **Project Finance:** uma modalidade de financiamento internacional. São Paulo: Aduaneiras, 2002. 126 p.

REIS, L. B. **Geração de energia elétrica:** tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade. 3ª. ed. Barueri: Manole, 2003. 324 p.

REIS, M. M. **Custos ambientais associados à geração elétrica: hidrelétricas x termelétricas a gás natural.** 2001. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2001.

RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R. **Resíduos sólidos: problema ou oportunidade?** Rio de Janeiro: Interciência, 2009. 158 p.

RIBEIRO, L. A. **Gestão dos resíduos sólidos urbanos com geração de energia:** o projeto Ecoparque de Porto Alegre. 2008. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS. 2008.

RIBEIRO, S. G. **Geração de energia elétrica com resíduos sólidos urbanos:** usinas waste-to-energy (WTE). 2010. WTERT do Brasil, 2010. Disponível em <http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/publicacoes/usinas_lixo_energia_no_brasil.pdf>. Acesso em: Fevereiro 2011.

ROCHA, G. **Análise termodinâmica, termoeconômica e econômica de uma usina sucroalcooleira com processo de extração por difusão.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Ciências Térmicas) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Ilha Solteira. 2010.

ROCHA, L. F. **Avaliação do risco e dos aspectos econômicos associados à conexão de geração distribuída no planejamento de sistemas de distribuição.** 2009. Dissertação de Mestrado (Ciências em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2009.

RODRIGUES, P. S. H. **Análise de viabilidade econômica de um aterro sanitário para cidade de pequeno porte.** 2008. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Civil de Ilha Solteira. 2008.

ROSA, E. E. S.; NASCIMENTO, M. A. R. [et al.] **Geração termelétrica.** Planejamento, projeto e operação. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 2 volumes. 1296 p.

ROSA, L. P. A questão energética mundial e o potencial dos trópicos. Encontro de Tropicologia, 4, 1987, Recife. Anais. Recife: Universidade de Brasília; CNPq, 1990. p. 165-211.

ROSA, L. P. Respostas de curto prazo para a crise de energia elétrica. A proposta de um programa de geração distribuída: Progedis. Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais. COPPE/UFRJ e FAPERJ/SCT. Outubro de 2000. p 1-23.

ROSE, J. New opportunities for waste-to-energy projects. A and WM, 26th Annual International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, IT3; May 14, 2007 - May 18, 2007; ISBN-13: 9780923204822.

RUBERG, C. **A destinação dos resíduos sólidos domiciliares em megacidades: o caso de São Paulo.** 2006. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. 2006.

SABIÁ, J. R., DUARTE, P. H. G., MARTINS, M. C. B., ALVES JUNIOR, F. T. Estudo da geração de energia a partir dos resíduos sólidos. ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. 23^o. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande/MS, III-045, 18 a 23 de setembro de 2005.

SAMPAIO, H. C. **Planejamento e otimização de sistemas energéticos para gestão econômica e ambiental de cidades.** 2007. Tese (Doutorado em Transmissão e Conversão de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá. 2007.

SAMUELSON, P.A., NORDHAUS, W.D. **Economia.** São Paulo: McGrawHill, 2004.

SANT'ANA, P. H. M. **Análise prospectiva de tecnologias de energia**: validação e análises de uma consulta Delphi com especialistas do Brasil. 2005. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. 2005.

SANTOLERI, J. J. Incineration: introducing the technical issues. *Environmental Impact Assessment Review* 9 (1989), 163-180.

SANTOS, G. G. D. **Análise e perspectivas de alternativas de destinação de resíduos sólidos urbanos**: o caso da incineração e da disposição em aterro. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2011.

SANTOS, L. C. **A questão dos resíduos sólidos urbanos**: uma abordagem socioambiental com foco no município de Ribeirão Preto (SP). 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia – Organização do Espaço) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro. 2004.

SANTOS, M. A., RODRIGUES, M. G. Air quality management in the thermopower generation in Brazil. *Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais. COPPE/UFRJ*. 2009. p 1-29.

SANTOS, M. A., RODRIGUES, M. G. Environmental issues arising from the thermopower generation in Brazil. *Energy Policy*, Volume 26, Number 14, December 1998, pp. 1065-1070.

SANTOS, N. O. **Termodinâmica aplicada às termelétricas**. 2^a. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. 154 p.

SANTOS, R. M. **Localização de centrais de resíduos sólidos para consórcios intermunicipais através da utilização de ferramentas logísticas e restrições de fatores ambientais**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 1997.

SÃO PAULO (Estado). Portal do Governo do Estado de São Paulo ESP. Disponível em <<http://www.saopaulo.sp.gov.br>>. Acesso em: Julho de 2010.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia SE. **Consumo de energéticos por município do Estado de São Paulo**. 2009. São Paulo: SEESP, 2010. Disponível em <www.energia.sp.gov.br>. Acesso em: Janeiro 2011.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Regional. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados SEADE. Disponível em <www.seade.gov.br>. Acesso em: 2010 e 2011.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria Estadual do Meio Ambiente SEMA. **Projeto BRA/92/017. Gestão e tecnologia de tratamento de resíduos**. Modelos de gestão de resíduos para ação governamental no Brasil: aspectos institucionais, legais e financeiros. São Paulo, 1996. 160 p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria Estadual do Meio Ambiente. CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares 2007**. São Paulo: CETESB, 2008a. 164 p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria Estadual do Meio Ambiente. CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares 2007**. SMA 50-07. Projeto ambiental estratégico. Lixo mínimo. São Paulo: CETESB, 2008b. 164 p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria Estadual do Meio Ambiente. CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares 2009**. São Paulo: CETESB, 2010. 163 p.

SAVI, J. **Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos em Adamantina-SP**: análise de viabilidade da usina de triagem de RSU com coleta seletiva. 2005. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista UNESP. 2005.

SAWELL, S. A., HETHERINGTON, S. A., CHANDLER, A. J. An overview of municipal solid waste management in Canada. *Waste Management*, Vol. 16, Nos 5/6, pp. 351-359, (1996).

SAWYERS, D., CHATTOPADHYAY, A., COHN, J. New sources, new requirements, new challenges - Air quality & new waste-to-energy capacity. *Proceedings of the*

17th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC17, May 18, 2009 - May 20, 2009; p 117-118, 2009, ISBN-13: 9780791848807.

SCHUELER, A. S. **Estudo de caso e proposta para classificação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos.** 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2005.

SCHULER, A. R. **Análise do comportamento de um aterro municipal de resíduos sólidos urbanos instrumentado.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010.

SEABRA, J. E. A. **Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral de biomassa de cana de açúcar no Brasil.** 2008. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. 2008.

SILVA, C. R. U. **Balço de energia e das emissões de gases de efeito estufa da cadeia produtiva do etanol brasileiro.** 2009. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. 2009.

SILVA, J. C. T. A gestão da tecnologia nas empresas e interfaces com a gestão ambiental e gestão energética. Unesp/Faculdade de Engenharia de Bauru. DAT/STI/MDIC, Janeiro de 2005. p 1-63.

SILVA, L. D. O. **Sustentabilidade do etanol brasileiro: uma proposta de princípios e critérios.** 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010.

SILVA, N. R. **Análise econômica da triagem dos resíduos sólidos urbanos coletados por uma associação de São Manuel – SP.** 2010. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu. 2010.

SILVA JUNIOR, I. C. **Planejamento da operação de sistemas termoelétricos utilizando análise de sensibilidade associada a processos heurísticos.** 2008. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2008.

SISINNO, C. L. S. (Org.) **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2000. 142 p.

SOARES, E. L. S. F. **Estudo da caracterização gravimétrica e poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2011.

SOARES, F. H. N. **Operação de usinas térmicas contratadas por disponibilidade: uma avaliação dos impactos setoriais sob as óticas técnica, econômica e financeira**. 2009. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. 2009.

SOUSA, A. P. **Análise de risco e retorno para empreendimentos de geração elétrica pós-marco regulatório de 2004**. 2011. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto COPPEAD de Administração. 2011.

SOUZA, R. G. **Gestão estratégica de resíduos sólidos: utilização do *balanced scorecard***. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos. 2007.

SOUZA, Z. J. **Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: entraves estruturais e custos de transação**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção – Gestão da Produção) - Universidade Federal de São Carlos. 2004.

STENGLER, E. Setting the stage for waste-to-energy in Europe. Euroheat and Power (English Edition), v 4, n 1, p 22-24, 2007; ISSN: 16130200.

STRAPASSON, A. B. **A energia térmica e o paradoxo da eficiência energética: desafios para um novo modelo de planejamento energético**. 2004. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, Programa Interunidade de Pós-Graduação em Energia (IEE/EP/IF/FEA). 2004.

STREB, C. S. **Resíduo sólido domiciliar: potencial de minimização e potencial de conservação de energia com reciclagem em municípios da Região Metropolitana de**

Campinas. 2004. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. 2004.

STUART, T. **Waste**: uncovering the global food scandal. New York, Estados Unidos: W. W. Norton & Company, 2009. First American Edition 2009. 480p.

SUE, M. Performance characteristics of waste-to-energy system utilizing steam- injected gas turbine. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part B, v 62, n 597, p 2013-2020, May 1996; ISSN: 03875016; Publisher: JSME.

TABASOVA, A. et al. Waste-to-energy technologies: impact on environment. Energy xxx (2012) 1-10.

TAGUCHI, R. L. **Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares com uso do *Balanced Scorecard***. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto. 2010.

TAKENAKA, E. M. M. **Políticas públicas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos no município de Presidente Prudente – SP**. 2008. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente. 2008.

TAMMEMAGI, H. **The waste crisis**. Landfills, incinerators, and the search for a sustainable future. New York, Estados Unidos: Oxford University Press, 1999. 279 p.

TANIGAKI, N., MANAKO, K., OSADA, M. Co-gasification of municipal solid waste and material recovery in a large-scale gasification and melting system. Waste Management 32 (2012) 667-675.

TARAZONA, C. F. **Estimativa de produção de gás em aterros de resíduos sólidos urbanos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010.

TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Integrated Solid Waste Management**. Engineering Principles and Management Issues. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill, Inc., 1993. ISBN 0-07-063237-5. 978 p.

TELLO, P. Avaliação regional da gestão de resíduos sólidos urbanos na América Latina e Caribe 2010. AIDIS Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental. Terceiro Encontro Técnico Latino-Americano de Alto Nível. Gestão de Resíduos Sólidos. São Paulo, 22 e 23 de Setembro de 2011.

THEMELIS, N. Old and novel Waste-To-Energy (WTE) technologies from a reaction engineering perspective. Air and Waste Management Association - 27th Annual International Conference on Thermal Treatment Technologies 2008, May 12, 2008 - May 16, 2008; v 2, p 489-499, 2008, ISBN-13: 9781605603797.

THEMELIS, N. J. The government role for sustainable waste management in North America. Air and Waste Management Association - 27th Annual International Conference on Thermal Treatment Technologies 2008. Volume 1, 2008, Pages 375-377. Conference: 27th Annual International Conference on Thermal Treatment Technologies 2008; Montreal, QC. 12 May 2008 through 16 May 2008; Code 73940.

THEMELIS, N. J.; DERIZIOTIS, P. Substance and perceptions of environmental impacts of dioxin emissions: an interim report. Proceedings of the 11th Annual North American Waste to Energy Conferences (NAWTEC 11), April 28, 2003 - April 30, 2003; p 225-230, 2003 ISBN-10: 0791836657, ISBN-13: 9780791836651.

THEMELIS, N. J., KIM, Y. H., BRADY, M. H. Energy recovery from New York City municipal solid wastes. WASTE MANAGEMENT & RESEARCH Volume: 20: 223-233. Published: JUN 2002.

THEMELIS, N., MILLRATH, K. The case for WTE as a renewable source of energy. Proceedings of 12th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC12, May 17, 2004 - May 19, 2004, p 15-22, 2004, ISBN-10: 079183736X, ISBN-13: 9780791837368.

THEMELIS, N., RESHADI, S. Potential for reducing the capital costs of WTE facilities. Proceedings of the 17th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 17. Chantilly, VA, United States. May 18, 2009 - May 20, 2009. Annu. North Am. Waste Energy Conf., NAWTEC 2009 Pages: 251-257. ISBN-13: 9780791848807.

TNS THE NATURAL STEP FOUNDATION. Disponível em: <<http://naturalstep.org>>. Acesso em: maio 2010.

TOLMASQUIM, M. T. **Geração elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência: CENERGIA, 2005. 198 p.

TOUS, M. et al. Waste-to-energy plant integrated into existing energy producing system. Chemical Engineering Transactions Volume 25, 2011. 501-506.

TRIANDOPOLIS JUNIOR, J. **Utilização de termelétricas na geração de energia em uma unidade de refino da Petrobrás**: uma estratégia logística para aumento de eficiência empresarial. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.

TRINDADE, L. F. M. **Perspectiva da expansão da oferta de eletricidade no Estado de São Paulo via fontes renováveis e não renováveis de energia**. 1997. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica. 1997.

UDAETA, M. E. M. **Planejamento integrado de recursos energéticos – PIR – para o setor elétrico (pensando o desenvolvimento sustentável)**. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. 1997.

VAN BERLO, M.A.J., DE WAART, H. Unleashing the power in waste: comparison of greenhouse gas and other performance indicators for waste-to-energy concepts and landfilling. Proceedings of the 16th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 16, May 19, 2008 - May 21, 2008;p 181-196, 2008,ISBN-10: 0791842932, ISBN-13: 9780791842935.

VAN CANEGHEM, J., BREMS, A., LIEVENS, P., et al. Fluidized bed waste incinerators: design, operational and environmental issues. Progress in Energy and Combustion Science xxx (2012) 1-32.

VAUGHN, J. **Waste management**. Santa Barbara, Estados Unidos: ABC-CLIO, 2009. 310 p.

VELLUTINI, R. **Estruturas de project finance em projetos privados**. 2a. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. Washington, Estados Unidos: Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2006. 213 p.

VESPA, I. C. G. **Características minerais e energéticas do lixo urbano em processos de compostagem e biodigestão anaeróbia**. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu. 2005.

VIEIRA, E. A. **Lixo – problemática socioespacial e gerenciamento integrado: a experiência de Serra Azul (SP)**. 2006. Tese (Doutorado em Geografia – Organização do Espaço) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro. 2006.

Waste Online. Waste Hierarchy from Waste Online.org.uk (image reproduced courtesy of Sligo County Council). Disponível em <<http://dl.dropbox.com/u/21130258/resources/information sheets/wastedisposal.htm>>. Acesso em: Agosto 2009.

WTERT Waste to Energy Research and Technology. Disponível em <http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/publicacoes/usinas_lixo_energia_no_brasil.pdf>. Acesso em: Setembro 2011.

YAKOWITZ, H. Incineration of municipal solid waste: scientific and technical evaluation of the state-of-the-art by an expert panel. Resources, Conservation and Recycling, 4 (1990) 241-251.

YOUNG, G.C. **Municipal solid waste to energy conversion processes**. Economic, technical and renewable comparisons. Hoboken, Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2010. 384 p.

ZAMBON, K. L., CARNEIRO, A. A. F. M., SILVA, A. N. R., NEGRI, J. C. Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoeletricas utilizando SIG. Pesquisa Operacional, v.25, n.2, p.183-199, Maio a Agosto de 2005. Versão impressa ISSN 0101-7438 / versão online ISSN 1678-5142.

ZWAHR, H. Ways to improve the efficiency of waste to energy plants for the production of electricity, heat and reusable materials. NAWTEC11: Proceedings of the 11th Annual

North American Waste to Energy Conference. Pages: **159-172**. Published: **2003**.
Conference: **11th Annual North American Waste Energy Conference**. Location:
Tampa, FL. Date: **APR 28-30, 2003**.

ZERO WASTE. Disponível em: <<http://www.zerowaste.org/files.html>>. Acesso em: julho
2010.

Apêndice

Apêndice 1. Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica referente ao tema e aos enfoques principais desta tese foi realizada com base em pesquisa de teses, dissertações e publicações em periódicos nas bases de dados ISI, Compendex e Scopus, abrangendo material no período de 1987 a 2012 e considerado como relacionado ao desenvolvimento do trabalho. A pesquisa detalhada estabeleceu um universo de 4.654 trabalhos e um refinamento dessas obras resultou em 231 trabalhos, abordados em seus diversos enfoques.

Também foi realizada pesquisa em livros impressos, divulgados por mídia e material disponível por Internet. A pesquisa estabeleceu um universo de 527 títulos e seu refinamento resultou em 69 referências citadas neste trabalho.

Segundo BRASIL (2003), diversos cenários podem ser elaborados na análise do suprimento de energia em termos mundiais para este século, mas em geral todos apontam para a necessidade de substituição de combustíveis fósseis por alternativas renováveis e sustentáveis.

Conforme ROSA (1990), as possibilidades de mudança encontram sérios obstáculos econômicos, porque o problema principal não é uma crise de energia. Os obstáculos estão na estrutura econômica, nos investimentos feitos, nos interesses de empresas, em toda uma máquina produtiva montada e que tem interesses próprios e diversificados. Os principais fatores limitantes são políticos e econômicos.

Segundo SAMPAIO (2007), o estado de desenvolvimento econômico de um país ou região pode ser avaliado pelo perfil e pela quantidade de consumo de energia, que variam com o crescimento e o desenvolvimento da população.

Conforme LOPES (2006), o mundo passa por uma fase de transição na qual a matriz energética até então dominada pelo petróleo tende a ser substituída por uma nova estrutura que ainda não está suficientemente clara e cujas evidências apontam para uma diversificação em sua composição, privilegiando a sustentabilidade. Ainda segundo LOPES (2006), as atuais formas de consumo de recursos energéticas para as diversas necessidades, com elevados níveis de ineficiência e desperdício, levam ao destaque da relevância de políticas de racionalização e conservação de energia.

Conforme OLIVEIRA (2003), a sociedade capitalista, baseada na maximização do lucro e da produtividade e no consumismo, tem agravado dois sérios problemas, a deposição de resíduos e o desperdício de matérias-primas e energia. Isso gerou a “civilização do descartável”, que está atrelada ao intenso uso de combustíveis fósseis. Sob a perspectiva de seu esgotamento, torna-se imprescindível a busca por um novo paradigma de desenvolvimento, orientado por uma nova ética de crescimento e baseado em sustentabilidade ambiental, social, cultural e política.

Segundo STRAPASSON (2004), apesar da iminente escassez de petróleo para as próximas décadas e da crescente consciência de mudança, tanto a oferta quanto o consumo mundial de energia ainda são intensamente dependentes do petróleo, o mesmo ocorrendo com carvão e gás natural. Essas mesmas fontes são as mais consumidas na geração de energia elétrica, embora o perfil desse modelo de geração abrigue diversas outras fontes de energia, mas em menor participação. A principal razão disso seria a não consideração dos custos ambientais da geração da energia, criando uma competição desleal de custos entre os combustíveis fósseis e as alternativas renováveis.

Segundo CARVALHO (2009), a transição do atual modelo insustentável para um modelo sustentável desejado deverá resultar de ações tomadas pela sociedade como um todo. Isso envolve gestão pública, empresariado, universidades, meios de comunicação e o público em geral. Dessa forma, a implantação do modelo ocorrerá mediante ajustes progressivos nas políticas de investimentos públicos e privados na infraestrutura energética e nos setores industrial, agrícola, comercial e de serviços, considerando que o setor energético é parte integrante do complexo político-econômico-social.

Ainda conforme CARVALHO (2009), sua configuração e os rumos de sua evolução dependem de fatores técnicos diretamente relacionados à energia, além de pressões políticas, sociais e econômico-financeiras. Dessa forma, o planejamento de investimentos no setor deveria ser elaborado com base nos fatores diretamente ligados à geração e ao consumo de energia e em função de condicionantes e limitações inerentes ao próprio processo decisório das áreas política, empresarial e tecnológica.

Segundo ROSA (2000), com o crescimento da maioria dos setores do País, nos próximos anos deveria haver alta probabilidade de falta de energia elétrica e o problema será não somente o da ponta, mas também de energia firme. Neste cenário poderiam ser esperados problemas de qualidade, confiabilidade, falta sazonal de energia elétrica, alta nos preços das tarifas elétricas, alta volatilidade de preços e bastante provavelmente racionamento de energia elétrica.

De fato ocorreu em 2001 o conhecido “apagão”, de abrangência nacional, em função da falta de planejamento, de investimento em novas fontes geradoras e da insuficiência hídrica no período. Uma das soluções para isso seria a implantação de mais fontes geradoras, abrangendo fontes alternativas e renováveis, operando em base e em pico, para atender a oferta de energia de que o País necessita.

Conforme BRASIL (2003), a importância da energia elétrica de base hidráulica no Brasil é significativamente maior do que para a grande maioria dos países

desenvolvidos, pois sua participação na capacidade instalada é superior a 90% e continuará a ser a principal fonte de geração de energia elétrica nas próximas décadas.

Segundo BRASIL (2010), atualmente 30 a 50% da energia primária é usado para gerar energia elétrica no mundo. Com o avanço da industrialização, urbanização e aplicação de tecnologias avançadas em diversos setores da sociedade e na vida diária da população, aumenta a demanda de energia elétrica, aumentando também a fração da energia primária usada para gerar energia elétrica. Com base nisso, o índice per capita de geração elétrica se tornou um indicador do desenvolvimento e do padrão de vida de um país.

Segundo UDAETA (1997), as indústrias são responsáveis pelo consumo de cerca de 70% da energia, que no processo pode representar de 10% a 30% dos custos de produção, principalmente em atividades-chave como fusão, moagem, aquecimento, secagem, sínteses e outras trocas energéticas.

Conforme SILVA (2005), há forte relacionamento entre as gestões de tecnologia, ambiental e energética nas empresas, sendo mais intenso nas empresas de maior capacidade tecnológica e resultando em iniciativas positivas e procedimentos nos campos de gestão ambiental e gestão energética.

Segundo SOUZA (2007), a qualidade e a confiabilidade são aspectos importantes no fornecimento de um bem essencial como a energia elétrica e, num sistema gerador, não dependem particularmente de um único gerador, mas do conjunto de geradores que integram o sistema. Dessa forma, torna-se fundamental a ação de coordenação no sistema, principalmente para equilibrar ofertas e demandas instantaneamente.

Para SAMPAIO (2007), embora a energia seja considerada um bem indispensável para a sociedade, a grande maioria desconhece o estado dos recursos e da produção energética, especialmente a forma como a energia é gerada. Também a transmissão e a distribuição e os problemas decorrentes do crescimento do consumo

permanecem desconhecidos. Segundo ele, o planejamento energético regional deve considerar problemas de multicritérios e multiações, com especificidades que normalmente não fazem parte de macroplanejamentos, principalmente no caso de regiões que apresentam altas taxas de crescimento de demanda.

Conforme FORTES (2007), as transformações por que tem passado o setor elétrico brasileiro desestatizando os setores de geração e distribuição, associadas à crescente necessidade de investimentos para expansão da oferta de energia elétrica, tem oferecido interessantes oportunidades para implementação de geração distribuída.

Segundo TRINDADE (1997), nesse contexto, todo planejamento da expansão da geração deve levar em conta as características dos sistemas termelétricos e hidrelétricos, baseando-se na incorporação de novas unidades geradoras de diferentes tipos, levando-se em conta suas características técnicas e econômicas.

Segundo MARRECO (2007), é importante o planejamento da expansão do parque de geração de energia elétrica do País, pois afeta diretamente o crescimento econômico e o desenvolvimento nacional, tornando eventuais erros ou omissões fatos de direto impacto a toda a sociedade brasileira, que arcará com as conseqüências. Em sua opinião, é fundamental a diversificação das fontes geradoras e nesse contexto a inserção de termelétricas para complementação térmica da matriz funciona efetivamente como um seguro, capaz de reduzir os custos marginais resultantes e reduzindo significativamente a volatilidade dos preços.

Focando especificamente nos resíduos sólidos como alternativa para geração de energia elétrica, os aspectos de sua gestão são básicos para esse direcionamento. Segundo SCHUELER (2005), a produção de lixo é um dos indicadores que melhor revela a interação entre as atividades humanas e o meio ambiente e os fatores que regem sua origem e produção são a população e a industrialização.

Conforme BARROS (2006), nos sistemas de água e esgoto as instalações físicas (barragens, adutoras, redes coletoras e estações de tratamento) dão

permanência física ao sistema e a continuidade operacional é mais fácil de ser mantida. Em comparação, os resíduos sólidos requerem sistemas de serviços, que necessitam, para sua operação, de pleno engajamento da gestão pública e de seu fluxo regular de recursos para sua efetivação. Dessa forma, os sistemas apresentam uma fragilidade inerente, pois basta um relativo descuido para que todo o sistema perca eficácia e eficiência.

Segundo SOUZA (2007), a composição dos resíduos sólidos afeta diretamente seu poder calorífico e não depende da classe social consumidora, embora possa variar com o tempo. Seus cálculos indicam que os resíduos sólidos urbanos podem contribuir para uma geração de energia significativa dentro da matriz energética nacional.

Conforme DANTAS (2005), os resíduos sólidos devem ser geridos por meio de um sistema integrado, submetido periodicamente a processo de avaliação com base em indicadores consistentes, dinâmicos e de fácil aplicação, sendo também relevantes a avaliação periódica do sistema e a inclusão de novos indicadores.

Conforme SOUZA (2007) e TAGUCHI (2010), o sistema de gestão de resíduos sólidos permite enfoque estratégico mais consistente pela utilização do *Balanced Scorecard*.

Conforme MORALES (2004), simulações permitem melhores previsões e resultados.

Segundo PELLEGRINO (2003), especialmente em municípios de pequeno porte os sistemas podem ser mais simples, mas requerem propostas com sistematização e adição do aspecto de educação ambiental e formação de agentes multiplicadores junto à comunidade.

Segundo ASSIS (2002), a pulverização das ações quanto à disposição final dos resíduos sólidos faz com que não se tenha uma solução abrangente e sim soluções

corretivas paliativas. Isso descaracteriza o problema e inviabiliza o controle do processo de gerenciamento, por meio de um sistema integrado.

Conforme MARCO (2009), alguns dos problemas críticos para o bom andamento dos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos são a falta de comunicação entre os setores administrativos públicos, a falta de vontade em resolver problemas, a falta de registro adequado dos volumes processados e um planejamento de médio e longo prazo.

A comunicação bem organizada e realizada também foi constatada por VIEIRA (2006). A mudança de partidos políticos com ideologias conflitantes foi constatada por RIBEIRO (2008). A falta de comunicação e coordenação entre municípios de mesma região foi constatada por STREB (2004). Estratégias e conceitos fora da realidade dos municípios e falta de comunicação entre esferas de governo foram constatadas por PINHO (2011).

Segundo BRASIL (2006), os sistemas de gestão e os procedimentos para solução adequada do problema dos resíduos sólidos têm, sob o aspecto de saneamento, o objetivo de prevenir e controlar doenças a eles relacionadas. Isso leva a um custo evitado na saúde pública, ou seja, custo que deixa de existir. Do ponto de vista econômico, as vantagens podem ser consideradas como decorrência da solução dos problemas de ordem sanitária e a solução do problema constitui ganho para toda a sociedade. Por esse motivo projetos e programas são desenvolvidos para incluir a recuperação econômica de materiais recicláveis e orgânicos encontrados no lixo.

Conforme BRIDI (2008), uma das formas de recuperação é a compostagem em estações de transbordo, tomando os devidos cuidados para que o processamento não fique restrito aos limites dimensionais da instalação.

Além disso, segundo MARTINS (2009), um bom trabalho desenvolvido pela gestão pública junto às cooperativas pode ser uma importante, e talvez a única, forma

de promover o trabalho formal, a geração de emprego e renda e a inclusão social do grupo social de catadores existente em todas as cidades do País.

Segundo OLIVEIRA (2004), esse esforço é potencializado pela formação de consórcios intermunicipais para resolução de problemas comuns em relação aos resíduos sólidos, especialmente nas regiões Sul e Sudeste do País. Nessa formação, é importante a análise dos impactos ambientais e econômicos na escolha de locais para deposição e processamento dos resíduos, segundo ORSATI (2006).

Conforme SANTOS (2004), o lixo tornou-se um problema de âmbito local para o mundial. Seus efeitos imediatos estão em escala local, mas os efeitos socioeconômicos passaram para a escala mundial. As soluções necessárias para essa questão estão além das práticas de gerenciamento de resíduos e deixaram de ser simplesmente um problema técnico.

Segundo TAKENAKA (2008), é necessário elaborar e colocar em prática políticas públicas de efetivo alinhamento entre discurso e prática, especialmente entre o poder público e a comunidade. Sem participação, os resultados são irrelevantes. Isso também é constatado por LOPES (2006).

Nesse contexto a Agenda 21 atua como um guia para a implementação de políticas ambientais, segundo CAIXETA (2005), dando especial ênfase aos 3R, com redução de geração e desperdício nas fontes geradoras, reutilizar os produtos e reciclar os materiais.

Atualmente tem-se o quarto R, com a recuperação energética dos materiais que não puderam ser atendidos pelos três passos anteriores, conforme abordado pelos autores indicados na Tabela A.1:

Tabela A.1. Gestão de resíduos sólidos e 4R

Ano	Autor(es)	Referência
1998	MELDONIAN, N. L.	Alguns aspectos do lixo urbano no Estado de São Paulo e considerações sobre a reciclagem do alumínio e do papel. 1998. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.
1999	BIDONE, F. R. A. (Org.).	Programa de pesquisa em saneamento básico. Metodologias e técnicas de minimização, reciclagem e reutilização de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. 65 p.
2000	INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS IPT.	Lixo municipal. Manual de gerenciamento integrado. 2ª. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370 p.
2005	SAVI, J.	Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos em Adamantina-SP: análise de viabilidade da usina de triagem de RSU com coleta seletiva. 2005. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista UNESP.
2006	RUBERG, C.	A destinação dos resíduos sólidos domiciliares em megacidades: o caso de São Paulo. 2006. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
2008	ABBAS, J. E.	A problemática econômica e geográfica em que se inserem a gestão dos resíduos sólidos domiciliares e os modernos métodos para sua incineração. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo.
2008	PENA, D. S.	Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos. FIESP. Seminário Internacional – Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de São Paulo.
2008	RIBEIRO, L. A.	Gestão dos resíduos sólidos urbanos com geração de energia: o projeto Ecoparque de Porto Alegre. 2008. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS.

2010	PAVAN, M. C. O.	Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil. 2010. Tese (Doutorado em Energia) - Universidade de São Paulo
2011	FIGUEIREDO, N. J. V.	Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica: estudo de caso. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo.

Segundo SANTOS (2011), os aterros sanitários demandam bem menos tecnologia que as instalações de incineração e, por isso, têm sido a opção preferida por gestores públicos para a deposição final dos resíduos sólidos. A incineração, por sua vez, permite maior recuperação energética, recuperação de recicláveis e eliminação física total do lixo.

As duas opções, no entanto, apresentam vantagens e desvantagens e elas somente se destacam em um determinado contexto socioeconômico e uma realidade de gerenciamento de resíduos em que estão inseridas.

Comparando com as realidades e opções de países como Alemanha, EUA, Japão, França e outros, as mesmas conclusões podem ser apresentadas, conforme os trabalhos da Tabela A.2:

Tabela A.2 Comparação de gestão de resíduos entre países

Ano	Autor(es)	Referência
1997	MIRANDA, M. L.; HALE, B.	Waste not, want not: the private and social costs of waste-to-energy production. Energy Policy, Vol. 25, No. 6, pp. 587-600.
1997	MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATOR RESIDUES	Chapter 2 – Municipal solid waste. Studies in Environmental Science Volume 67, 1997, Pages 15–57.

2003	HOLANDA, M. R.	Perspectivas da cogeração com resíduos sólidos municipais sob a ótica da gestão ambiental. 2003. Tese (Doutorado em Transmissão e Conversão de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá, 2003.
2003	MILLRATH, K.; THEMELIS, N. J.	Waste as a renewable source of energy: current and future practices. IMECE 2003-55258. 2003 International Mechanical Engineering Congress & Exposition. Washington, D.C., November 16-21, 2003.
2004	STRAPASSON, A. B.	A energia térmica e o paradoxo da eficiência energética: desafios para um novo modelo de planejamento energético. 2004. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo
2010	FURTADO, M. C.	Avaliação das oportunidades de comercialização de novas fontes de energias renováveis no Brasil. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2010.
2010	MARTINS, J. M. C.	Estudo dos principais mecanismos de incentivo às fontes renováveis alternativas de energia no setor elétrico. 2010. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2010.
2011	SANTOS, G. G. D.	Análise e perspectivas de alternativas de destinação de resíduos sólidos urbanos: o caso da incineração e da disposição em aterro. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

Em termos de tecnologia para geração de energia elétrica, há diversas opções que se mostraram viáveis e estão operacionais, em maior ou menor grau, em diversos países, inclusive no Brasil.

A geração por usinas hidrelétricas, termelétricas a gás, carvão ou resíduos sólidos, e usinas nucleares ocorre em função de diversos fatores de decisão próprios de cada país, conforme SANTOS (2011).

Nos anos 1990, as termelétricas a resíduos sólidos enfrentaram forte oposição dos ambientalistas por motivos ligados a emissões de poluentes e, atualmente, as usinas nucleares passam por fase de rejeição devido aos acidentes de Chernobil e Fukushima.

Conforme HOFFMANN (2010), os agentes do setor elétrico hesitam em abrir mão do uso do carvão, pois representa uma fonte de energia abundante e de baixo custo. Do ponto de vista político, o carvão é interessante pois, em geral, se encontra em grande parte em regiões politicamente estáveis. Aposta-se no desenvolvimento de tecnologias mais avançadas para esse combustível, na busca da redução de emissão de CO₂.

Estudos comparativos entre as diversas tecnologias de geração podem ser citados no trabalhos da Tabela A.3:

Tabela A.3: Comparação de tecnologias

Ano	Autor(es)	Referência
1997	TRINDADE, L. F. M.	Perspectiva da expansão da oferta de eletricidade no Estado de São Paulo via fontes renováveis e não renováveis de energia. 1997. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 1997.
2000	ROSA, L. P.	Respostas de curto prazo para a crise de energia elétrica. A proposta de um programa de geração distribuída: Progedis.

		Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais. COPPE/UFRJ e FAPERJ/SCT. Outubro de 2000. p 1-23.
2003	BRASIL Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação	Estado da arte e tendências das tecnologias para energia. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. CTEnergy Secretaria Técnica do Fundo Setorial de Energia. Janeiro de 2003. p 1-90.
2003	OLIVEIRA, L. B., ROSA, L. P.	Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economic benefits. Energy Policy 31 (2003) 1481-1491.
2004	HENRIQUES, R. M.	Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
2004	OLIVEIRA, G.	Consórcio intermunicipal para o manejo integrado de lixo em cinco municípios da região administrativa de Bauru. 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia – Organização do Espaço) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, 2004.
2005	GARCIA, R. S.	Análise exergetica e econômica de processos reativos com mecanismos cinéticos detalhados. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, 2005.
2006	BRASIL Ministério da Saúde. Brasil. Fundação Nacional de Saúde	Manual de saneamento. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p. ISBN: 85-7346-045-8 1.
2007	FURLAN, W.	Modelo de decisão para escolha de tecnologia para o tratamento de resíduos sólidos no âmbito de um município. 2007. Tese (Doutorado em Administração) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, 2007.
2007	GUENA, A. M. O.	Avaliação ambiental de diferentes formas de geração elétrica. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2007.
2007	MARRECO, J. M.	Planejamento de longo prazo da expansão da oferta de

		energia elétrica no Brasil sob uma perspectiva da teoria das opções reais. 2007. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
2007	SAMPAIO, H. C.	Planejamento e otimização de sistemas energéticos para gestão econômica e ambiental de cidades. 2007. Tese (Doutorado em Transmissão e Conversão de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá, 2008.
2010	FURTADO, M. C	Avaliação das oportunidades de comercialização de novas fontes de energias renováveis no Brasil. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2010.
2010	OLIVEIRA, F. L. P., LEMME, C. F., LEAL, R. P. C.	Custo de capital próprio e adicionalidade em projetos de energia renovável no mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Kyoto. Relatórios COPPEAD; 391. Rio de Janeiro, UFRJ/COPPEAD, 2010. 28p. 27cm. ISBN 978-85-7508-079-5. ISSN 1518-3335.
2011	FRIEGE, H., FENDEL, A.	Competition of different methods for recovering energy from waste. Waste management & research: the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA Volume 29, Issue 10 Suppl, October 2011, Pages 30-38.

Mais especificamente sobre a geração de energia elétrica por meio do uso da tecnologia WTE (Waste to Energy), utilizando incineração com gaseificação ou geração de vapor, diversas pesquisas e análises foram realizadas pelos autores indicados na Tabela A.4:

Tabela A.4 Processo WTE para geração de energia elétrica

Ano	Autor(es)	Referência
-----	-----------	------------

1994	LIMA, A. X.	Estudo de viabilidade técnico-econômica de uma usina de incineração de resíduos sólidos no ABCD. 1994. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo.
1998	SANTOS, M. A., RODRIGUES, M. G.	Environmental issues arising from the thermopower generation in Brazil. Energy Policy, Volume 26, Number 14, December 1998 , pp. 1065-1070.
2003	HOLANDA, M. R.	Perspectivas da cogeração com resíduos sólidos municipais sob a ótica da gestão ambiental. 2003. Tese (Doutorado em Transmissão e Conversão de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá, 2003.
2005a	CONSONNI, S., GIUGLIANO, M., GROSSO, M.	Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste. Part A: mass and energy balances. Waste Management 25 (2005) 123-135.
2005b	CONSONNI, S., GIUGLIANO, M., GROSSO, M.	Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste. Part B: Emission and cost estimates. Waste Management 25 (2005) 137-148.
2005	SABIÁ, J. R., DUARTE, P. H. G., MARTINS, M. C. B., ALVES JUNIOR, F. T.	Estudo da geração de energia a partir dos resíduos sólidos. ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. 23º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande/MS, III-045, 18 a 23 de setembro de 2005.
2006	BARJA, G. J. A.	A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, 2006.
2008	BRASIL. Ministério de Minas e Energia. EPE Empresa de Pesquisa Energética.	NOTA TÉCNICA DEN 06/08. Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. Rio de Janeiro, Novembro de 2008.
2008	GIUGLIANO, M., GROSSO, M., RIGAMONTI L.	Energy recovery from municipal waste: a case study for middle-sized Italian district. Waste Management 28 (2008) 39-50.
2008	MARANHO, A. S.	Potencial de geração de energia elétrica a partir de

		resíduos sólidos urbanos para Bauru e região. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Bauru, 2008.
2010	CASTALDI, M. J., THEMELIS, N. J.	The case for increasing the global capacity for waste to energy (WTE). Waste Biomass Valor (2010) 1: 91-105.
2010	JAMASB, T., NEPAL R., KIAMIL, H.	Waste to energy in the UK: policy and institutional issues. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Energy 163. May 2010. Issue EN2. Pages 79-86.
2010	PAVAN, M. C. O.	Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil. 2010. Tese (Doutorado em Energia) - Universidade de São Paulo, PPGE/USP, 2010.
2011	GIUGLIANO et al	Material and energy recovery in integrated waste management systems. An evaluation based on life cycle assessment. Waste Management 31 (2011) 2092-2101.
2012	TABASOVA, A. et al	Waste-to-energy technologies: impact on environment. Energy xxx (2012) 1-10.

Um item fundamental para a formação e o desenvolvimento do parque de geração de energia, com qualquer tecnologia, é constituído pelas políticas públicas e pelos aspectos regulatórios do setor, como guia e orientador das atividades, devendo estabelecer as regras e limites para a área, de forma que possa redundar em investimentos e inserção de mais energia elétrica no sistema para atendimento da demanda e das perspectivas de crescimento do País. Normalmente esse papel cabe a uma agência independente, não subordinada aos interesses imediatos do governo, com o poder de realizar também auditorias e inspeções, penalizações e suspensões.

Diversos enfoques foram pesquisados para análise de suas influências e impactos nas políticas e fomentos para geração de energia e nesse contexto podem ser citados os trabalhos da Tabela A.5:

Tabela A.5 Aspectos regulatórios

Ano	Autor(es)	Referência
1989	HAY, D. J.	Incineration of municipal solid waste regulatory initiatives in Canada. Environmental Impact Assessment Review 9 (1989) 291-304.
1989	SANTOLERI, J. J.	Incineration: introducing the technical issues. Environmental Impact Assessment Review 9 (1989), 163-180.
1996	[ANONYMOUS]	EPA releases air rules for WTE facilities. WORLD WASTES Volume: 39: 81-81. Published: JAN 1996.
1996	SAWELL, S. A., HETHERINGTON, S. A., CHANDLER, A. J.	An overview of municipal solid waste management in Canada. Waste Management, Vol. 16, Nos 5/6, pp. 351-359, (1996).
1997	MIRANDA, M. L., HALE, B.	Waste not, want not: the private and social costs of waste-to-energy production. Energy Policy, Vol. 25, No. 6, pp. 587-600, 1997.
1997	MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATOR RESIDUES	Chapter 2 – Municipal solid waste. Studies in Environmental Science Volume 67, 1997, Pages 15–57.
2003a	OLIVEIRA, D. A. S.	Desenvolvimento, energia e sustentabilidade: uma perspectiva do relatório Brundtland. 2003. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2003.
2003	PELLEGRINO, S. A. C.	Gestão de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte: sistematização de diretrizes e procedimentos. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, 2003.
2005	BRASIL Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Ciência e Tecnologia,	Diretrizes de Política de Agroenergia 2006-2011. Brasília, 2005.

	Ministério de Minas e Energia, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior	
2005	LEME, R. M.	Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos e uso de água na produção de eletricidade com biomassa de cana de açúcar. 2005. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2005.
2006	BARJA, G. J. A.	A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, 2006.
2006	COSTA, C. V.	Políticas de promoção de fontes novas renováveis para geração de energia elétrica: lições da experiência europeia para o caso brasileiro. 2006. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
2006	HAUSER, P. D.	Criação de valor e desenvolvimento sustentável: uma avaliação da incineração de resíduos sólidos municipais em projetos enquadráveis no mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto. 2006. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
2007	LINO, I. C.	Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: comparativa de métodos. 2007. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, 2007.
2008	QUEIROZ, G. M. O. R.	Análise de dificuldades técnicas e econômicas na inserção da cogeração pelas usinas sucroalcooleiras. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2008.
2008	TAKENAKA, E. M. M.	Políticas públicas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos no município de Presidente Prudente – SP. 2008. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual

		Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, 2008.
2008	THEMELIS, N. J.	The government role for sustainable waste management in North America. Air and Waste Management Association - 27th Annual International Conference on Thermal Treatment Technologies 2008. Volume 1, 2008, Pages 375-377. Conference: 27th Annual International Conference on Thermal Treatment Technologies 2008; Montreal, QC. 12 May 2008 through 16 May 2008; Code 73940.
2009	ROCHA, L. F.	Avaliação do risco e dos aspectos econômicos associados à conexão de geração distribuída no planejamento de sistemas de distribuição. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
2009	SOARES, F. H. N.	Operação de usinas térmicas contratadas por disponibilidade: uma avaliação dos impactos setoriais sob as óticas técnica, econômica e financeira. 2009. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2009.
2010	CHENG, H., HU, Y.	Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy: current and future practices in China. Bioresource Technology 101 (2010) 3816-3824.
2010	FURTADO, M. C.	Avaliação das oportunidades de comercialização de novas fontes de energias renováveis no Brasil. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2010.
2010	IKUTA, F. A.	Resíduos sólidos urbanos no Pontal do Paranapanema – SP: inovação e desafios na coleta seletiva e organização de catadores. 2010. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, 2010.
2010	JAMASB, T., NEPAL R., KIAMIL, H.	Waste to energy in the UK: policy and institutional issues. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Energy 163.

		May 2010. Issue EN2. Pages 79-86.
2010	MARTINS, J. M. C.	Estudo dos principais mecanismos de incentivo à fontes renováveis alternativas de energia no setor elétrico. 2010. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2010.
2010	SILVA, L. D. O.	Sustentabilidade do etanol brasileiro: uma proposta de princípios e critérios. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
2011	SOUSA, A. P.	Análise de risco e retorno para empreendimentos de geração elétrica pós-marco regulatório de 2004. 2011. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto COPPEAD de Administração, 2011.

O processamento dos resíduos sólidos urbanos por meio de incineração, buscando inicialmente redução de volume pela queima total dos resíduos (MB – Mass Burning) e eventual aproveitamento dos sólidos residuais do processo, como originalmente no Japão, devido à falta de espaço físico para disposição em aterros, levou em uma fase seguinte ao aproveitamento da geração de gases na combustão (gaseificação) e da geração de calor (aquecimento de água e geração de vapor) para a geração de energia elétrica.

Esse processo é conhecido como WTE – Waste to Energy. Os sólidos residuais podem eventualmente ser aproveitados para reciclagem e as cinzas podem ter disposição final em aterros ou aproveitamento em materiais de construção (blocos). Essa energia elétrica gerada é considerada em geral como “*green power*”.

Dessa forma, o processo WTE passou a ser considerado como uma fonte de energia renovável ou mesmo como uma fonte renovável de energia e tem sido bastante

pesquisado nos últimos anos, pois sua aplicação oferece vantagens em relação aos aterros (em termos de eliminação da emissão de gases de efeito estufa, economia de espaço físico e redução de problemas de saúde pública) e seus aspectos tecnológicos, econômicos e ambientais oferecem ainda inúmeras possibilidades de pesquisa. Podem ser citados os trabalhos envolvendo diversos aspectos do processo na Tabela A.6:

Tabela A.6 Processo WTE como fonte renovável de energia

Ano	Autor(es)	Referência
1989	SANTOLERI, J. J.	Incineration: introducing the technical issues. Environmental Impact Assessment Review 9 (1989), 163-180.
1990	YAKOWITZ, H.	Incineration of municipal solid waste: scientific and technical evaluation of the state-of-the-art by an expert panel. Resources, Conservation and Recycling, 4 (1990) 241-251.
1991	KORZUN, E.A.	Recycling energy values of municipal solid waste. JOURNAL OF ENERGY ENGINEERING-ASCE Volume: 117: 133-150 . DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9402(1991)117:3(133) . Published: DEC 1991 .
1993	CHARLES, M. A.	New trends in Waste-to-energy. Waste Age Volume 24, Issue 11, November 1993, 3p.
1994	HAHN, J., JONES, K.	Waste-to-energy: the next step in the hierarchy after the 3-Rs. Proceedings of the 16th Biennial 1994 National Waste Processing Conference, June 5, 1994 - June 8, 1994; p 11-17, 1994; ISSN: 01454781; ISBN-10: 079181209X, ISBN-13: 9780791812099.
1996	LEA, W. R.	Plastic incineration versus recycling: a comparison of energy and landfill cost savings. JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS Volume: 47: 295-302 . DOI: 10.1016/0304-3894(95)00117-4 . Published: MAY 1996 .
2002	OLIVEIRA, L. B.	Lixo que vale ouro . Governo do Rio de Janeiro. Secretaria de Ciência e Tecnologia. FAPERJ - Fundação Carlos Chagas

		Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro. Publicado em 26/8/2002. Disponível em < http://www.faperj.br/boletim_interna.phtml?obj_id=352 >. Acessado em Agosto de 2005.
2002	THEMELIS, N. J., KIM, Y. H., BRADY, M. H.	Energy recovery from New York City municipal solid wastes. WASTE MANAGEMENT & RESEARCH Volume: 20: 223-233 . Published: JUN 2002 .
2002	TRIANDOPOLIS JUNIOR, J.	Utilização de termelétricas na geração de energia em uma unidade de refino da Petrobrás: uma estratégia logística para aumento de eficiência empresarial. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
2003	BARLOW PROJECTS INC.	Waste-to-energy project powered by ingenuity. AFE Facilities Engineering Journal, v 30, n 3, p 29-30, May/June 2003; ISSN: 10885900.
2003	OLIVEIRA, L. B., ROSA, L. P.	Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economic benefits. Energy Policy 31 (2003) 1481-1491.
2004	ADRIAN, C.	A hunger for new energy sources could revive the outlook for waste-to-energy plants. Recycling Today, v 42, n 5, p 94-100, May 2004; ISSN: 10966323.
2004	THEMELIS, N., MILLRATH, K.	The case for WTE as a renewable source of energy. Proceedings of 12th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC12, May 17, 2004 - May 19, 2004, p 15-22, 2004, ISBN-10: 079183736X, ISBN-13: 9780791837368.
2005	BOTURA, C. A.	Desenvolvimento de um sistema de incineração de resíduos sólidos para utilização com combustão pulsante. 2005. Tese (Doutorado em Transmissão e Conversão de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá, 2005.
2005	CAIXETA, D. M.	Geração de energia elétrica a partir da incineração de lixo urbano: o caso de Campo Grande/MS. 2005. Monografia (Especialização do Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, área de

		concentração em resíduos sólidos) - Universidade de Brasília, 2005.
2006	BAHOR, B.	Waste-to-energy - a source of clean renewable energy and a process for reducing greenhouse gas and fine particulate emissions. Proceedings of the 14th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC14, v 2006, May 1, 2006 - May 3, 2006; p 3, 2006, ISBN-10: 0791842045, ISBN-13: 9780791842041.
2006	BERENYI, E.	Waste-to-energy has its time finally come (again)? Proceedings of the 14th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC14, May 1, 2006 - May 3, 2006; v 2006, p 15, 2006, ISBN-10: 0791842045, ISBN-13: 9780791842041.
2006	HAUSER, P. D.	Criação de valor e desenvolvimento sustentável: uma avaliação da incineração de resíduos sólidos municipais em projetos enquadráveis no mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto. 2006. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
2006	MORGADO, T. C., FERREIRA, O. M.	Incineração de resíduos urbanos, aproveitamento na cogeração de energia: estudo para a região metropolitana de Goiânia. Goiânia: UCG, 2006.
2007	MARRECO, J. M.	Planejamento de longo prazo da expansão da oferta de energia elétrica no Brasil sob uma perspectiva da teoria das opções reais. 2007. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
2007	ROSE, J.	New opportunities for waste-to-energy projects. A and WM, 26th Annual International Conference on Incineration and Thermal Treatment Technologies, IT3; May 14, 2007 - May 18, 2007; ISBN-13: 9780923204822.
2007	STENGLER, E.	Setting the stage for waste-to-energy in Europe. Euroheat and Power (English Edition), v 4, n 1, p 22-24, 2007; ISSN: 16130200.
2008	POLLETO FILHO, J. A.	Viabilidade energética e econômica da incineração de

		resíduo sólido urbano considerando a segregação para reciclagem. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Bauru, 2008.
2010	DMITRIJEVAS, C.	Análise de ecoeficiência de técnicas para tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2010.
2010	JAMASB, T., NEPAL, R.	Issues and options in waste management: a social cost-benefit analysis of waste-to-energy in the UK. Resources, Conservation and Recycling, v 54, n 12, p 1341-1352, October 2010; ISSN: 09213449.
2011	BALCAZAR, J. G. C.	Modelagem de ciclos combinados integrados à incineração de resíduos sólidos municipais. 2011. Dissertação (Mestrado em Transmissão e Conversão de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá, 2011.
2011	CLARK, M.	What about small facilities? 19th Annual North American Waste-to-Energy Conference, NAWTEC19, 2011, Pages 151-157. Conference: 19th Annual North American Waste-to-Energy Conference, NAWTEC19; Lancaster, PA; 16 May 2011 through 18 May 2011; Code 89294.
2011	PAVLAS, M., TOUS, M, KLIMEK, P. et al.	Waste incineration with production of clean and reliable energy. CLEAN TECHNOLOGIES AND ENVIRONMENTAL POLICY Volume: 13: 595-605. DOI: 10.1007/s10098-011-0353-5. Published: AUG 2011.

O processo proposto na tese utiliza processo de separação de material reciclável na primeira etapa e processo com tecnologia WTE e geração de vapor na terceira etapa, para geração de energia elétrica. A primeira etapa evita que materiais

valiosos sigam para a terceira etapa e se percam no processo de incineração. Dessa forma, ambas as etapas são muito compatíveis e complementares.

Estudos sobre isso foram desenvolvidos pelos autores dos trabalhos indicados na Tabela A.7:

Tabela A.7 Compatibilidade de reciclagem e processo WTE

Ano	Autor(es)	Referência
1990	KATZMAN, L.	Waste-to-energy plants. Recycling's perfect partner. World Wastes, v 33, n 1, Jan 1990; ISSN: 07456921.
1998	CHANG, Y. H., CHEN, W. C., CHANG, N. B.	Comparative evaluation of RDF and WTE incineration. Journal of Hazardous Materials 58 (1998) 33-45.
2003	OLIVEIRA, L. B., ROSA, L. P.	Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economic benefits. Energy Policy 31 (2003) 1481-1491.
2006	BRASIL Ministério da Saúde. Brasil. Fundação Nacional de Saúde.	Manual de saneamento . 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p. ISBN: 85-7346-045-8 1.
2006	KISER, J.	Reexamining the recycling and WTE compatibility issue. Proceedings of the 14th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 14, May 1, 2006 - May 3, 2006 v 2006, p 19-20, ISBN-10: 0791842045, ISBN-13: 9780791842041.
2008	POLLETO FILHO, J. A.	Viabilidade energética e econômica da incineração de resíduo sólido urbano considerando a segregação para reciclagem . 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Bauru, 2008.
2008	DE WAART, H. A. A. M.; VAN BERLO, M.	A fourth generation WTE facility designed for energy and materials recovery: the Amsterdam AEB waste-fired power plant. Proceedings of the 16th Annual North American Waste to

		Energy Conference, NAWTEC 16, p 235-244, 2008, ISBN-10: 0791842932, ISBN-13: 9780791842935.
2010	JAMASB, T., NEPAL, R.	Issues and options in waste management: a social cost-benefit analysis of waste-to-energy in the UK. Resources, Conservation and Recycling, v 54, n 12, p 1341-1352, October 2010; ISSN: 09213449.
2010	MORRIS, J.	Burn or bury North America MSW? LCAs provide answers for climate impacts & carbon neutral power potential. Environmental Science & Technology 2010, 44, 7944-7949.

O processo de reciclagem cresce em importância em escala mundial e a conscientização a respeito do segundo R (reciclar) faz aumentar o volume de materiais selecionados, separados e enviados pela cadeia de logística reversa para novo aproveitamento, com significativa economia de material e energia.

A separação dos materiais, no processo proposto nesta tese, é feita na primeira etapa, de forma manual, promovendo o pleno emprego e a inclusão social necessários no País.

Estudos feitos a respeito da reciclagem incluem os autores dos trabalhos na Tabela A.8:

Tabela A.8 Reciclagem

Ano	Autor(es)	Referência
[nd]	PEREIRA A. S., OLIVEIRA L. B., REIS M. M.	Waste recycling and the sustainable city. Transactions of the Wessex Institute. Pages: 1-8. Paper DOI: 10.2495/URS000201.
1998	MELDONIAN, N. L.	Alguns aspectos do lixo urbano no Estado de São Paulo e considerações sobre a reciclagem do alumínio e do papel.

		1998. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 1998.
2004	STREB, C. S.	Resíduo sólido domiciliar: potencial de minimização e potencial de conservação de energia com reciclagem em municípios da Região Metropolitana de Campinas. 2004. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2004.
2005	SAVI, J.	Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos em Adamantina-SP: análise de viabilidade da usina de triagem de RSU com coleta seletiva. 2005. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista UNESP, 2005.
2008	BRASIL. Ministério de Minas e Energia. EPE Empresa de Pesquisa Energética.	NOTA TÉCNICA DEN 06/08. Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. Rio de Janeiro, Novembro de 2008.
2008	BRIDI, E.	Resíduos sólidos urbanos – uma proposta para otimização dos serviços de coleta e da disposição final. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia Civil, 2008.
2010	SILVA, N. R.	Análise econômica da triagem dos resíduos sólidos urbanos coletados por uma associação de São Manuel – SP. 2010. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu. 2010.

O principal enfoque desta tese é investigar os aspectos de viabilidade econômico-financeira das instalações de processamento de resíduos sólidos urbanos em função do contexto de sua implantação e operação.

Considerando que o processo com tecnologia WTE é utilizado em sua terceira etapa, seus aspectos econômicos fazem parte integrante da pesquisa e influenciam seus resultados.

Estudos efetuados por diversos autores sobre esse enfoque são encontrados nos trabalhos da Tabela A.9:

Tabela A.9 Aspectos econômicos do processo WTE

Ano	Autor(es)	Referência
1994	LIMA, A. X.	Estudo de viabilidade técnico-econômica de uma usina de incineração de resíduos sólidos no ABCD. 1994. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, 1994.
1997	MIRANDA, M. L., HALE, B.	Waste not, want not: the private and social costs of waste-to-energy production. Energy Policy, Vol. 25, No. 6, pp. 587-600, 1997.
1998	HOLANDA, M. R.	Avaliação do potencial de cogeração a partir de resíduos sólidos municipais na região de Guaratinguetá. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá, 1998.
2002	TRIANDOPOLIS JUNIOR, J.	Utilização de termelétricas na geração de energia em uma unidade de refino da Petrobrás: uma estratégia logística para aumento de eficiência empresarial. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
2003	HOLANDA, M. R.	Perspectivas da cogeração com resíduos sólidos municipais sob a ótica da gestão ambiental. 2003. Tese (Doutorado em Transmissão e Conversão de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia

		Mecânica de Guaratinguetá, 2003.
2003	KLEIN A., ZHANG H., THEMELIS, N.J.	Analysis of a waste-to-energy power plant with CO ₂ sequestration. North American Waste to Energy Conference (NAWTEC 11) 11 Proceedings, ASME International, Tampa FL (2003) p. 263-270, 2003.
2003	LEHMAN, A., SHABAT, D.	How public sector agencies and governments responsible for Waste-To-Energy (WTE) operations maintain cost-effective and environmentally sound WTE operations through active technical, financial, and environmental oversight. Proceedings of the 11th Annual North American Waste to Energy Conferences (NAWTEC11), April 28, 2003 - April 30, 2003;p 3-7, 2003; ISBN-10: 0791836657, ISBN-13: 9780791836651.
2003	OLIVEIRA, L. B., ROSA, L. P.	Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economic benefits. Energy Policy 31 (2003) 1481-1491.
2004	HENRIQUES, R. M.	Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
2005	SAVI, J.	Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos em Adamantina-SP: análise de viabilidade da usina de triagem de RSU com coleta seletiva. 2005. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista UNESP, 2005.
2006	BARJA, G. J. A.	A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, 2006.
2006	CLUNIE, J.	Waste-to-energy project economics and financing: a look into the factors influencing the future. Proceedings of the 14th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC14, v 2006, p 59-67, 2006, May 1, 2006 - May 3, 2006; ISBN-10: 0791842045, ISBN-13: 9780791842041.
2006	HAUSER, P. D.	Criação de valor e desenvolvimento sustentável: uma avaliação da incineração de resíduos sólidos municipais em projetos enquadráveis no mecanismo de desenvolvimento

		limpo do Protocolo de Quioto. 2006. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
2007	LAUBER, J. D.	Economic and technical viability of various MSW, WTE waste to energy thermal treatment processes. Proceedings of the Air and Waste Management Association's Annual Conference and Exhibition, AWMA. Volume 7, 2007, Pages 4969-4970. Air and Waste Management Association - 100th Annual Conference and Exhibition of the Air and Waste Management Association 2007; Pittsburgh, PA; 26 June 2007 through 29 June 2007.
2007	MARRECO, J. M.	Planejamento de longo prazo da expansão da oferta de energia elétrica no Brasil sob uma perspectiva da teoria das opções reais. 2007. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
2008	MARANHO, A. S.	Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos para Bauru e região. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Bauru, 2008.
2008	QUEIROZ, G. M. O. R.	Análise de dificuldades técnicas e econômicas na inserção da cogeração pelas usinas sucroalcooleiras. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2008.
2008	RODRIGUES, P. S. H.	Análise de viabilidade econômica de um aterro sanitário para cidade de pequeno porte. 2008. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Civil de Ilha Solteira, 2008.
2009	SOARES, F. H. N.	Operação de usinas térmicas contratadas por disponibilidade: uma avaliação dos impactos setoriais sob as óticas técnica, econômica e financeira. 2009. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2009.

2010	CHENG, H., HU, Y.	Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy: current and future practices in China. <i>Bioresource Technology</i> 101 (2010) 3816-3824.
2010	DMITRIJEVAS, C.	Análise de ecoeficiência de técnicas para tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2010.
2010	FURTADO, M. C.	Avaliação das oportunidades de comercialização de novas fontes de energias renováveis no Brasil. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2010.
2010	JAMASB, T., NEPAL, R.	Issues and options in waste management: a social cost-benefit analysis of waste-to-energy in the UK. <i>Resources, Conservation and Recycling</i> , v 54, n 12, p 1341-1352, October 2010; ISSN: 09213449.
2010	OLIVEIRA, F. L. P., LEMME, C. F., LEAL, R. P. C.	Custo de capital próprio e adicionalidade em projetos de energia renovável no mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Kyoto. <i>Relatórios COPPEAD</i> ; 391. Rio de Janeiro, UFRJ/COPPEAD, 2010. 28p. 27cm. ISBN 978-85-7508-079-5. ISSN 1518-3335.
2011	BALCAZAR, J. G. C.	Modelagem de ciclos combinados integrados à incineração de resíduos sólidos municipais. 2011. Dissertação (Mestrado em Transmissão e Conversão de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá, 2011.
2011	PANEPINTO, D., GENON, G.	Carbon dioxide balance and cost analysis for different scenarios of solid waste management. <i>ECOSYSTEMS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT VIII</i> . Book Series: Search Institute Series on Developmentally Attentive Community and Society. Pages: 445-456. DOI: 10.2495/ECO110391. Published: 2011. Conference: 8th International Conference on Ecosystems and Sustainable Development (ECOSUD 2011).

		Location: Univ. Alicante, Alicante, SPAIN. Date: APR 13-15, 2011.
--	--	---

Todo empreendimento tem riscos próprios e de relacionamento com o mercado. A implantação e a operação das unidades de processamento de resíduos sólidos urbanos não são exceções e também demandam análises de riscos para determinação de sua viabilidade e de sua segurança operacional. Uma vez estabelecidos em natureza e porte, sua gestão é parte integrante da administração do empreendimento.

Estudos a esse respeito estão indicados na Tabela A.10:

Tabela A.10 Riscos do empreendimento

Ano	Autor(es)	Referência
2010	NUNES, T. C. S.	Indicadores contábeis como medidas de risco e retorno diferenciados de empresas sustentáveis: um estudo no mercado brasileiro. 2010. Dissertação (Mestrado em Controladoria e Contabilidade) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, 2010.
2011	HUANG, W., XU, W.; QU, Z.; YUN, S.	Risk management in BOT projects of WTE plant. 2011. 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, MACE 2011 - Proceedings, p 3401-3406.
2011	SOUSA, A. P.	Análise de risco e retorno para empreendimentos de geração elétrica pós-marco regulatório de 2004. 2011. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto COPPEAD de Administração, 2011.

O setor sucroalcooleiro é considerado como um setor agroindustrial histórico no desenvolvimento do País e tem uma abrangência social e econômica significativa, de forma integrada às comunidades em que opera. Seus produtos principais são açúcar para comercialização interna e externa e etanol, como combustível para veículos automotivos na forma de energia renovável.

Um aspecto tradicional das usinas sucroalcooleiras tem sido a cogeração de energia elétrica a partir da combustão do bagaço de cana (biomassa), sendo parte dela utilizada nas usinas e o excedente repassado à rede. Essa etapa da produção se assemelha ao processo WTE de incineração de massa e apresenta diversos aspectos paralelos relevantes que foram estudados e se encontram na Tabela A.11:

Tabela A.11 O setor sucroalcooleiro

Ano	Autor(es)	Referência
1999	LOPEZ, L. A.	Desenvolvimento sustentável: uma análise do álcool como alternativa energética. 1999. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 1999.
2001	CORREA NETO, V.	Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana de açúcar e gás natural. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.
2004	SOUZA, Z. J.	Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: entraves estruturais e custos de transação. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção – Gestão da Produção) - Universidade Federal de São Carlos, 2004.
2007	OLIVEIRA, J. G.	Perspectivas para a cogeração com bagaço de cana de açúcar: potencial do mercado de carbono para o setor sucroalcooleiro paulista. 2007. Dissertação (Mestrado em

		Engenharia de Produção) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2007.
2008	NASCIMENTO, G. A.	Aproveitamento de bagaço em usinas de álcool e açúcar: venda, queima ou hidrólise. 2008. Dissertação (Mestrado em Transmissão e Conversão de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá, 2008.
2008	QUEIROZ, G. M. O. R.	Análise de dificuldades técnicas e econômicas na inserção da cogeração pelas usinas sucroalcoleiras. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2008.
2008	SEABRA, J. E. A.	Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral de biomassa de cana de açúcar no Brasil. 2008. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2008.
2009	DANTAS FILHO, P. L.	Análise de custos na geração de energia com bagaço de cana de açúcar: um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo. 2009. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, 2009.
2009	ERNESTO, V. A. R. T.	Caracterização térmica do bagaço de cana de açúcar visando aproveitamento energético. 2009. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química de Araraquara, 2009.
2009	SILVA, C. R. U.	Balanco de energia e das emissões de gases de efeito estufa da cadeia produtiva do etanol brasileiro. 2009. Dissertação de Mestrado (Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2009.
2010	DANTAS, D. N.	Uso da biomassa de cana de açúcar para geração de energia elétrica: análise energética, exergética e ambiental de sistemas de cogeração em sucroalcoleiras do interior paulista. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia

		Ambiental) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2010.
2010	ROCHA, G.	Análise termodinâmica, termoeconômica e econômica de uma usina sucroalcooleira com processo de extração por difusão. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Ciências Térmicas) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Ilha Solteira, 2010.
2010	SILVA, L. D. O.	Sustentabilidade do etanol brasileiro: uma proposta de princípios e critérios. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

Após o racionamento de energia elétrica em 2001, diversas propostas foram analisadas com a finalidade de contornar, a curto prazo, esse problema de longo prazo. Na época foram também realizados estudos e experimentos práticos a respeito da gaseificação dos resíduos sólidos urbanos, para fins de geração de energia elétrica.

Embora sua aplicação tenha ocorrido em pequena escala na época, o princípio continua válido e ainda oferece amplo campo de aplicação, considerando a possibilidade de captação do gás emitido nos inúmeros aterros e lixões existentes no País, além da implantação de novas termelétricas com captação dos gases gerados no processo de combustão. Estudos realizados podem ser citados na Tabela A.12:

Tabela A.12 Gaseificação de resíduos sólidos urbanos

Ano	Autor(es)	Referência
2001	CORREA NETO, V.	Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana de açúcar e gás natural. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências

		em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.
2002	CUNHA, M. E. G.	Análise do setor de saneamento ambiental no aproveitamento energético de resíduos: o caso do município de Campinas – SP. 2002. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2002.
2005	BRITO FILHO, L. F.	Estudos de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
2005	CHINA. GoC/World Bank/GEF.	Consultation on Biomass Power Generation Technology Improvement. Chinese Academy of Sciences. Guangzhou Institute of Energy Convection (GIEC). China, April 2005.
2005	MENDES, L. G. G.	Proposta de um sistema para aproveitamento energético de um aterro sanitário regional na cidade de Guaratinguetá. 2005. Dissertação (Mestrado em Transmissão e Conversão de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá, 2005.
2005	REAL, J. L. G.	Riscos ambientais em aterros de resíduos sólidos com ênfase na emissão de gases. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
2006	BARROS, D. D.	Modelagem financeira para projetos de tratamento de resíduos sólidos no Brasil, com base no mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto. 2006. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
2006	BORBA, S. M. P.	Análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudo de caso. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
2006	MORGADO, T. C., FERREIRA, O. M.	Incineração de resíduos urbanos, aproveitamento na cogeração de energia: estudo para a região metropolitana de Goiânia. Goiânia: UCG, 2006.
2007	GUEDES, V. P.	Estudos do fluxo de gases através do solo de cobertura de

		aterro de resíduos. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
2007	PIEROBON, L. R. P.	Sistema de geração de energia de baixo custo utilizando biogás proveniente de aterro sanitário. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica – Energia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2007.
2008	RIBEIRO, L. A.	Gestão dos resíduos sólidos urbanos com geração de energia: o projeto Ecoparque de Porto Alegre. 2008. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS, 2008.
2008	RODRIGUES, P. S. H.	Análise de viabilidade econômica de um aterro sanitário para cidade de pequeno porte. 2008. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Civil de Ilha Solteira, 2008.
2009	HENRIQUES, R. M.	Potencial para geração de energia elétrica no Brasil com resíduos de biomassa através da gaseificação. 2009. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
2010	HOFFMANN, B. S.	O ciclo combinado com gaseificação integrada e a captura de CO₂: uma solução para mitigar as emissões de CO ₂ em termelétricas a carvão em larga escala a curto prazo? 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
2010	TARAZONA, C. F.	Estimativa de produção de gás em aterros de resíduos sólidos urbanos. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
2011	FIGUEIREDO, N. J. V.	Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica: estudo de caso. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, PPGE/USP, 2011.
2012	TANIGAKI, N., MANAKO, K., OSADA, M.	Co-gasification of municipal solid waste and material recovery in a large-scale gasification and melting system. Waste Management 32 (2012) 667-675.

A comparação entre os processos de geração de energia elétrica por meio da gaseificação dos resíduos sólidos urbanos e do processo WTE, com incineração, passou a ser bastante estudada e as conclusões variam conforme o contexto em que as análises são feitas.

Ambos apresentam vantagens e desvantagens e as decisões sobre a implantação de um ou de outro sistema depende do contexto em que a problemática do lixo está inserida e dos fatores críticos para a tomada de decisão. Dentre os estudos foram selecionados os da Tabela A.13:

Tabela A.13 Comparação entre gaseificação e processo WTE

Ano	Autor(es)	Referência
1998	HOLANDA, M. R.	Avaliação do potencial de cogeração a partir de resíduos sólidos municipais na região de Guaratinguetá. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá, 1998.
2002	TRIANDOPOLIS JUNIOR, J.	Utilização de termelétricas na geração de energia em uma unidade de refino da Petrobrás: uma estratégia logística para aumento de eficiência empresarial. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
2003	KLEIN, A., THEMELIS, N.	Energy Recovery from Municipal Solid Wastes by Gasification. Proceedings of the 11th Annual North American Waste to Energy Conferences (NAWTEC 11), April 28, 2003 - April 30, 2003;p 241-252, 2003; ISBN-10: 0791836657, ISBN-13: 9780791836651.
2004	HENRIQUES, R. M.	Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos:

		uma abordagem tecnológica. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
2008	MARANHO, A. S.	Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos para Bauru e região. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Bauru, 2008.

Nos aterros, considerando sua enorme quantidade de emissão de gases de efeito estufa (GEE), que inicialmente era queimada em *flare*, seria uma iniciativa natural efetuar a captação dos gases e utilizá-los no processo de geração de energia elétrica, por meio de turbina a gás.

Três problemas ainda permanecem em aberto: todo o volume de lixo acumulado e aterrado, o chorume resultante e poluente e, após a desativação do aterro, um longo período de controle e manutenção, com os devidos custos associados e até agora ignorados. Além disso, o espaço físico ocupado pelo aterro fica imprestável para qualquer outra utilização.

Segundo SAWELL, HETHERINGTON e CHANDLER (1996), o material depositado em aterros pode ser considerado como recurso energético futuro, que pode ser extraído posteriormente (“mineração”) e transformado em energia em uma instalação de incineração. No caso do processo WTE, com incineração dos resíduos, sua principal vantagem é a eliminação física do lixo, dia após dia, sem acúmulos ou efeitos secundários operacionais.

Muitos estudos foram e continuam sendo realizados sobre a comparação das duas opções de disposição final, podendo ser citados os da Tabela A.14:

Tabela A.14 Comparação entre aterros e processo WTE

Ano	Autor(es)	Referência
2002	THEMELIS, N. J., KIM, Y. H., BRADY, M. H.	Energy recovery from New York City municipal solid wastes. WASTE MANAGEMENT & RESEARCH Volume: 20: 223-233. Published: JUN 2002.
2004	DIJKGRAAF, E., VOLLEBERGH, H. R. J.	Burn or bury? A social cost comparison of final waste disposal methods. Ecological Economics Volume 50, Issue 3-4, 1 October 2004, Pages 233-247.
2005	KRISHNAN, N., THEMELIS, N. J.	Life cycle environmental impacts of two options for MSW management in New York City: modern landfilling vs waste to energy. NAWTEC 13: Proceedings of the 13th Annual North American Waste to Energy Conference. Pages: 193-201. Published: 2005. Conference: 13th Annual North American Waste to Energy Conference. Location: Orlando, FL. Date: MAY 23-25, 2005.
2006	BRASIL Ministério da Saúde. Brasil. Fundação Nacional de Saúde.	Manual de saneamento. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p. ISBN: 85-7346-045-8 1.
2006	HAUSER, P. D.	Criação de valor e desenvolvimento sustentável: uma avaliação da incineração de resíduos sólidos municipais em projetos enquadráveis no mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto. 2006. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
2006	RUBERG, C.	A destinação dos resíduos sólidos domiciliares em megacidades: o caso de São Paulo. 2006. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2006.
2007	STENGLER, E.	Setting the stage for waste-to-energy in Europe. Euroheat and Power (English Edition), v 4, n 1, p 22-24, 2007; ISSN: 16130200.
2008	ABBAS, J. E.	A problemática econômica e geográfica em que se inserem a gestão dos resíduos sólidos domiciliares e os modernos

		métodos para sua incineração. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo USP, 2008.
2008	POLLETO FILHO, J. A.	Viabilidade energética e econômica da incineração de resíduo sólido urbano considerando a segregação para reciclagem. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Bauru, 2008.
2008	VAN BERLO, M.A.J., DE WAART, H.	Unleashing the power in waste: comparison of greenhouse gas and other performance indicators for waste-to-energy concepts and landfilling. Proceedings of the 16th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 16, May 19, 2008 - May 21, 2008;p 181-196, 2008, ISBN-10: 0791842932, ISBN-13: 9780791842935.
2009	KAPLAN, P. O., DECAROLIS, J., THORNELOE, S.	Is it better to burn or bury waste for clean energy generation? Environmental Science &Technology 2009, 43, 1711-1717.
2009	PENA, D. S.	Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos. FIESP. Seminário Internacional – Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de São Paulo – 17 de outubro de 2008. Disponível em:< http://www.saneamento.sp.gov.br/bio_apresen/Abertura_FIESP_17out.pdf >. Acessado em Dezembro 2009.
2010	DMITRIJEVAS, C.	Análise de ecoeficiência de técnicas para tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2010.
2010	MORRIS, J.	Burn or bury North America MSW? LCAs provide answers for climate impacts & carbon neutral power potential. Environmental Science &Technology 2010, 44, 7944-7949.
2010	PAVAN, M. C. O.	Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil. 2010. Tese (Doutorado em Energia) - Universidade de São Paulo, PPGE/USP, 2010.

2011	SANTOS, G. G. D.	Análise e perspectivas de alternativas de destinação de resíduos sólidos urbanos: o caso da incineração e da disposição em aterro. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
2011	HEIDERICH, N. N. L.	Modelagem matemática para a localização ótima de usinas de incineração com recuperação energética de resíduos sólidos domiciliares: uma aplicação para Região Metropolitana da Baixada Santista e Litoral Norte. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências, área de concentração Economia Aplicada) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2011.
2012	MONNI, S.	From landfilling to waste incineration: implications on GHG emissions of different actors. International Journal of Greenhouse Gas Control 8 (2012) 82-89.

O processo WTE apresenta duas opções de processamento do material a ser incinerado, considerando ou não a separação prévia dos materiais recicláveis. No caso da separação, a massa a ser incinerada é denominada CDR (combustível derivado dos resíduos) e apresenta maior grau de pureza que o material bruto. Estudos a respeito da diferença entre os processos WTE e CDR podem ser citados na Tabela A.15:

Tabela A.15 Comparação entre processo WTE e opção CDR

Ano	Autor(es)	Referência
1998	CHANG, Y. H., CHEN, W. C., CHANG, N. B.	Comparative evaluation of RDF and WTE incineration. Journal of Hazardous Materials 58 (1998) 33-45.
2005	CONSONNI, S., GIUGLIANO, M., GROSSO, M.	Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste. Part A: mass and energy balances. Waste Management 25 (2005) 123-135.

2005	CONSONNI, S., GIUGLIANO, M., GROSSO, M.	Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste. Part B: Emission and cost estimates. Waste Management 25 (2005) 137-148.
2008	GIUGLIANO, M., GROSSO, M., RIGAMONTI L.	Energy recovery from municipal waste: a case study for middle-sized Italian district. Waste Management 28 (2008) 39-50.
2011	GIUGLIANO, M. et al	Material and energy recovery in integrated waste management systems. An evaluation based on life cycle assessment. Waste Management 31 (2011) 2092-2101.

Diversos estudos foram realizados buscando determinar valores de referência, indicadores de desempenho ou de comportamento das variáveis envolvidas nos processos, além de metodologias de estudo ou modelagem dos processos. Dentre eles podem ser citados os da Tabela A.16:

Tabela A.16 Indicadores de referência e comportamento

Ano	Autor(es)	Referência
1999	CARVALHO, M. F.	Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos. 1999. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 1999.
2001	MARQUES, A. C. M.	Compactação e compressibilidade de resíduos sólidos urbanos. 2001. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2001.
2003	NAKAMURA M., ZHANG H., MILLRATH, K., THEMELIS, N.J.	Modeling of waste-to-energy combustion with continuous variation of the solid waste fuel. IMECE 2003-55342. 2003 International Mechanical Engineering Congress & Exposition. Washington, D.C., November 16-21, 2003.
2005	SANT'ANA, P. H. M.	Análise prospectiva de tecnologias de energia: validação e análises de uma consulta Delphi com especialistas do Brasil.

		2005. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2005.
2005	VESPA, I. C. G.	Características minerais e energéticas do lixo urbano em processos de compostagem e biodigestão anaeróbia. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, 2005.
2006	GONÇALVES, J. E.	Caracterização química e energética de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de <i>Eucalyptus grandis</i>. 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, 2006.
2007	ALMEIDA, S.	Estudo térmico e caracterização química de amostras de resíduos sólidos de aterro sanitário. 2007. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química, 2007.
2007	CALLE, J. A. C.	Comportamento geomecânico de resíduos sólidos urbanos. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
2007	FELLNER, J., CENCIC, O., RECHBERGER, H.	A new method to determine the ratio of electricity production from fossil and biogenic sources in waste-to-energy plants. Environmental Science & Technology 2007, 41, 2579-2586.
2009	LORE, A., OSWALD, K.	Benchmarking mass burn WTE facility performance: how does your facility measure up? Proceedings of the 17th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 17, May 18, 2009 - May 20, 2009, p 43-62, 2009, ISBN-13: 9780791848807.
2010	GONÇALVES, J. E.	Avaliação energética e ambiental de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de <i>Eucalyptus grandis</i>. 2010. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, 2010.

2010	SCHULER, A. R.	Análise do comportamento de um aterro municipal de resíduos sólidos urbanos instrumentado. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
2011	SOARES, E. L. S. F.	Estudo da caracterização gravimétrica e poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2011.
2011	TOUS, M. et al.	Waste-to-energy plant integrated into existing energy producing system. Chemical Engineering Transactions Volume 25, 2011. 501-506.

Os diferentes processos podem apresentar diferentes condições de comportamento em função do relacionamento das variáveis envolvidas e isso normalmente leva à determinação dos pontos críticos de processo, estabelecendo os limites de operação e de desempenho para cada tipo de processamento dos resíduos sólidos. Estudos realizados sobre esse assunto estão indicados na Tabela A.17:

Tabela A.17 Melhorias de processo

Ano	Autor(es)	Referência
1994	HAHN, J., JONES, K.	Waste-to-energy: the next step in the hierarchy after the 3-Rs. Proceedings of the 16th Biennial 1994 National Waste Processing Conference, June 5, 1994 - June 8, 1994; p 11-17, 1994; ISSN: 01454781; ISBN-10: 079181209X, ISBN-13: 9780791812099.
1996	SUE, M.	Performance characteristics of waste-to-energy system utilizing steam-injected gas turbine. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part B, v 62, n 597, p 2013-2020, May 1996; ISSN: 03875016; Publisher: JSME.

2003	BARLOW PROJECTS INC.	Waste-to-energy project powered by ingenuity. AFE Facilities Engineering Journal, v 30, n 3, p 29-30, May/June 2003; ISSN: 10885900.
2003	ZWAHR, H.	Ways to improve the efficiency of waste to energy plants for the production of electricity, heat and reusable materials. NAWTEC 11: Proceedings of the 11th Annual North American Waste to Energy Conference. Pages: 159-172. Published: 2003. Conference: 11th Annual North American Waste Energy Conference. Location: Tampa, FL. Date: APR 28-30, 2003.
2007	CASTRO, D., SAMPSON, L.	The Lee County WTE Expansion project building a new WTE unit in the 21 st century. Proceedings of the 15th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 15, May 21, 2007 - May 23, 2007; p 97-105, 2007, ISBN-10: 0791847896, ISBN-13: 9780791847893.
2007	GESELL, G., CLARK, M.	Grate and boiler technology assessment for a new WTE plant in the U.S. Proceedings of the 15th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 15, May 21, 2007 - May 23, 2007; p 53-63, 2007, ISBN-10: 0791847896, ISBN-13: 9780791847893.
2008	DE WAART, H. A. A. M.; VAN BERLO, M.	A fourth generation WTE facility designed for energy and materials recovery: the Amsterdam AEB waste-fired power plant. Proceedings of the 16th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 16, p 235-244, 2008, ISBN-10: 0791842932, ISBN-13: 9780791842935.
2008	THEMELIS, N.	Old and novel Waste-To-Energy (WTE) technologies from a reaction engineering perspective. Air and Waste Management Association - 27th Annual International Conference on Thermal Treatment Technologies 2008, May 12, 2008 - May 16, 2008; v 2, p 489-499, 2008, ISBN-13: 9781605603797.
2009	POGGIO, A., GRIECO, E.	Simulation of the influence of flue gas cleaning system on the energetic efficiency of a waste-to-energy plant. Applied Energy 86 (2009), 1517-1523.
2009	THEMELIS, N., RESHADI,	Potential for reducing the capital costs of WTE facilities.

	S.	Proceedings of the 17th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 17. Chantilly, VA, United States. May 18, 2009 - May 20, 2009. Annu. North Am. Waste Energy Conf., NAWTEC 2009 Pages:251-257. ISBN-13: 9780791848807.
2010	APEC-VC Asia-Pacific Economic Cooperation Virtual Center for Environmental Technology Exchange.	Future municipal solid waste treatment technologies. Disponível em < http://www.apec-vc.or.jp/j/Waste Treatment Technologies.htm >. Acessado em Outubro de 2010.
2010	POGGIO, A., GRIECO, E.	Influence of flue gas cleaning system on the energetic efficiency and on the economic performance of a WTE plant. Waste Management 30 (2010), 1355-1361.
2011	CONSONNI, S., VIGAN, F.	Material and energy recovery in integrated waste management systems: The potential for energy recovery. Waste Management, v 31, n 9-10, p 2074-2084, September-October 2011; ISSN: 0956053X, E-ISSN: 18792456.
2011	TOUS, M. et al.	Waste-to-energy plant integrated into existing energy producing system. Chemical Engineering Transactions Volume 25, 2011. 501-506.

Dentre os pontos críticos de processo um detalhe importante é dado pela correta preparação da massa antes da incineração em processo WTE, para obtenção de melhor desempenho na combustão e maior eficiência na geração de energia elétrica.

Fatores como o teor de umidade da massa, a dimensão das partículas, a formatação da massa na alimentação da combustão e o fluxo durante o processo de combustão influenciam diretamente o resultado da incineração e a geração de vapor ou de gás para acionamento da turbina e conseqüente eficiência na geração de energia elétrica. O processamento ocorre de forma contínua, com operação em regime de base, sendo influenciado diretamente pelos dados da massa.

Dentre os estudos realizados sobre esse assunto podem ser citados os autores indicados na Tabela A.18:

Tabela A.18 Preparação da massa antes da combustão

Ano	Autor(es)	Referência
2004	HENRIQUES, R. M.	Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
2008	THEMELIS, N.	Old and novel Waste-To-Energy (WTE) technologies from a reaction engineering perspective. Air and Waste Management Association - 27th Annual International Conference on Thermal Treatment Technologies 2008, May 12, 2008 - May 16, 2008; v 2, p 489-499, 2008, ISBN-13: 9781605603797.
2009	FITZGERALD, G. C., THEMELIS, N. J.	Technical and economic impacts of pre-shredding the MSW feed to moving grate WTE boilers. Proceedings of the 17th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 17. Chantilly, VA, United States. May 18, 2009 - May 20, 2009. Annu. North Am. Waste Energy Conf., NAWTEC 2009 Pages: 243-249. ISBN-13: 9780791848807.

As sugestões de melhoria em processos e equipamentos visam sempre a melhoria dos desempenhos, dos resultados e aumento das eficiências apresentadas, especialmente na geração de energia elétrica. No caso de processo WTE, a prevenção de corrosão por operação a altas temperaturas é especialmente importante.

Estudos que podem ser citados sobre melhorias em equipamentos e condições de processamento estão na Tabela A.19:

Tabela A.19 Melhorias de equipamento

Ano	Autor(es)	Referência
2006	LEE, S. H., THEMELIS, N., CASTALDI, M.	Combating corrosion in WTE facilities - Theory and experience. Proceedings of the 14th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 14, v 2006, May 1, 2006 - May 3, 2006; p 175-185, 2006, ISBN-10: 0791842045, ISBN-13: 9780791842041.
2007	CASTRO, D., SAMPSON, L.	The Lee County WTE Expansion project: building a new WTE unit in the 21 st century. Proceedings of the 15th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 15, May 21, 2007 - May 23, 2007; p 97-105, 2007, ISBN-10: 0791847896, ISBN-13: 9780791847893.
2007	KISER, S. D.; ORSINI, T., BAKER, B.	High temperature performance of corrosion resistant boiler weld overlay materials. NACE - International Corrosion Conference Series, March 11, 2007 - March 15, 2007; p 074621-0746216, 2007, Corrosion 2007. ISSN: 03614409.
2008	MATTHES, S.A.et al.	Field test of high temperature corrosion sensors in a waste to energy plant. NACE - International Corrosion Conference Series, March 16, 2008 - March 20, 2008; p 082931-0829320, 2008, Corrosion 2008. ISSN: 03614409.
2008	THEMELIS, N.	Old and novel Waste-To-Energy (WTE) technologies from a reaction engineering perspective. Air and Waste Management Association - 27th Annual International Conference on Thermal Treatment Technologies 2008, May 12, 2008 - May 16, 2008; v 2, p 489-499, 2008, ISBN-13: 9781605603797.
2010	APEC-VC Asia-Pacific Economic Cooperation Virtual Center for Environmental Technology Exchange.	Future municipal solid waste treatment technologies. Disponível em < http://www.apec-vc.or.jp/j/Waste Treatment Technologies.htm >. Acessado em Outubro de 2010.
2010	KAWAHARA, Y., MATSUBARA, Y.	Advanced coating technologies for aggressive corrosion environments in WTE and power plants. Materials Science

		Forum, v 696, November 8, 2010 - November 11, 2010; p 302-307, 2011, High-Temperature Oxidation and Corrosion 2010, ISHOC-10; ISSN: 02555476; ISBN-13: 9783037852354.
2012	VAN CANEGHEM, J., BREMS, A., LIEVENS, P., et al.	Fluidized bed waste incinerators: design, operational and environmental issues. Progress in Energy and Combustion Science xxx (2012) 1-32.

Tanto no desenvolvimento de tecnologias e processos, quanto nos estudos de seus aspectos operacionais e de desempenho, as metodologias de coleta de dados e cálculo representam inovações, por seu desenvolvimento e/ou por sua aplicação inovadora em determinado assunto, que agregam novas possibilidades de projetar e/ou gerir os empreendimentos como um todo e os processos em particular. Muitas vezes, resultados dessas análises permitem explorar o assunto ou determinado campo com mais detalhamento ou profundidade, abrindo novas perspectivas de pesquisa.

Nesse contexto, há diversos campos que podem ser explorados e desenvolvidos no processamento de resíduos sólidos e podem ser citados os trabalhos na Tabela A.20:

Tabela A.20 Metodologias de cálculo

Ano	Autor(es)	Referência
2001	MARQUES, A. C. M.	Compactação e compressibilidade de resíduos sólidos urbanos. 2001. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2001.
2003	NAKAMURA M., ZHANG H., MILLRATH, K., THEMELIS, N.J.	Modeling of waste-to-energy combustion with continuous variation of the solid waste fuel. IMECE 2003-55342. 2003 International Mechanical Engineering Congress & Exposition. Washington, D.C., November 16-21, 2003.

2004	MORALES, M. L. A.	Simulação do desempenho de tratamento de resíduo sólido urbano: sistema AAA. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração Saneamento e Ambiente) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, 2004.
2004	OLIVEIRA, L. B.	Potencial de aproveitamento energético de lixo e biodiesel de insumos residuais no Brasil. 2004. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
2005	DANTAS, K. M. C.	Proposição e avaliação de sistemas de gestão ambiental integrada de resíduos sólidos através de indicadores em municípios do Estado do Rio de Janeiro. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
2005	GARCIA, R. S.	Análise exergetica e econômica de processos reativos com mecanismos cinéticos detalhados. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, 2005.
2005	SANT'ANA, P. H. M.	Análise prospectiva de tecnologias de energia: validação e análises de uma consulta Delphi com especialistas do Brasil. 2005. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2005.
2006	BORBA, S. M. P.	Análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudo de caso. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
2006	MORGADO, T. C., FERREIRA, O. M.	Incineração de resíduos urbanos, aproveitamento na cogeração de energia: estudo para a região metropolitana de Goiânia. Goiânia: UCG, 2006.
2007	DUBEUX, C. B. S.	Mitigação de emissões de gases de efeito estufa por municípios brasileiros: metodologias para elaboração de inventários setoriais e cenários de emissões como instrumentos

		de planejamento. 2007. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
2007	FORTES, M. Z.	Priorização de alternativas de geração termelétrica distribuída. 2007. Tese (Doutorado em Sistemas de Potência) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 2007.
2007	FURLAN, W.	Modelo de decisão para escolha de tecnologia para o tratamento de resíduos sólidos no âmbito de um município. 2007. Tese (Doutorado em Administração) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, 2007.
2007	MARRECO, J. M.	Planejamento de longo prazo da expansão da oferta de energia elétrica no Brasil sob uma perspectiva da teoria das opções reais. 2007. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
2008	MARANHO, A. S.	Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos para Bauru e região. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Bauru, 2008.
2008	POLLETO FILHO, J. A.	Viabilidade energética e econômica da incineração de resíduo sólido urbano considerando a segregação para reciclagem. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Bauru, 2008.
2008	SAMPAIO, H. C.	Planejamento e otimização de sistemas energéticos para gestão econômica e ambiental de cidades. 2007. Tese (Doutorado em Transmissão e Conversão de Energia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá, 2008.
2008	SILVA JUNIOR, I. C.	Planejamento da operação de sistemas termoeletrônicos utilizando análise de sensibilidade associada a processos

		heurísticos. 2008. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
2009	MONTEIRO, J. G. M.	Um estudo sobre alternativas de seqüestro de carbono: modelos, métricas e otimalidade. 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de processos químicos e bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
2009	ROCHA, L. F.	Avaliação do risco e dos aspectos econômicos associados à conexão de geração distribuída no planejamento de sistemas de distribuição. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
2012	MATOS, D. A.	Tomada de decisão em redes logísticas de reciclagem de materiais através da Dinâmica de Sistemas. 2012. 193p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2012.

Nas análises de localização das unidades de processamento de resíduos sólidos e de sua viabilidade econômico-financeira, de cujo cálculo são parte integrante os custos logísticos resultantes da localização, diversos métodos podem ser utilizados ou mesmo desenvolvidos para aplicações gerais ou específicas.

O suporte de aplicativos especializados tem facilitado de forma significativa a rapidez e a precisão de obtenção de resultados nesta área de cálculo.

Diversos estudos de desenvolvimento e aplicação de métodos de cálculo foram realizados no contexto do processamento de resíduos sólidos e podem ser citados os trabalhos na Tabela A.21:

Tabela A.21 Metodologias de posicionamento de unidades

Ano	Autor(es)	Referência
1997	SANTOS, R. M.	Localização de centrais de resíduos sólidos para consórcios intermunicipais através da utilização de ferramentas logísticas e restrições de fatores ambientais. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 1997.
2003	NARUO, M. K.	O estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando sistema de informações geográficas. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2003.
2005	LIMA, F. R. N.	Localização de aterros sanitários – utilizando lógica nebulosa: caso Petrópolis. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
2005	MOREIRA, M. A. A.	Aplicação de técnicas de geoprocessamento para seleção de áreas de disposição de resíduos sólidos em aterro sanitário – município de Descalvado (SP). 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, 2005.
2005	ZAMBON, K. L., CARNEIRO, A. A. F. M., SILVA, A. N. R., NEGRI, J. C.	Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoeletricas utilizando SIG. Pesquisa Operacional, v.25, n.2, p.183-199, Maio a Agosto de 2005. Versão impressa ISSN 0101-7438 / versão online ISSN 1678-5142.
2006	DE LÉO, O. C.	O lugar do lixo na Cidade de São Paulo, a gestão territorial e a contribuição geográfica. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de São Paulo, 2006.
2006	ORSATI, A. S.	Análise de impactos ambientais e econômicos na escolha de locais para disposição final de resíduos sólidos. 2006. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Civil de Ilha Solteira, 2006.

2007	LINO, I. C.	Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: comparativa de métodos. 2007. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, 2007.
2009	FADIGAS, E. A. F. A., NEGRI, J. C., MURAKAMI, L. T., PAZZINI, L. H. A., BARILLARI, S.	Zoneamento ambiental para estudo de localização de usinas termelétricas nas bacias dos rios Piracicaba/Capivari/Jundiáí. Disponível em < http://www.seeds.usp.br/pir/arquivos/CLAGTEE2003_ElianeFadigas1.pdf >. Acessado em Abril 2009.
2009	MOREIRA, C. A.	Geofísica aplicada no monitoramento de área de disposição de resíduos sólidos domiciliares. 2009. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, 2009.
2011	HEIDERICH, N. N. L.	Modelagem matemática para a localização ótima de usinas de incineração com recuperação energética de resíduos sólidos domiciliares: uma aplicação para Região Metropolitana da Baixada Santista e Litoral Norte. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências, área de concentração Economia Aplicada) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2011.

Segundo DUBEUX (2007), a comunidade científica vem reconhecendo a importância de se desenvolver um conhecimento mais apurado sobre as ligações entre as poluições local, regional e global. Acredita que muitos dos poluentes globais e convencionais têm fontes de emissão comuns, interagem na atmosfera ou na água e, de forma combinada ou individualmente, causam uma série de impactos de toda ordem.

A conscientização a respeito da poluição aumenta progressivamente com os efeitos do aquecimento global nos aspectos diários da vida das comunidades e o questionamento a respeito de adoção de energias renováveis, conceito 4R de vida e gestão ambiental, reciclagem e recuperação energética cresce significativamente.

Estudos realizados a respeito de impactos ambientais no contexto do processamento de resíduos sólidos estão indicados na Tabela A.22:

Tabela A.22 Impactos ambientais

Ano	Autor(es)	Referência
1994	GETZ, N. P.	How does waste to energy stack up. JOURNAL OF THE AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION Volume: 44: 1309-1312. Published: NOV 1994.
1998	SANTOS, M. A., RODRIGUES, M. G.	Environmental issues arising from the thermopower generation in Brazil. Energy Policy, Volume 26, Number 14, December 1998, pp. 1065-1070.
2000	JOHNKE, B.	Emissions from waste incineration. IPCC/OECD/IEA National Greenhouse Gas Inventories Programme. 2000. Waste sector pages 455-468.
2001	REIS, M. M.	Custos ambientais associados à geração elétrica: hidrelétricas x termelétricas a gás natural. 2001. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.
2002	MUNÓZ, S. I. S.	Impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, SP: avaliação dos níveis de metais pesados. 2002. Tese (Doutorado em Enfermagem em Saúde Pública, linha de pesquisa Saúde Ambiental) - Universidade de São Paulo, Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, 2002.
2003	ALBINA, D., THEMELIS, N.	Emissions from Waste-to-Energy: a comparison with coal-fired power plants. Energy Conversion and Resources - 2003, p 169-184, 2003, ISBN-10: 0791837157, ISBN-13: 9780791837153.
2003	GOLDEMBERG, J., VILLANUEVA, L. D.	Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento. 2a. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.
2003	KLEIN A., ZHANG H.,	Analysis of a waste-to-energy power plant with CO ₂

	THEMELIS, N.J.	sequestration. North American Waste to Energy Conference (NAWTEC 11) 11 Proceedings, ASME International, Tampa FL (2003) p. 263-270, 2003.
2003	OLIVEIRA, D. A. S.	Desenvolvimento, energia e sustentabilidade: uma perspectiva do relatório Brundtland. 2003. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2003.
2003	THEMELIS, N. J.; DERIZIOTIS, P.	Substance and perceptions of environmental impacts of dioxin emissions: an interim report. Proceedings of the 11th Annual North American Waste to Energy Conferences (NAWTEC 11), April 28, 2003 - April 30, 2003; p 225-230, 2003. ISBN-10: 0791836657, ISBN-13: 9780791836651.
2004	STRAPASSON, A. B.	A energia térmica e o paradoxo da eficiência energética: desafios para um novo modelo de planejamento energético. 2004. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, Programa Interunidade de Pós-Graduação em Energia (IEE/EP/IF/FEA), 2004.
2005	CAIXETA, D. M.	Geração de energia elétrica a partir da incineração de lixo urbano: o caso de Campo Grande/MS. 2005. Monografia (Especialização do Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em resíduos sólidos) - Universidade de Brasília, 2005.
2005	LEME, R. M.	Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos e uso de água na produção de eletricidade com biomassa de cana de açúcar. 2005. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2005.
2005	REAL, J. L. G.	Riscos ambientais em aterros de resíduos sólidos com ênfase na emissão de gases. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

2005	SCHUELER, A. S.	Estudo de caso e proposta para classificação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
2006	HAUSER, P. D.	Criação de valor e desenvolvimento sustentável: uma avaliação da incineração de resíduos sólidos municipais em projetos enquadráveis no mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto. 2006. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
2006	ORSATI, A. S.	Análise de impactos ambientais e econômicos na escolha de locais para disposição final de resíduos sólidos. 2006. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Civil de Ilha Solteira, 2006.
2007	GUENA, A. M. O.	Avaliação ambiental de diferentes formas de geração elétrica. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2007.
2007	LINO, I. C.	Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: comparativa de métodos. 2007. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, 2007.
2008	BRASIL. Ministério de Minas e Energia. EPE Empresa de Pesquisa Energética.	NOTA TÉCNICA DEN 06/08. Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. Rio de Janeiro, Novembro de 2008.
2008	PEDERSEN, A. et al.	Partitioning of trace elements in a WtE boiler; the influence of different waste types. Air and Waste Management Association - 27th Annual International Conference on Thermal Treatment Technologies 2008, May 12, 2008 - May 16, 2008;v 1, p 64-99, 2008, ISBN-13: 9781605603797.
2009	CARVALHO, J. F.	O declínio da era do petróleo e a transição da matriz energética brasileira para um modelo sustentável. 2009.

		Tese (Doutorado em Energia) - Universidade de São Paulo, PPGE/USP, 2009.
2009	DAINOFF, A., ANACKER, D.	The design and operation of an advanced NOx control system on the new 636TPD MWC at the Lee County WTE facility. Proceedings of the 17th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC 17.Chantilly, VA, United States. May 18, 2009 - May 20, 2009.Pages:29-35.ISBN-13: 9780791848807.
2009	OBERMOSER, M., FELNER, J., RECHBERGER, H.	Determination of reliable CO(2) emission factors for waste-to-energy plants. WASTE MANAGEMENT & RESEARCH Volume: 27: 907-913. DOI: 10.1177/0734242X09349763. Published: NOV 2009.
2009	PAVLAS, M., TOUS, M., BEBAR, L.	Waste to energy - an evaluation of the environmental impact. APPLIED THERMAL ENGINEERING Volume: 30. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2009.10.019. Published: NOV 2010. Conference: 12th Conference on Process Integration, Modeling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction. Location: Rome, ITALY. Date: MAY 10-13, 2009.
2009	PAVLAS, M., BEBAR, L., KROPAC, J.	Waste to Energy - an evaluation of the environmental impact. Chemical Engineering Transactions Volume: 18: 671-676. DOI:10.3303/CET0918109. Published: 2009. Conference:12th Conference on Process Integration, Modeling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction. Location: Rome, ITALY. Date: FEB 10-MAY 13, 2009.
2009	SAWYERS, D., CHATTOPADHYAY, A., COHN, J.	New sources, new requirements, new challenges - Air quality & amp; new waste-to-energy capacity. Proceedings of the 17th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC17, May 18, 2009 - May 20, 2009; p 117-118, 2009, ISBN-13: 9780791848807.
2010	DANTAS, D. N.	Uso da biomassa de cana de açúcar para geração de energia elétrica: análise energética, exergética e ambiental de sistemas de cogeração em sucroalcoleiras do interior paulista. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia

		de São Carlos, 2010.
2010	DMITRIJEVAS, C.	Análise de ecoeficiência de técnicas para tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear – Materiais) - Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2010.
2010	SCHULER, A. R.	Análise do comportamento de um aterro municipal de resíduos sólidos urbanos instrumentado. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
2012	CERNUSCHI, S. et al.	Number concentration and chemical composition of ultrafine and nanoparticles from WTE (waste to energy) plants. <i>Science of the Total Environment</i> 420 (2012) 319-326.
2012	GROSSO, M. et al	Experimental evaluation of PCDD/Fs and PCBs release and mass balance of a WTE plant. <i>Chemosphere</i> 86 (2012), 293-299.

A preocupação crescente com o meio ambiente levou os países da Organização das Nações Unidas a assinarem, em dezembro de 1999, o Protocolo de Kyoto, um acordo que pudesse estipular algum tipo de controle sobre as intervenções humanas no clima.

Segundo HAUSER (2006), o Protocolo de Quioto determina que os países desenvolvidos signatários reduzam suas emissões de gases de efeito estufa relativas ao ano de 1990, entre 2008 e 2012. O protocolo também estabeleceu que parte desta redução pode ser feita através de negociação entre nações por meio de mecanismos de flexibilização, para não comprometer as economias desses países.

Um dos mecanismos de flexibilização é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e o crédito de carbono do MDL é denominado Redução Certificada de Emissão (RCE). Uma RCE corresponde a uma tonelada de dióxido de carbono

equivalente. Conceitualmente, o fator CO₂ equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas pelo seu potencial de aquecimento global. O potencial de aquecimento global do CO₂ foi estipulado como 1.

O potencial de aquecimento global do gás metano é 21 vezes maior do que o potencial do CO₂, portanto o fator CO₂ equivalente do metano é igual a 21. Dessa forma, uma tonelada de metano reduzida corresponde a 21 créditos de carbono. Outros produtos apresentam fatores ainda maiores, como N₂O (Óxido nitroso, 310), HFCs (Hidrofluorcarbonetos, 140 ~ 11.700), PFCs (Perfluorcarbonetos, 6.500 ~ 9.200) e SF₆ (Hexafluoreto de enxofre, 23.900), todos com uso industrial.

Tanto em setores acadêmicos e profissionais quanto na população mais bem informada há opiniões de que os créditos de carbono favorecem mais ao mercado do que ao ambiente, e outras de que os certificados concedem aos países desenvolvidos o direito de poluir. Entretanto, o sistema estabelecido determina que a cada país corresponda uma cota máxima de créditos de carbono que ele pode adquirir para cumprir as metas do Protocolo de Kyoto, limitando, assim, o seu "direito de poluir".

Inúmeros estudos foram realizados sobre o assunto e podem ser citados os trabalhos da Tabela A.23:

Tabela A.23 Créditos de carbono

Ano	Autor(es)	Referência
2005	BRASIL Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério de Minas e Energia, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e	Diretrizes de Política de Agroenergia 2006-2011. Brasília, 2005.

	Comércio Exterior.	
2006	BARROS, D. D.	Modelagem financeira para projetos de tratamento de resíduos sólidos no Brasil, com base no mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto. 2006. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
2007	ARRUDA, A. R.	Avaliação de possível obtenção de créditos de carbono a partir de um projeto de mecanismo de desenvolvimento limpo com madeira plástica feita de polietileno e fibra de côco. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Polímeros) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
2007	DUBEUX, C. B. S.	Mitigação de emissões de gases de efeito estufa por municípios brasileiros: metodologias para elaboração de inventários setoriais e cenários de emissões como instrumentos de planejamento. 2007. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
2009	MINCHETTI, I. M.	Mercado de carbono: um estudo comparado entre Brasil, China e Índia. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Letras de Araraquara, 2009.
2009	MONTEIRO, J. G. M.	Um estudo sobre alternativas de seqüestro de carbono: modelos, métricas e otimalidade. 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de processos químicos e bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

Nenhuma análise dos empreendimentos e processos seria completa sem o enfoque dos aspectos de trabalho e saúde das pessoas que integram as equipes de funcionários e que são, direta ou indiretamente, responsáveis pelo desempenho da unidade organizacional.

O processo WPC proposto nesta tese emprega pessoas em todas as etapas do processamento, especialmente na primeira fase de separação de materiais recicláveis, em que o processamento é manual pela opção de se promover a integração social e o pleno emprego, conforme a diretriz da PNRS, e sua operação depende diretamente das condições reais em que as atividades são realizadas.

Uma das principais vantagens do processo WPC é a eliminação de lixões, no qual a população na faixa da miséria costuma coletar restos para comercializar ou se alimentar. Por vezes, há gerações da mesma família atuando no mesmo lixão, criando sérios e permanentes problemas de saúde.

Estudos sobre o assunto estão indicados na Tabela A.24:

Tabela A.24 Aspectos de trabalho e saúde

Ano	Autor(es)	Referência
2001	FERREIRA, J. A., DOS ANJOS, L. A.	Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 17(3): 689-696, mai-jun, 2001.
2001	GONÇALVES, M. A.	O trabalho no lixo. 2001. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, 2001.
2004	OLIVEIRA, L. B.	Potencial de aproveitamento energético de lixo e biodiesel de insumos residuais no Brasil. 2004. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
2009	MARTINS, B. L.	Análise do plano integrado de gestão, gerenciamento e manejo dos resíduos sólidos urbanos no município de Lençóis Paulista. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Produção de Bauru, 2009.

2010	IKUTA, F. A.	Resíduos sólidos urbanos no Pontal do Paranapanema – SP: inovação e desafios na coleta seletiva e organização de catadores. 2010. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, 2010.
2010	NASCIMENTO, V. B.	Estudo do processo de trabalho nas cooperativas de material reciclável e efeitos à saúde em decorrência do manuseio de produtos químicos. 2010. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010.

Segundo o conceito 4R, o primeiro item para a melhor gestão dos recursos naturais é a redução do consumo. Essa decisão depende de uma mudança de atitude, pois hoje vivemos numa cultura de consumo que privilegia os descartáveis. Sua realização, portanto, depende de causas ou fatores que influenciem a consciência de cada um, de forma progressiva e abrangente, para que essa nova atitude se torne maior e global.

Um desses fatores é a educação ambiental que, se oferecida e praticada desde os primeiros anos de educação escolar, como parte da grade pedagógica, certamente trará frutos significativos, na forma de futuros cidadãos educados dentro de uma nova e consistente perspectiva de vida e de relacionamento com o meio ambiente.

Também para adultos a educação ambiental permanente se faz necessária e, para funcionários, pode ser integrada ao treinamento funcional requerido para melhor desempenho nas empresas.

O envolvimento da mídia é fundamental para que o efeito multiplicador seja alcançado em período de tempo mais curto, atingindo cada vez mais público e questionando cada vez mais a cultura e os hábitos vigentes. Nessa busca persistente, o

efeito de repetição positiva não pode ser esquecido, exigindo que sejam permanentes a inserção regular de material adequado e os efeitos da educação ambiental.

A legislação brasileira contempla enfoque especial na educação ambiental, destacando que todos têm direito a ela como forma de construção de valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade.

Faz parte da educação ambiental abrangente que os órgãos governamentais também dêem o bom exemplo em questões relacionadas ao meio ambiente.

Alguns estudos que podem ser citados nesse contexto estão na Tabela A.25:

Tabela A.25 Educação ambiental

Ano	Autor(es)	Referência
2004	MORALES, M. L. A.	Simulação do desempenho de tratamento de resíduo sólido urbano: sistema AAA. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração Saneamento e Ambiente) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, 2004.
2006	LOPES, L.	Gestão e gerenciamento integrados dos resíduos sólidos urbanos. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Universidade de São Paulo, 2006.
2009	MARTINS, B. L.	Análise do plano integrado de gestão, gerenciamento e manejo dos resíduos sólidos urbanos no município de Lençóis Paulista. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Produção de Bauru, 2009.
2009	PENA, D. S.	Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos.

		FIESP. Seminário Internacional – Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de São Paulo – 17 de outubro de 2008. Disponível em: < http://www.saneamento.sp.gov.br/bio_apresen/Abertura_FIESP_17out.pdf >. Acessado em Dezembro 2009.
--	--	--

Como obras que abordam aspectos gerais dos processos ou propõem referências conceituais ou numéricas para o desenvolvimento de projetos, visando à perspectiva de tratamento prático dos resíduos sólidos, pode ser citado o material da Tabela A.26:

Tabela A.26 Referências conceituais e numéricas

Ano	Autor(es)	Referência
1993	TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S.	Integrated Solid Waste Management. Engineering Principles and Management Issues. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill, Inc., 1993. ISBN 0-07-063237-5. 978 p.
1994	KREITH, F.	Handbook of solid waste management. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill, 1994. ISBN 0-07-035876-1.
1998	EUROCONTROL	EUROCONTROL; IfEN. WGS84 QUALITY IMPLEMENTATION MANUAL Version 2.4 February 12, 1998. [S.l.]: EUROCONTROL European Organization for the Safety of Air Navigation Brussels, Belgium; IfEN Institute of Geodesy and Navigation (IfEN) University FAF Munich, Germany.
1999	CALDERONI, S.	Os bilhões perdidos no lixo. São Paulo: Humanitas / FFLCH / USP: 1999.
1999	TAMMEMAGI, H.	The waste crisis. Landfills, incinerators, and the search for a sustainable future. New York, Estados Unidos: Oxford University Press, 1999. 279 p.
2000	RAND, T.; HAUKOHL, J.;	Municipal solid waste incineration: requirements for a

	MARXEN, U.	successful project. World Bank technical paper; no. 462. Washington, Estados Unidos: World Bank, 2000. 103 p.
2000	SISINNO, C. L. S. (Org.)	Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2000. 142 p.
2001	CLEMENTINO, L. D.	A conservação de energia por meio da cogeração de energia elétrica. São Paulo: Érica, 2001. 171 p.
2002	PORTER, R. C.	The economics of waste. Washington: RFF Press, 2002. 301 p.
2002	REAL DE AZÚA, D.	Project Finance: uma modalidade de financiamento internacional. São Paulo: Aduaneiras, 2002. 126 p.
2003	REIS, L. B.	Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade. 3ª. ed. Barueri: Manole, 2003. 324 p.
2004	GOLDEMBERG, J.; BARBOSA, L. M.	A legislação ambiental no Brasil e em São Paulo. <i>Revista Eco 21</i> , Ano XIV, Edição 96, Novembro 2004.
2004	LIMA, L. M. Q.	Lixo: tratamento e biorremediação. 3ª. ed. São Paulo: Hemus, 2004. 266 p.
2004	ROSA, E. E. S.; NASCIMENTO, M. A. R. et al.	Geração termelétrica. Planejamento, projeto e operação. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 2 volumes. 1296 p.
2005	LIMA, J. D. de	Sistemas integrados de destinação final de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 277 p.
2005	TOLMASQUIM, M. T.	Geração elétrica no Brasil. Rio de Janeiro: Interciência: CENERGIA, 2005. 198 p.
2006	LEITE, P. R.	Logística reversa: meio ambiente e competitividade. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006. 250 p. 2ª. reimpressão.
2006	SANTOS, N. O.	Termodinâmica aplicada às termelétricas. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. 154 p.
2006	VELLUTINI, R.	Estruturas de project finance em projetos privados. 2a. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. Washington, Estados Unidos: Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2006. 213 p.

2007	LAPPONI, J. C.	Projetos de investimento na empresa. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 488 p.
2007	MACHADO, P. A. L.	Direito Ambiental Brasileiro. 15ª. ed. São Paulo: Malheiros Editores, 2007. ISBN: 9788574208060.
2007	PINTO JR. H. Q. et al.	Economia de energia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 2ª. reimpressão. 343 p.
2009	FRANCHETTI, M. J.	Solid waste. A systems approach. Analysis & minimization. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill Companies, 2009. 545 p.
2009	MOTTA, R. R. et al.	Engenharia econômica e finanças. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. 312 p.
2009	RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R.	Resíduos sólidos: problema ou oportunidade? Rio de Janeiro: Interciência, 2009. 158 p.
2009	STUART, T.	Waste: uncovering the global food scandal. New York, Estados Unidos: W. W. Norton & Company, 2009. First American Edition 2009. 480p.
2009	VAUGHN, J.	Waste management. Santa Barbara, Estados Unidos: ABC-CLIO, 2009. 310 p.
2010	YOUNG, G.C.	Municipal solid waste to energy conversion processes. Economic, technical and renewable comparisons. Hoboken, Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2010. 384 p.
2011	TELLO, P.	Avaliação regional da gestão de resíduos sólidos urbanos na América Latina e Caribe 2010. AIDIS Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental. Terceiro Encontro Técnico Latino-Americano de Alto Nível. Gestão de Resíduos Sólidos. São Paulo, 22 e 23 de Setembro de 2011.

Na forma de referências institucionais ou de obras disponíveis por meio de mídia ou sites, embora não necessariamente limitados aos mesmos, podem ser citadas as referências da Tabela A.27:

Tabela A.27 Referências institucionais, por mídia ou sites.

Ano	Autor(es)	Referência
1996	SÃO PAULO (Estado). Secretaria Estadual do Meio Ambiente SEMA.	Projeto BRA/92/017. Gestão e tecnologia de tratamento de resíduos. Modelos de gestão de resíduos para ação governamental no Brasil: aspectos institucionais, legais e financeiros. São Paulo, 1996. 160 p.
1997	FUNDAÇÃO PREFEITO FARIA LIMA – CEPAM.	Consórcio intermunicipal para o tratamento de resíduos sólidos. Elisabeth Teixeira Lima e Lesley Gasparini Leite. São Paulo, 1997. (Série Manuais, 3). 39 p.
2007	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GERADORAS TERMELÉTRICAS ABRAGET.	Planejamento estratégico de combustíveis para geração termelétrica no Brasil. Rio de Janeiro: Canal Energia, 2007. 198p.
2008	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS ABRELPE.	Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2007. São Paulo: ABRELPE, 2008. 151 p.
2008	BRASIL. Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão. IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.	Projeção da população do Brasil 1980-2050. Revisão 2008. Brasília: IBGE, 2008a.
2008	BRASIL. Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão. IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.	Contagem da população do Brasil 2007. Brasília: IBGE, 2008b. Também disponível em < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm >.
2008	COMPROMISSO	Gestão sustentável do lixo urbano. São Paulo: CEMP/PH,

	EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM CEMPRE.	2008a.1 DVD-RAM.
2008	COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM CEMPRE.	Guia da coleta seletiva de lixo. São Paulo: CEMPRE/PH, 2008b. 1 DVD-RAM.
2008	O ESTADO DE SÃO PAULO.	Megacidades. São Paulo: O Estado de São Paulo, 2008. 117 p.
2008	SÃO PAULO (Estado). Secretaria Estadual do Meio Ambiente. CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.	Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares 2007. São Paulo: CETESB, 2008a. 164 p.
2008	SÃO PAULO (Estado). Secretaria Estadual do Meio Ambiente. CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.	Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares 2007. SMA 50-07. Projeto ambiental estratégico. Lixo mínimo. São Paulo: CETESB, 2008b. 164 p.
2009	BRASIL. Ministério de Minas e Energia. EPE Empresa de Pesquisa Energética	PNE 2030 Plano Nacional de Energia. Seminários Públicos 2006 (10). Disponível em < http://www.epe.gov.br/pne/forms/empreendimento.aspx >. Acesso em: Fevereiro de 2010.
2009	BRASIL. Ministério de Minas e Energia. EPE Empresa de Pesquisa Energética	PNE 2030 Plano Nacional de Energia. Apresentações e Relatórios 2007 (3). Disponível em < http://www.epe.gov.br/pne/forms/empreendimento.aspx >. Acesso em: Fevereiro de 2010.
2009	BRASIL. Ministério de Minas e Energia. EPE Empresa de Pesquisa Energética	PNE 2030 Plano Nacional de Energia. Cadernos temáticos 2008 (11). Disponível em < http://www.epe.gov.br/pne/forms/empreendimento.aspx >. Acesso em: Fevereiro 2010.
2009	Waste Online	Waste Hierarchy from Waste Online.org.uk (image reproduced courtesy of Sligo County Council). Disponível em < http://dl.dropbox.com/u/21130258/resources/information sheets/wastedisposal.htm >. Acesso em: Agosto 2009.

2010	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS ABRELPE.	Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2009. São Paulo: ABRELPE, 2010. 207 p.
2010	ALERTA BRASIL.	Energia: os erros do governo no leilão de Belo Monte. Gusta. Publicado em 26 de Abril de 2010. Disponível em < http://alertabrasil.blogspot.com >. Acesso em: 26 de Abril de 2010.
2010	BSU Baliranje Spaljivanje Utiskivanje	Waste incinerator / Thermal power plant (WI/TPP). Disponível em < http://www.bsu.hr/en/incineration.html >. Acesso em Outubro 2010.
2010	CONFEDERATION OF EUROPEAN WASTE-TO-ENERGY PLANTS CEWEP.	Disponível em < www.cewep.eu >. Acesso em: Janeiro de 2010.
2010	ENVIRONMENT CANADA.	Disponível em: < http://www.ec.gc.ca/envhome.html >. Acesso em julho 2010.
2010	HÄGGSTRÖM M.	Human body diagrams. Wikimedia Commons. Disponível em < http://commons.wikimedia.org/wiki/H%C3%A4ggstr%C3%B6m_diagrams >. Acesso em Novembro 2010.
2010	PIKE RESEARCH.	Waste-to-Energy Technology Markets. Thermal and Biological Processes for Electricity and Heat Generation from Municipal Solid Waste: Market Analysis and Forecasts. 4Q2010. [S.l.]: Pike Research, 2010. Disponível em < pikeresearch.com >. Acesso em: Janeiro de 2011.
2010	RIBEIRO, S. G.	Geração de energia elétrica com resíduos sólidos urbanos: usinas waste-to-energy (WTE). 2010. WTERT do Brasil, 2010. Disponível em < http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/publicacoes/usinas_lixo_energia_no_brasil.pdf >. Acesso em: Fevereiro 2011.
2010	SÃO PAULO (Estado).	Disponível em < http://www.saopaulo.sp.gov.br >. Acesso em:

	Portal do Governo do Estado de São Paulo ESP.	Julho de 2010.
2010	SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia SE.	Consumo de energéticos por município do Estado de São Paulo. 2009. São Paulo: SEESP, 2010. Disponível em < www.energia.sp.gov.br >. Acesso em Janeiro 2011.
2010	SÃO PAULO (Estado). Secretaria Estadual do Meio Ambiente. CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.	Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares 2009. São Paulo: CETESB, 2010. 163 p.
2010	SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Regional.	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados SEADE. Disponível em < www.seade.gov.br >. Acesso em: 2010 e 2011.
2010	TNS THE NATURAL STEP FOUNDATION.	Disponível em: < http://naturalstep.org >. Acesso em: maio 2010.
2010	ZERO WASTE	Disponível em: < http://www.zerowaste.org/files.html >. Acesso em julho 2010.
2011	BRASIL. Ministério de Minas e Energia.	BEN Balanço Energético Nacional 2010. Brasília: MME, 2011. Disponível em < www.mme.gov.br >. Acesso em: Janeiro de 2011.
2011	FRANCO Fo., L. G.	Proteção ambiental dos povos da antiguidade. Disponível em < http://flavionogueira.wordpress.com/meio-ambiente >. Acesso em: Maio 2011a
2011	FRANCO Fo., L. G.	Períodos e fases do direito ambiental no Brasil. Disponível em < http://flavionogueira.wordpress.com/meio-ambiente >. Acesso em: Maio 2011b
2011	FRANCO Fo., L. G.	Fases: imperial e republicana. Disponível em < http://flavionogueira.wordpress.com/meio-ambiente >. Acesso em: Maio 2011c.
2011	FRANCO Fo., L. G.	Brasil/República. Disponível em < http://flavionogueira.wordpress.com/meio-ambiente >. Acesso em: Maio 2011d.

2011	GLOBAL DEVELOPMENT RESEARCH CENTER	GDRC. Disponível em <www.gdrc.org>. Acesso em: Janeiro de 2011.
2011	INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL IBAM.	Disponível em: <http://www.ibam.org>. Acesso em Janeiro de 2011.
2011	LESSA, C.	Seminário Internacional Parceria Público-Privada (PPP) na prestação de serviços de infraestrutura MRE-BID-BNDES. Disponível em <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/seminario/PPP_encerra1.pdf>. Acesso em: Setembro de 2011.
2011	OLIVEIRA, L. B., ROSA, L. P.	Usinas termelétricas híbridas: geração de energia com balanço nulo de emissões de gases do efeito estufa, usando combustível fóssil e biomassa residual. Disponível em <www.bancor.com.br/.../Usinas%20Termel.-Pinguelli%20Rosa.pdf>. Acesso em: Agosto 2011.
2011	PUC-RIO	Manejo de resíduos sólidos urbanos: aterros sanitários. Disponível em <http://www.mp.go.gov.br/portaIweb/hp/9/docs/rsudoutrina_01.pdf>. Acessado em Setembro 2011. Certificação digital no. 0210229/CA.
2011	WTERT Waste to Energy Research and Technology.	Disponível em <http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/publicacoes/usinas_lixo_energia_no_brasil.pdf>. Acesso em: Setembro 2011.

O autor tem também realizado, ao longo dos anos, apresentações de resultados de pesquisa e desenvolvimento tecnológico no setor de processamento de resíduos sólidos.

A divulgação dos diversos aspectos positivos e benefícios resultantes da utilização de processamento completo e ecologicamente correto do material que, atualmente, ainda é descartado em lixões ou aterros, tem sido uma constante.

Além de diversas palestras e apresentações em eventos acadêmicos e profissionais, *workshops* e divulgações pela mídia, podem ser citados os trabalhos da Tabela A.28:

Tabela A.28 Trabalhos do autor

Ano	Autor(es)	Referência
2003	LUCKE, S. A.	Recomendações para um Sistema de Qualidade para uma empresa ambiental. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2003.
2006	LUCKE, S. A., MARIOTTONI, C. A.	O uso de resíduos sólidos como uma fonte alternativa de geração de energia elétrica na Região Metropolitana de Campinas. ICTR 2006 – Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável / NISAM 2006 – Ciclo de Conferências sobre Política e Gestão Ambiental. São Pedro - SP, Brasil, 6 a 9 de agosto de 2006.
2008	LUCKE, S. A.	A geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos. XII Semana de Engenharia Civil. FEC Faculdade de Engenharia Civil UNICAMP. Campinas – SP, Brasil, 29 de Setembro a 5 de Outubro de 2008.
2008	LUCKE, S. A.	O potencial do lixo como fonte de geração de energia. Seminário Problemas e Soluções para a Região Metropolitana de Campinas RMC. Conselho Tecnológico do SEESP Sindicato dos Engenheiros do Estado de São Paulo. Auditório Central da CPFL Companhia Paulista de Força e Luz. Campinas – SP, Brasil, 2008.
2010	LUCKE, S. A., MARIOTTONI, C. A.	O potencial do lixo como fonte de geração de energia elétrica. CREA-SP Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura de São Paulo. São Paulo – SP, Brasil, 29 de Outubro de 2010.
2010	LUCKE, S. A., MARIOTTONI, C. A.	O Potencial de Geração de Energia Elétrica a partir de Resíduos Sólidos. IV ECO SP 2010/VIII ECOVALE 2010. São Paulo – SP, Brasil, 19-20 de Novembro de 2010.

2011	LUCKE, S. A., MARIOTTONI, C. A., MARINELLI, V.	Potential and reality of MSW-based power plants in Brazil. World Engineer's Convention WEC 2011. 4-9 September 2011, Geneva, Switzerland.
2012	LUCKE, S. A., MARIOTTONI, C. A.	Power generation based on municipal solid waste: local and financial considerations. ISWA 2012 - 8 th World Solid Waste Congress. Location: Florence, Italy. Date: 17-19 September 2012. ISWA International Solid Waste Association and ATIA-ISWA ITALIA.
2012	LUCKE, S. A., MARIOTTONI, C. A.	Potential of waste as a source of energy: an overview of environmental and energy approaches. Trabalho submetido a publicação internacional.
2012	LUCKE, S. A., MARIOTTONI, C. A.	Potential of MSW-based power plants in Brazil. Trabalho submetido a publicação internacional.
2012	LUCKE, S. A., MARIOTTONI, C. A.	MSW-based power generation: local and financial considerations. Trabalho submetido a publicação internacional.
2012	LUCKE, S. A., MARIOTTONI, C. A.	Abfallstoffe als Quelle für die Erzeugung von elektrischer Energie. Trabalho submetido a publicação internacional.

Apêndice 2. Lei no. 11.079/2004

Esta lei institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública e foi alterada pela medida provisória no. 575 de 7 de agosto de 2012.

Segundo a lei 11.079/2004, destacam-se os conceitos (grifos do autor):

Art. 1^o Esta Lei institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito dos Poderes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios.

Parágrafo único. Esta Lei se aplica aos órgãos da Administração Pública direta, aos fundos especiais, às autarquias, às fundações públicas, às empresas públicas, às sociedades de economia mista e às demais entidades controladas direta ou indiretamente pela União, Estados, Distrito Federal e Municípios.

Art. 2^o Parceria público-privada é o contrato administrativo de concessão, na modalidade patrocinada ou administrativa.

§ 1^o Concessão patrocinada é a concessão de serviços públicos ou de obras públicas de que trata a Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, quando envolver, adicionalmente à tarifa cobrada dos usuários, contraprestação pecuniária do parceiro público ao parceiro privado.

§ 2^o Concessão administrativa é o contrato de prestação de serviços de que a Administração Pública seja a usuária direta ou indireta, ainda que envolva execução de obra ou fornecimento e instalação de bens.

§ 3^o Não constitui parceria público-privada a concessão comum, assim entendida a concessão de serviços públicos ou de obras públicas de que trata a

Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, quando não envolver contraprestação pecuniária do parceiro público ao parceiro privado.

§ 4º É vedada a celebração de contrato de parceria público-privada:

I – cujo valor do contrato seja inferior a R\$ 20.000.000,00 (vinte milhões de reais);

II – cujo período de prestação do serviço seja inferior a 5 (cinco) anos; ou

III – que tenha como objeto único o fornecimento de mão-de-obra, o fornecimento e instalação de equipamentos ou a execução de obra pública.

[...]

Art. 4º Na contratação de parceria público-privada serão observadas as seguintes diretrizes:

I – eficiência no cumprimento das missões de Estado e no emprego dos recursos da sociedade;

II – respeito aos interesses e direitos dos destinatários dos serviços e dos entes privados incumbidos da sua execução;

III – indelegabilidade das funções de regulação, jurisdicional, do exercício do poder de polícia e de outras atividades exclusivas do Estado;

IV – responsabilidade fiscal na celebração e execução das parcerias;

V – transparência dos procedimentos e das decisões;

VI – repartição objetiva de riscos entre as partes;

VII – sustentabilidade financeira e vantagens socioeconômicas dos projetos de parceria.

Art. 5º As cláusulas dos contratos de parceria público-privada atenderão ao disposto no art. 23 da Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, no que couber, devendo também prever:

I – o prazo de vigência do contrato, compatível com a amortização dos investimentos realizados, não inferior a 5 (cinco), nem superior a 35 (trinta e cinco) anos, incluindo eventual prorrogação;

II – as penalidades aplicáveis à Administração Pública e ao parceiro privado em caso de inadimplemento contratual, fixadas sempre de forma proporcional à gravidade da falta cometida, e às obrigações assumidas;

III – a repartição de riscos entre as partes, inclusive os referentes a caso fortuito, força maior, fato do príncipe e álea econômica extraordinária;

IV – as formas de remuneração e de atualização dos valores contratuais;

V – os mecanismos para a preservação da atualidade da prestação dos serviços;

VI – os fatos que caracterizem a inadimplência pecuniária do parceiro público, os modos e o prazo de regularização e, quando houver, a forma de acionamento da garantia;

VII – os critérios objetivos de avaliação do desempenho do parceiro privado;

VIII – a prestação, pelo parceiro privado, de garantias de execução suficientes e compatíveis com os ônus e riscos envolvidos, observados os limites dos §§ 3º e 5º do art. 56 da Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e, no que se refere às concessões patrocinadas, o disposto no inciso XV do art. 18 da Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995;

IX – o compartilhamento com a Administração Pública de ganhos econômicos efetivos do parceiro privado decorrentes da redução do risco de crédito dos financiamentos utilizados pelo parceiro privado;

X – a realização de vistoria dos bens reversíveis, podendo o parceiro público reter os pagamentos ao parceiro privado, no valor necessário para reparar as irregularidades eventualmente detectadas.

[...]

Art. 6º Parágrafo único. O contrato poderá prever o pagamento ao parceiro privado de remuneração variável vinculada ao seu desempenho, conforme metas e padrões de qualidade e disponibilidade definidos no contrato.

[...]

Art. 8º As obrigações pecuniárias contraídas pela Administração Pública em contrato de parceria público-privada poderão ser garantidas mediante:

I – vinculação de receitas, observado o disposto no inciso IV do art. 167 da Constituição Federal;

II – instituição ou utilização de fundos especiais previstos em lei;

III – contratação de seguro-garantia com as companhias seguradoras que não sejam controladas pelo Poder Público;

IV – garantia prestada por organismos internacionais ou instituições financeiras que não sejam controladas pelo Poder Público;

V – garantias prestadas por fundo garantidor ou empresa estatal criada para essa finalidade;

VI – outros mecanismos admitidos em lei.

Art. 9º Antes da celebração do contrato, deverá ser constituída sociedade de propósito específico, incumbida de implantar e gerir o objeto da parceria. [...]

§ 3º A sociedade de propósito específico deverá obedecer a padrões de governança corporativa e adotar contabilidade e demonstrações financeiras padronizadas, conforme regulamento.

§ 4º Fica vedado à Administração Pública ser titular da maioria do capital votante das sociedades de que trata este Capítulo. [...]

Art. 10. A contratação de parceria público-privada será precedida de licitação na modalidade de concorrência [...].

Apêndice 3. Análise da Região Administrativa de Campinas

A Região Administrativa de Campinas (RAC) demandou estudos adicionais devido ao porte de geração da região como um todo e à diferença de distribuição na geração de RSU, que ocorre de forma concentrada na cidade de Campinas, sede da região administrativa, e de forma distribuída nas demais partes da região.

Foram efetuados todos os tipos de análise anteriores, para verificar se a formação de agrupamentos de formas diferentes poderia ter diferentes influências na capacidade econômico-financeira dos municípios para suportar os investimentos requeridos. A metodologia aplicada para estudo de viabilidade do processamento do lixo por instalações WPC foi a mesma dos casos anteriores, verificando os efeitos da formação de grupos pelos municípios para um processamento comum e para se beneficiarem dos efeitos de sinergia e escala, comparando o total de investimentos necessários e os valores empenhados atualmente para o mesmo porte de processamento do lixo.

A cidade de Campinas foi separada do restante dos municípios da região e considerada como fonte geradora individual, devido ao seu porte de geração. Os demais municípios foram submetidos a análises de formação de agrupamentos, com otimização dos resultados de custos totais, para determinar a influência exercida pelas diferentes configurações.

A RAC apresenta uma configuração geográfica em que a cidade de Campinas está situada em posição central da região, embora geometricamente deslocada, e os municípios formam um “O” ao seu redor, levando a três extremos e três posições intermediárias, conforme ilustrado na Figura A.1. Ao considerar o comportamento dos custos logísticos envolvidos, esse formato induz à formação dos agrupamentos a partir dos municípios localizados nos extremos e nas posições intermediárias, avançando em direção ao centro e englobando os municípios adjacentes.

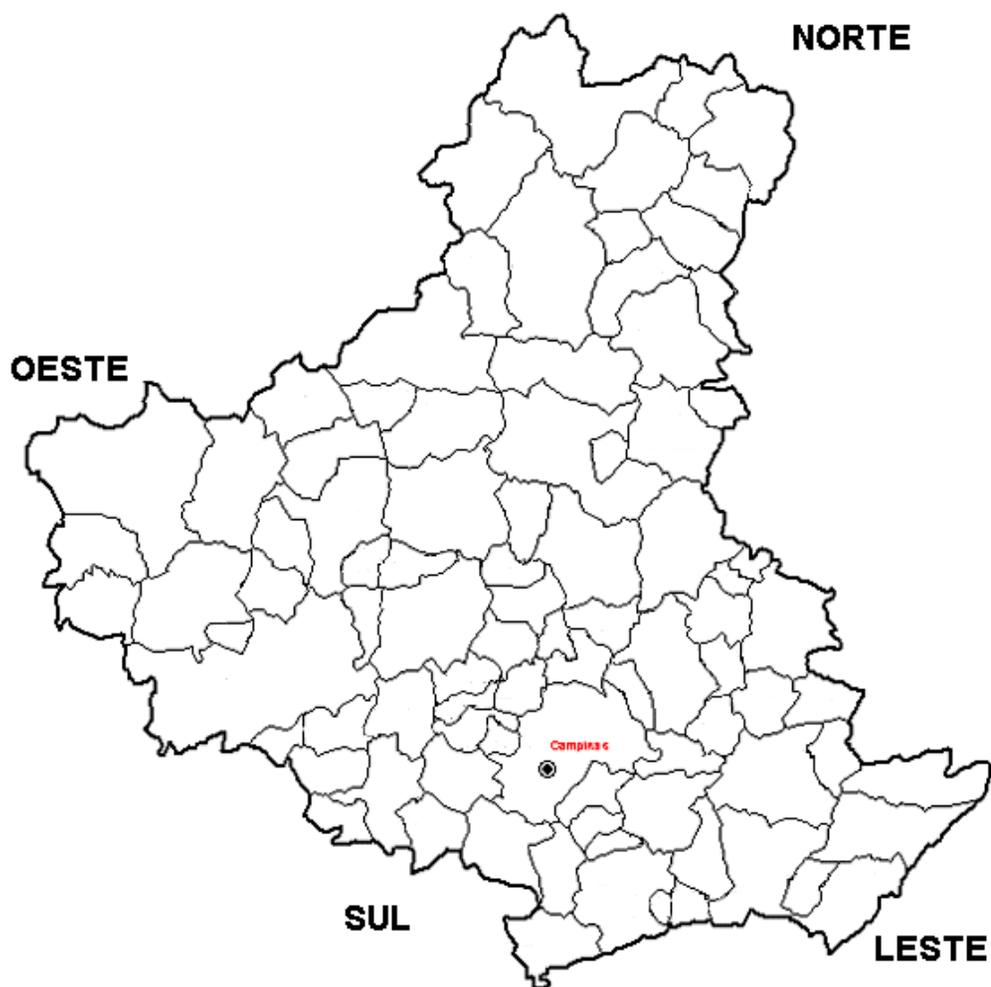


Figura A.1 Configuração geográfica da RAC

Assim como na seção 6.3, as variações examinadas de análise levaram a resultados similares de comportamento das taxas de crescimento, com variações desprezíveis devido aos participantes de cada grupo. Ao se realizar a estratificação dos valores de agrupamento, os resultados invariavelmente assumiram comportamento similar. Decidiu-se, então, adotar o agrupamento por extremo como representativo, realizando a estratificação segundo a geração de RSU, tomada como base para a geração dos demais valores.

Com base na geração de RSU e na distribuição geográfica dos municípios, os cálculos de otimização indicaram que os agrupamentos ideais seriam quatro (municípios listados em ordem crescente de geração de RSU):

- Norte, formado por Santo Antonio do Jardim, Monte Alegre do Sul, Holambra, Lindóia, Águas da Prata, Itobi, Divinolândia, São Sebastião da Grama, Estiva Gerbi, Engenheiro Coelho, Tapiratiba, Caconde, Santo Antonio de Posse, Águas de Lindóia, Tambaú, Socorro, Serra Negra, Casa Branca, Conchal, Santa Cruz das Palmeiras, Aguai, Jaguariúna, Espírito Santo do Pinhal, Vargem Grande do Sul, Pedreira, São José do Rio Pardo, Artur Nogueira, Amparo, Mococa, São João da Boa Vista, Moji Mirim e Mogi Guaçu.
- Oeste, formado por Águas de São Pedro, Corumbataí, Santa Cruz da Conceição, Mombuca, Analândia, Santa Maria da Serra, Ipeúna, Saltinho, Torrinha, Itirapina, Charqueada, Iracemápolis, Brotas, Cordeirópolis, Santa Gertrudes, Rio das Pedras, São Pedro, Cosmópolis, Itapira, Pirassununga, Leme, Araras, Rio Claro, Limeira e Piracicaba.

- Leste, formado por Pedra Bela, Tuiuti, Vargem, Pinhalzinho, Nazaré Paulista, Morungaba, Joanópolis, Bom Jesus dos Perdões, Jarinu, Itupeva, Piracaia, Louveira, Cabreúva, Vinhedo, Campo Limpo Paulista, Itatiba, Valinhos, Várzea Paulista, Atibaia, Bragança Paulista e Jundiaí.
- Sul, formado por Rafard, Elias Fausto, Capivari, Monte Mor, Nova Odessa, Paulínia, Santa Bárbara d'Oeste, Indaiatuba, Americana, Hortolândia e Sumaré.

Para efeito de cálculos foram utilizados os dados indicados na seção 3.2.

Na seção 6.2 foram utilizados os dados para o enfoque individual do cálculo de viabilidade.

Na seção 6.3 o enfoque foi dado para a formação de grupos, o que obrigatoriamente levou à necessidade de considerar os custos logísticos agregados pela movimentação do lixo entre as fontes geradoras e a usina para o processamento do volume total gerado pelos municípios e destinado a tratamento.

A.3.1. Custo da usina em relação ao empenho atual

As análises mostraram que todas as formações de grupos apresentam custos futuros superiores aos valores dispendidos hoje para o processamento dos mesmos volumes de lixo, ao longo da formação de grupos. Ocorre significativa influência dos

custos logísticos na formação dos custos totais, cujos valores aumentam ao longo do aumento do porte de agrupamento e do aumento do volume de RSU a ser processado.

As Figuras A.2 a A.6 ilustram os diversos comportamentos das curvas de valores para a cidade de Campinas e os demais municípios da RAC.

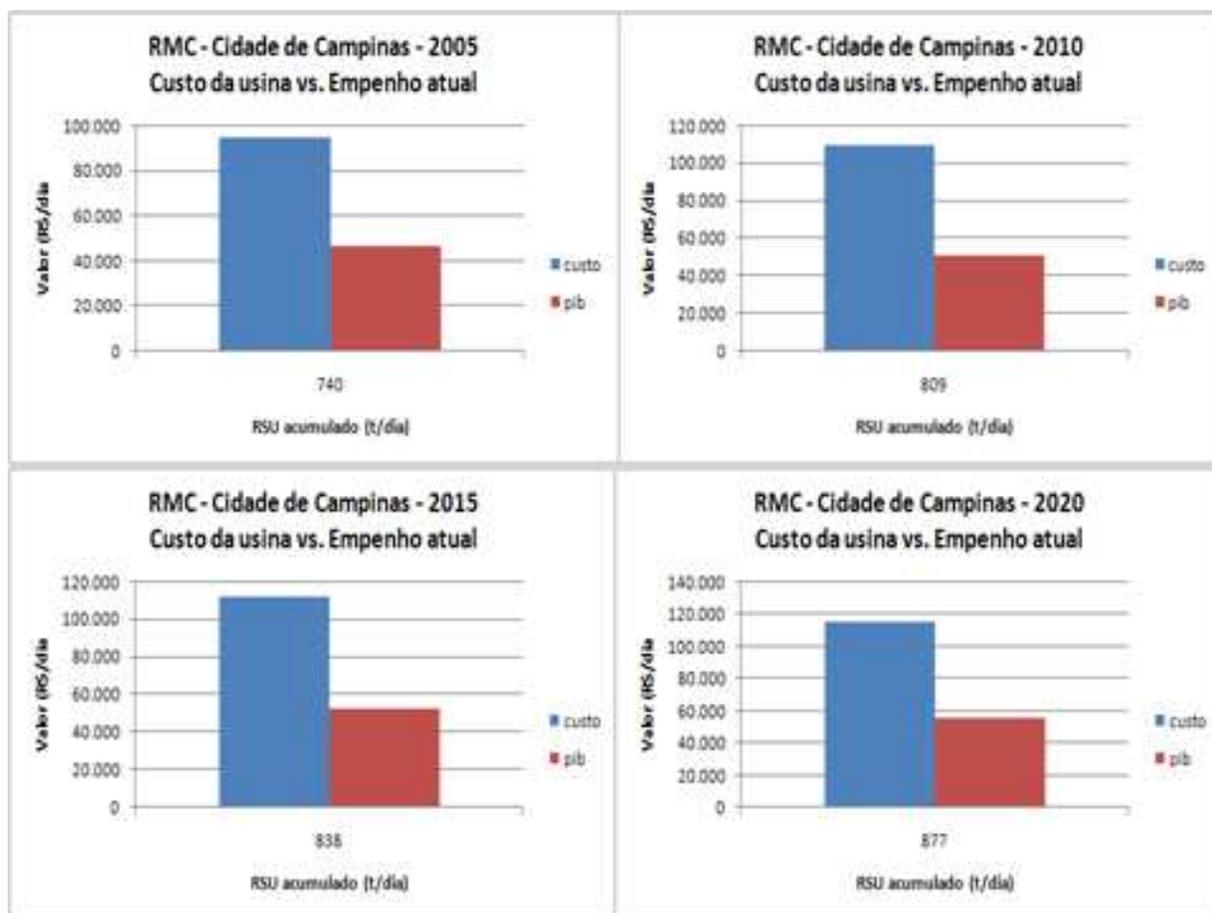


Figura A.2 Custo da usina em relação ao empenho - Campinas

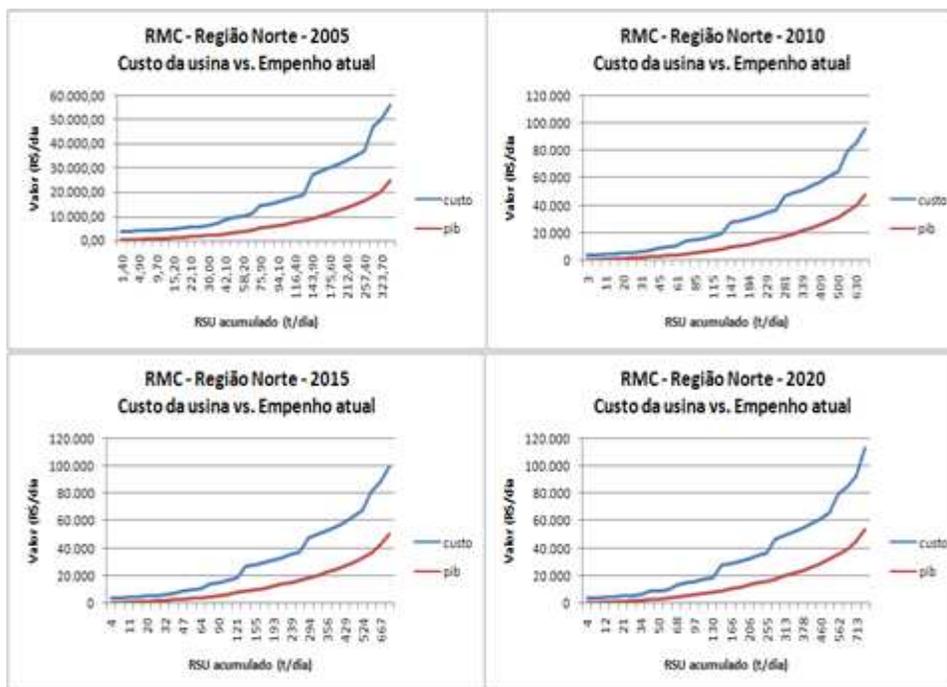


Figura A.3 Custo da usina em relação ao empenho – Região Norte

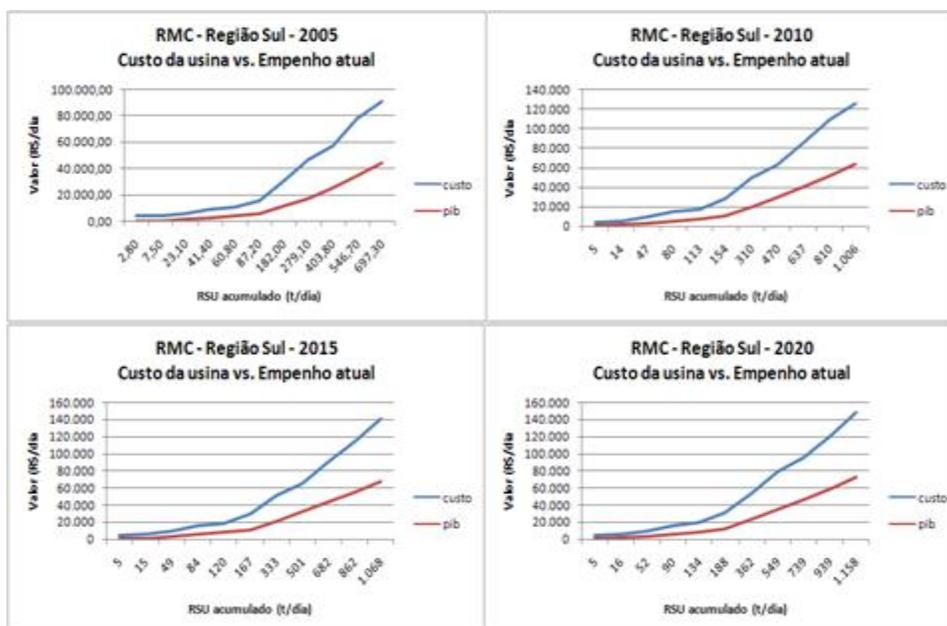


Figura A.4 Custo da usina em relação ao empenho – Região Sul

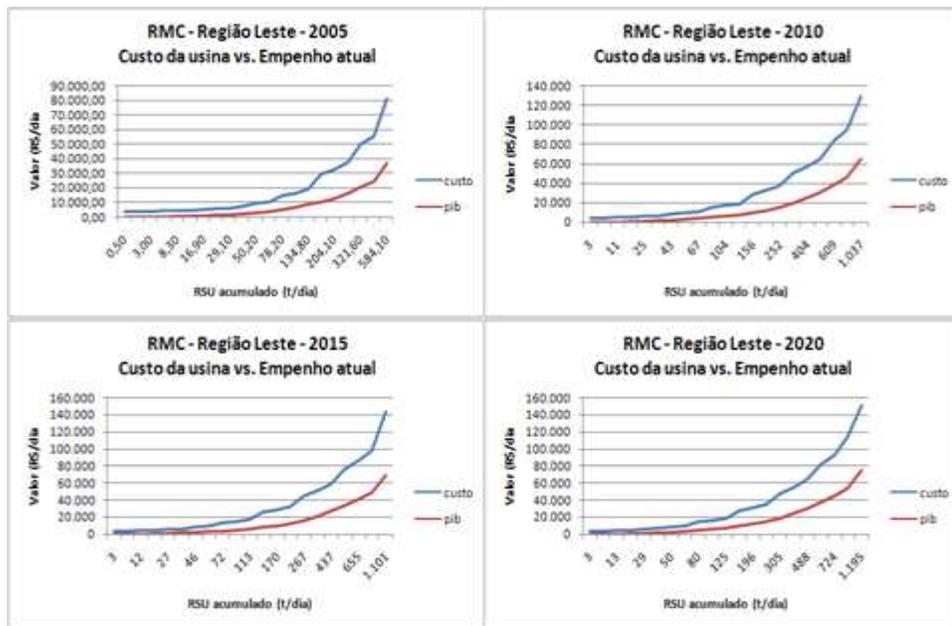


Figura A.5 Custo da usina em relação ao empenho – Região Leste

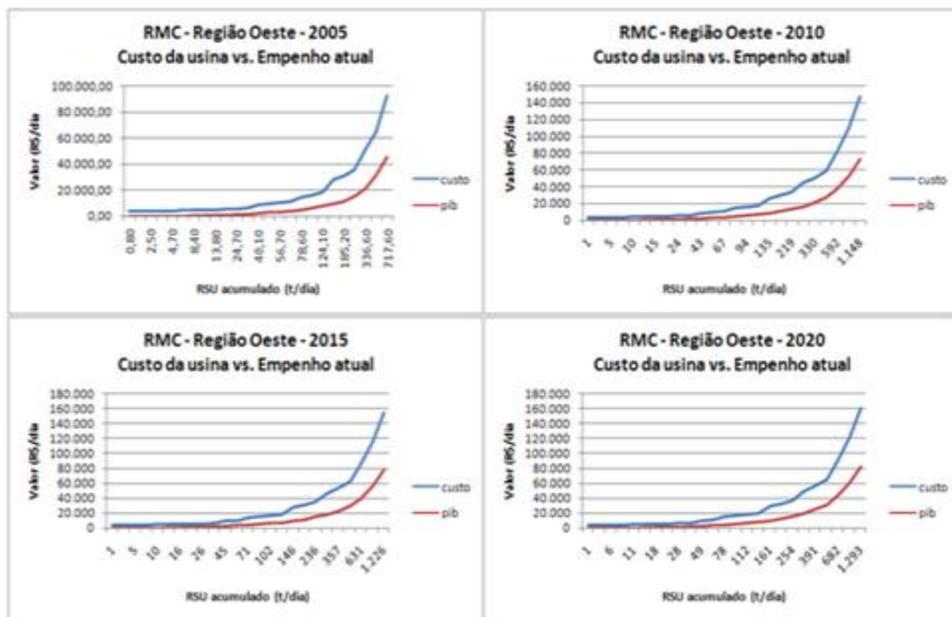


Figura A.6 Custo da usina em relação ao empenho – Região Oeste

A.3.2. Custo da usina em relação ao PIB

As Figuras A.7 a A.11 ilustram os diversos comportamentos das curvas de valores para a cidade de Campinas e os demais municípios da RAC.

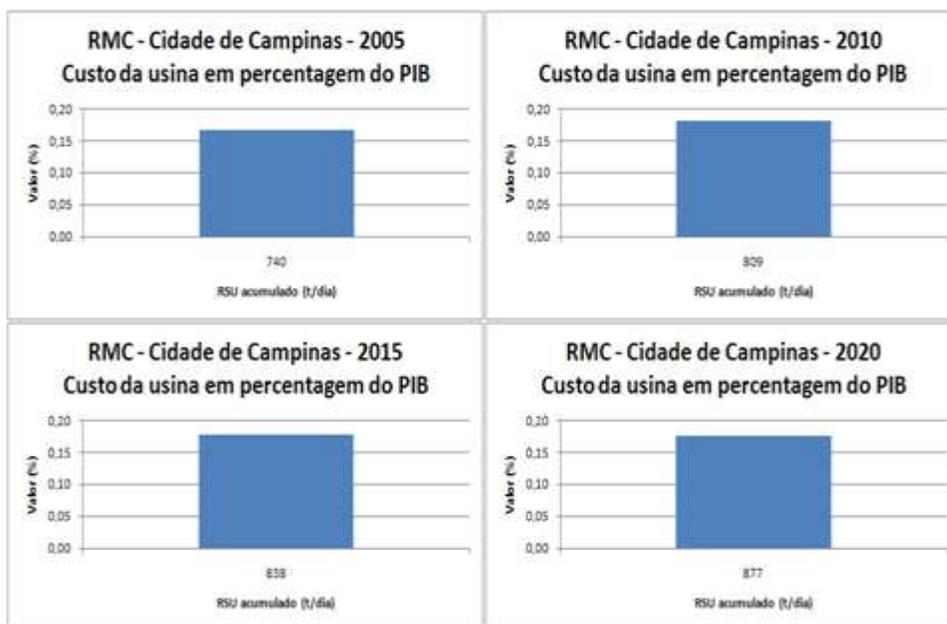


Figura A.7 Custo da usina em relação ao PIB – Campinas

A Figura A.8 ilustra um comportamento de alternâncias, que representa também a importância das mudanças de custos de investimento conforme o crescimento da geração de RSU requer um porte maior de usina e, portanto, de maior valor.

Uma queda inicial em 2005 passa a ser uma elevação nos anos seguintes, seguida de nova queda em função dos efeitos de escala, nova elevação, nova queda e nova elevação suave com estabilização no final. Isso demonstra uma defasagem entre

os efeitos de aumento de volume de RSU e aumento do PIB gerado (valores diários), compensando o efeito de aumento dos custos logísticos e evidenciando os benefícios de escala no início da curva em 2005.

Nas fases seguintes indica que os municípios de maior porte passam a participar com maior geração de RSU em relação à geração de PIB, reduzindo a compensação dos custos logísticos, e depois com reversão dessa tendência, até que ela se manifeste novamente.

Em seguida, municípios de maior porte acentuam a participação inicial com maior geração de RSU, aumentando o percentual dos investimentos totais em relação ao total do respectivo PIB gerado e, no final, invertem essa tendência, demonstrando maior eficiência na geração de PIB *per capita*.

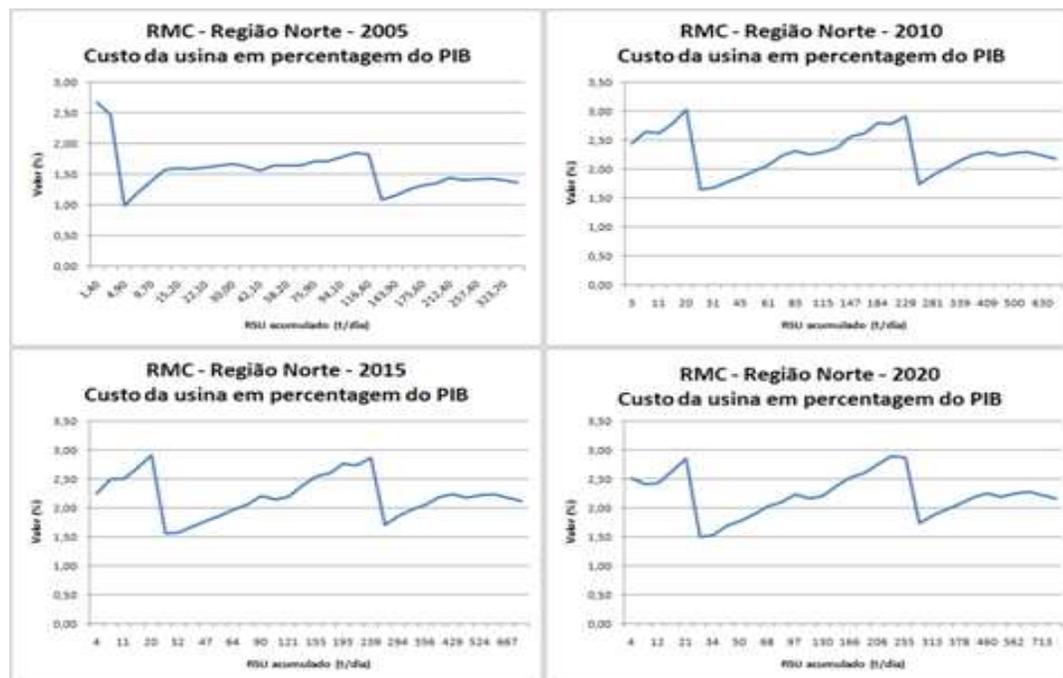


Figura A.8 Custo da usina em relação ao PIB – Região Norte

A Figura A.9 mostra um comportamento que representa uma queda menos acentuada até certo ponto (um terço até metade) da quantidade de municípios envolvidos na formação do grupo e inversão para crescimento no restante da curva, ao longo do aumento do volume de RSU a ser processado na região. Isso demonstra relativo equilíbrio entre os efeitos de aumento de volume de RSU e aumento do PIB gerado (valores diários), compensando o efeito de aumento dos custos logísticos e evidenciando os benefícios de escala na primeira metade da curva.

Na segunda metade, indica que os municípios de maior porte passam a participar com maior geração de RSU em relação à geração de PIB, aumentando o percentual dos investimentos totais em relação ao total do respectivo PIB gerado. Demonstra também redução na eficiência de geração do PIB *per capita*.

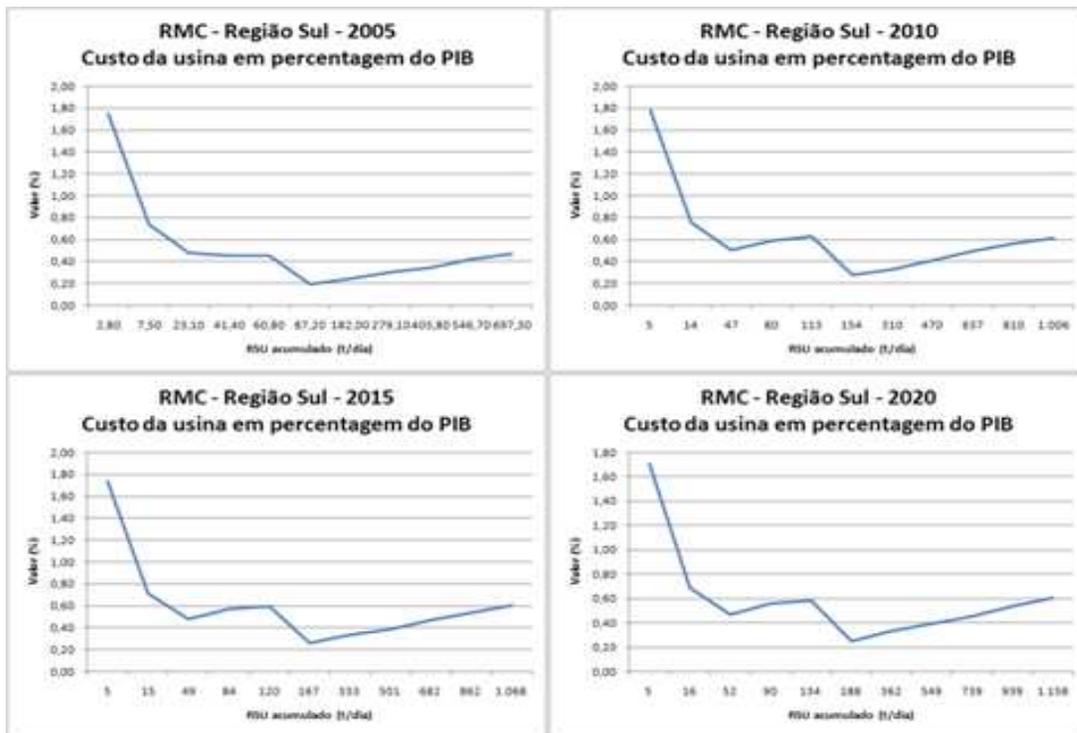


Figura A.9 Custo da usina em relação ao PIB – Região Sul

As Figuras A.10 e A.11 ilustram um comportamento que representa uma queda acentuada no início da formação do grupo e relativa estabilização ao longo do aumento do volume de RSU a ser processado na região.

Isso demonstra relativo equilíbrio entre os efeitos de aumento de volume de RSU e aumento do PIB gerado (valores diários), compensando o efeito de aumento dos custos logísticos e evidenciando os benefícios de escala.

Nota-se que não há padrão aparente e esses valores representam os resultados de configurações mais complexas de valores. Cabe então analisar de que forma os componentes dessas configurações influenciam os resultados de viabilidade.

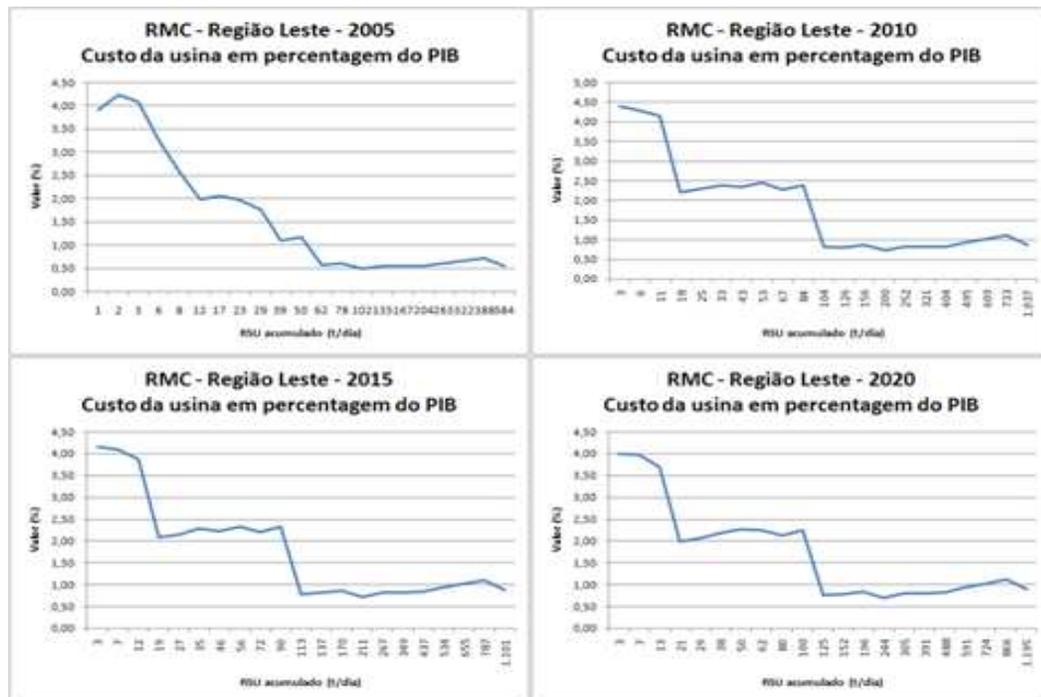


Figura A.10 Custo da usina em relação ao PIB – Região Leste

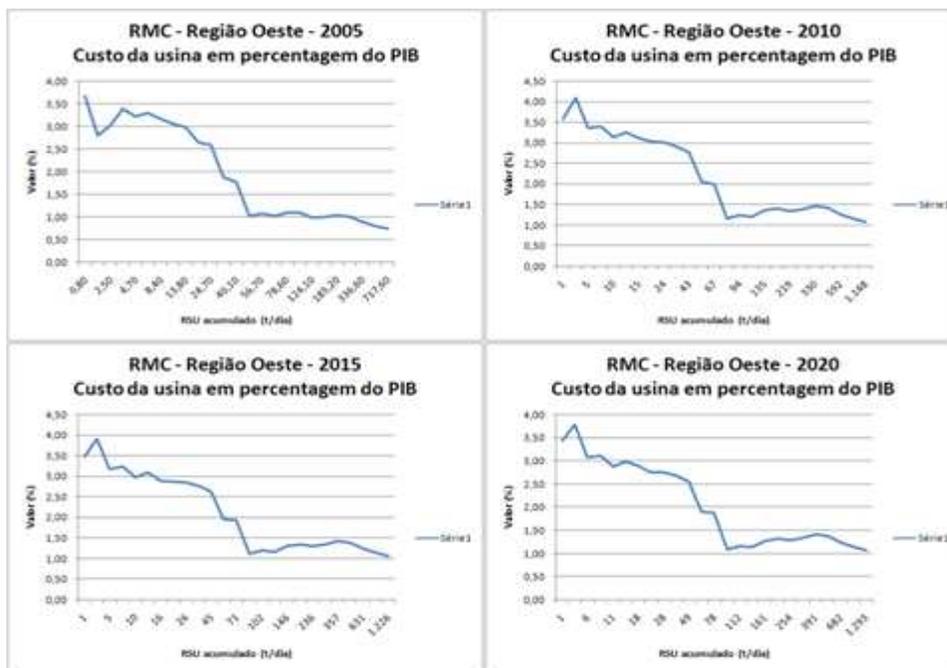


Figura A.11 Custo da usina em relação ao PIB – Região Oeste

A.3.3. Custos da usina e logísticos em relação ao empenho

A análise verificou a influência dos componentes dos custos totais dos diversos portes de usina, em relação aos recursos atualmente dispendidos para a disposição do lixo, para melhor entendimento das efetivas participação e influência de cada um deles, dos comportamentos diferentes e de seu efeito combinado (análise na seção 6.4.3).

Para efeito de cálculos foram utilizados os dados indicados na seção 3.2, além dos dados do PIB gerado. (IBGE). Foram considerados os custos logísticos agregados pela movimentação do lixo entre as fontes geradoras e a usina de processamento do volume total. As Figuras A.12 a A.16 ilustram essas curvas.

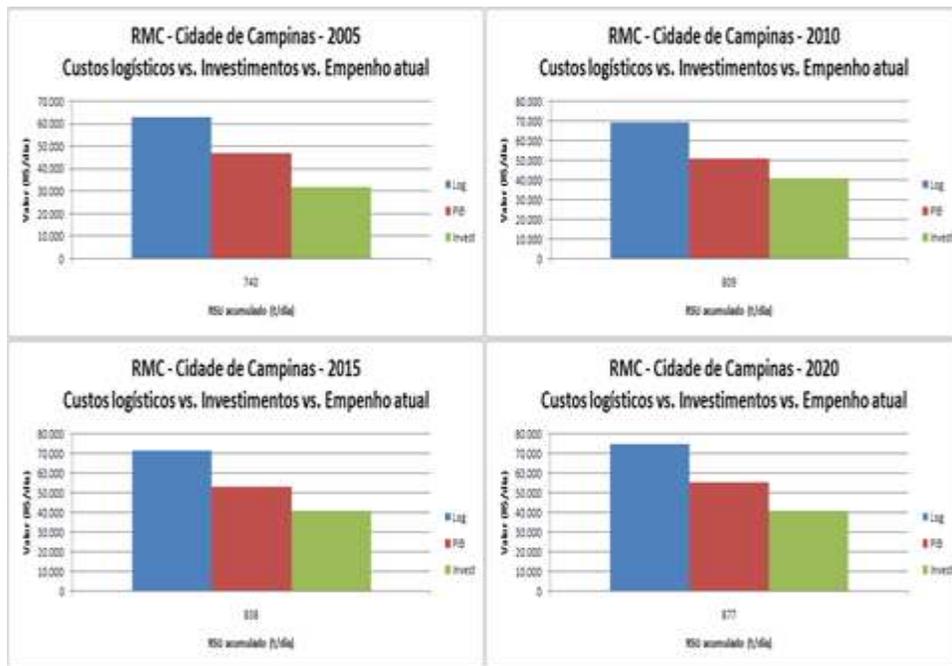


Figura A.12 Comportamento de custos - Campinas

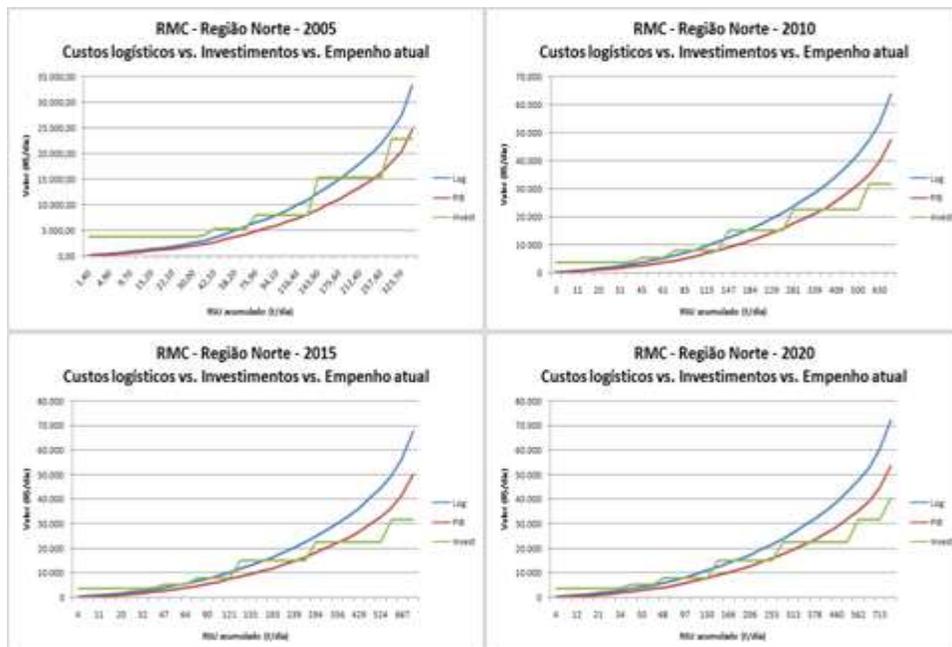


Figura A.13 Comportamento de custos – Região Norte

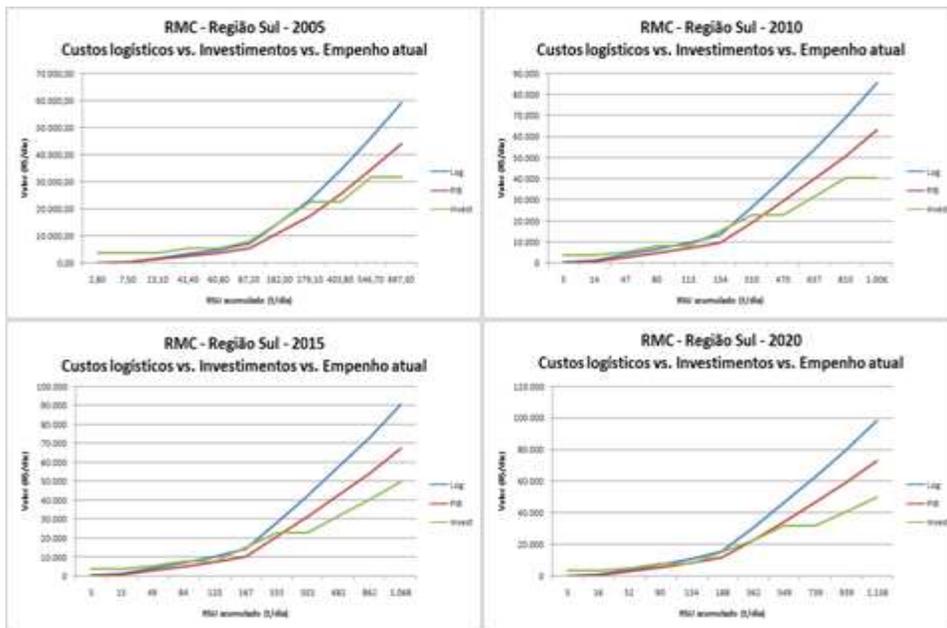


Figura A.14 Comportamento de custos – Região Sul

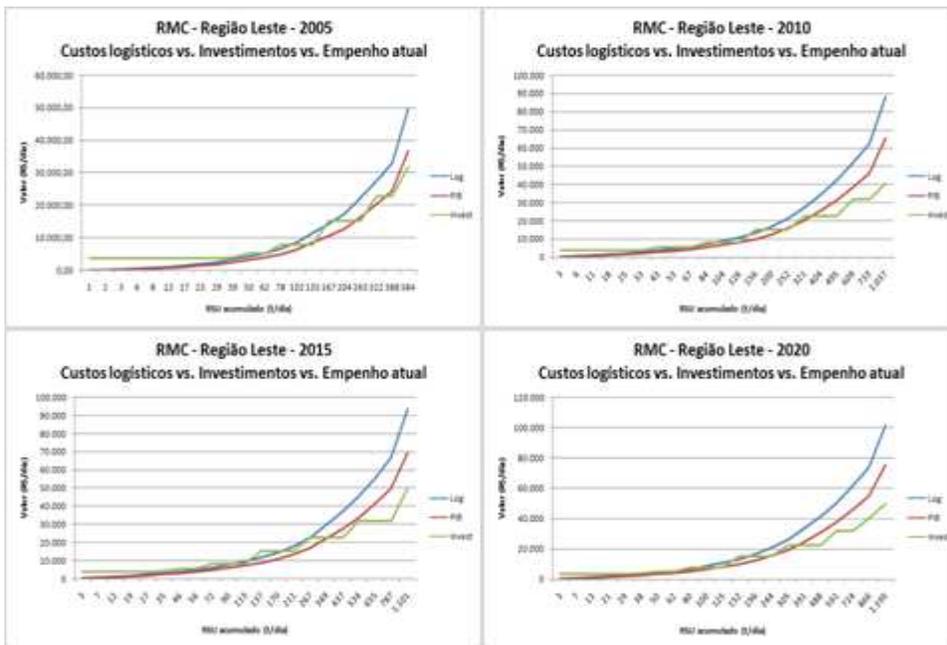


Figura A.15 Comportamento de custos – Região Leste

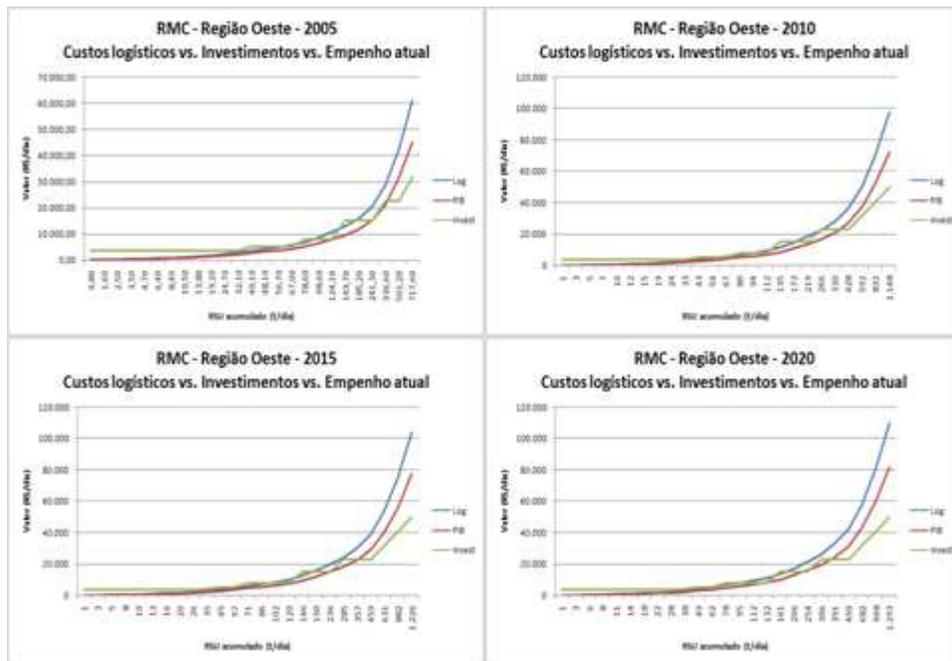


Figura A.16 Comportamento de custos – Região Oeste

Verificou-se que todas as curvas de todas as regiões apresentaram similar comportamento para os componentes em relação ao empenho atual. Também apresentaram os mesmos comportamentos em relação às três fases distintas do conjunto de curvas ao longo do processo de formação dos agrupamentos (inicialização, transição e finalização).

Para facilitar as análises de comportamento dos valores em relação ao processo de formação de agrupamentos, todas as curvas se referenciaram pelo valor base de geração de RSU, considerado o mais fundamental na evolução da formação do agrupamento. O conjunto das seqüências de valores foi devidamente estratificado, iniciando pelo menor valor e terminando pelo maior valor. Todas as curvas iniciam por seus menores valores, facilitando a leitura e a interpretação dos gráficos das figuras.

A.3.4. Diferença entre custos e empenho

A análise verificou a necessidade de complementação de recursos financeiros para atendimento aos investimentos requeridos, em relação ao empenho atual. Os resultados demonstraram que, mantidos os níveis de empenho atuais, nenhuma região da RAC teria capacidade financeira suficiente para suportar os investimentos necessários para a implantação de usinas de processamento de RSU.

Para efeito de cálculos foram utilizados os dados contidos na seção 3.2, além dos dados do PIB gerado. (IBGE). Foram considerados os custos logísticos agregados pela movimentação do lixo entre as fontes geradoras e a usina de processamento do volume total. As Figuras A.17 a A.21 ilustram as curvas.

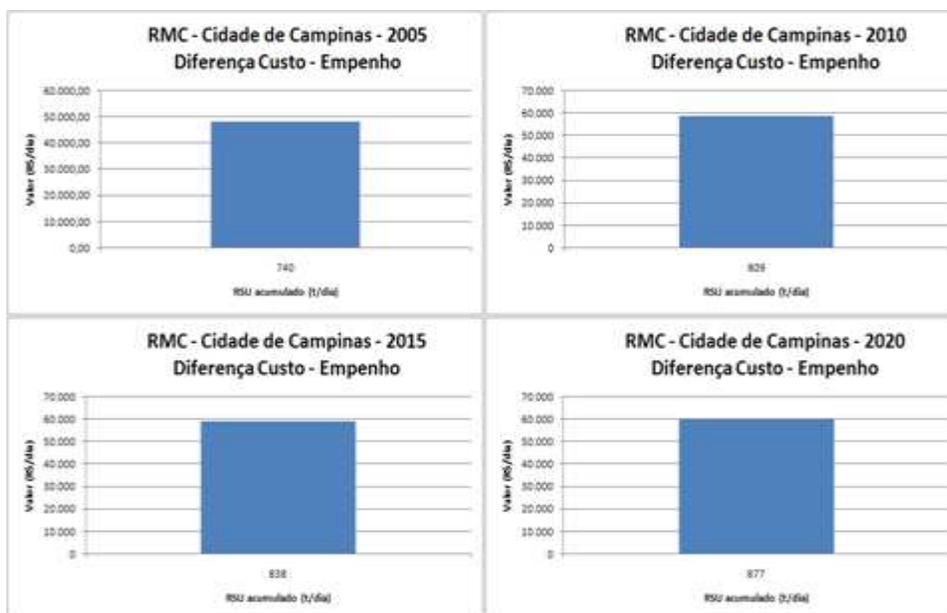


Figura A.17 Diferença custos x empenho - Campinas

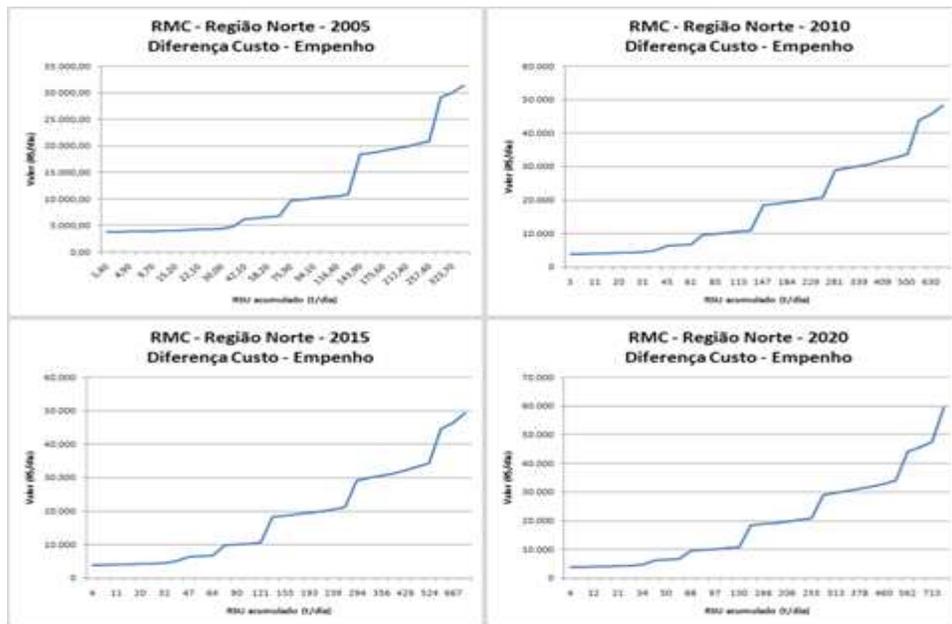


Figura A.18 Diferença custos x empenho – Região Norte

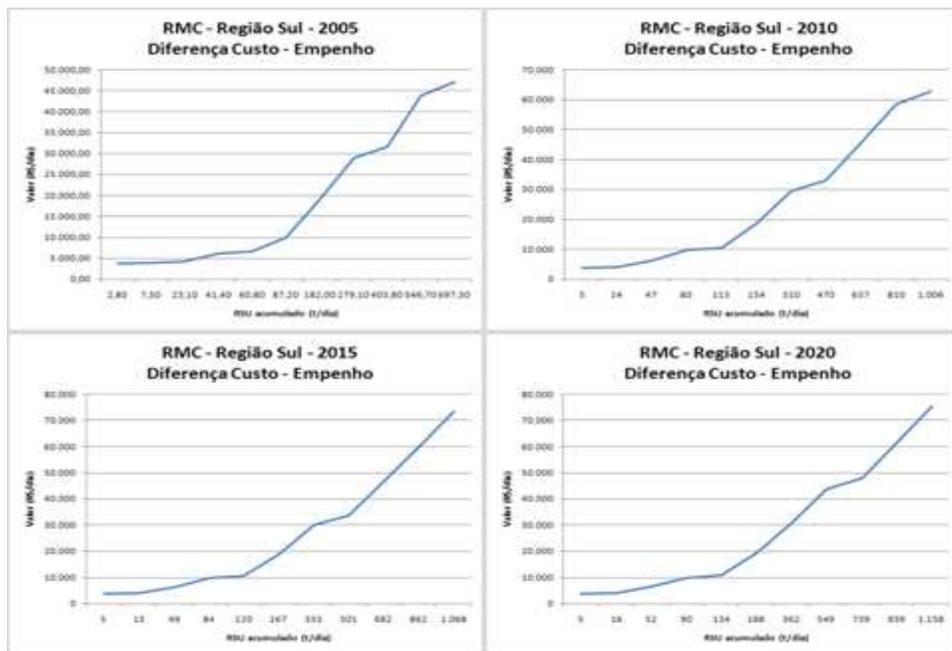


Figura A.19 Diferença custos x empenho – Região Sul

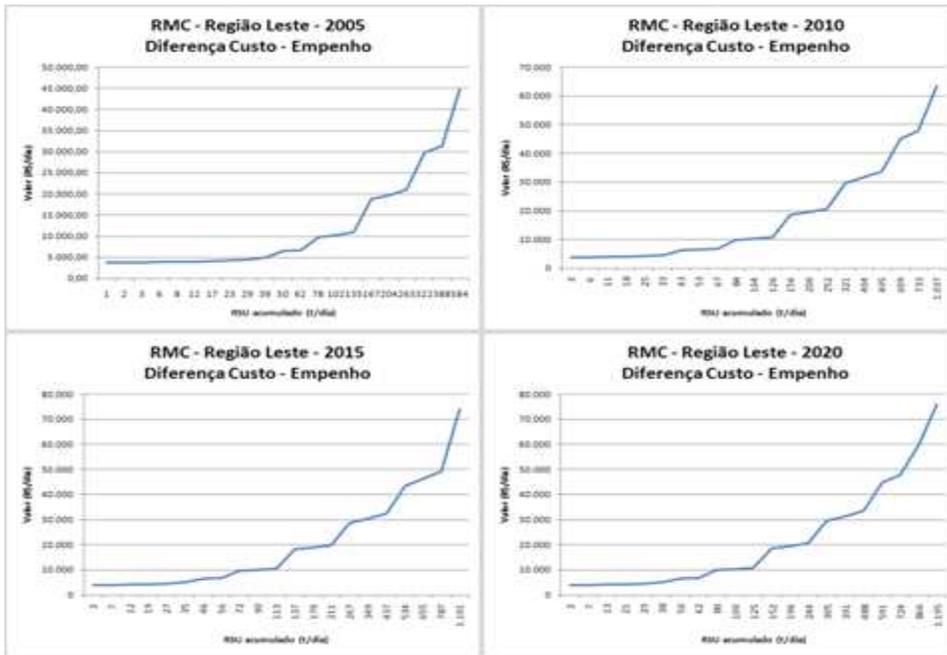


Figura A.20 Diferença custos x empenho – Região Leste

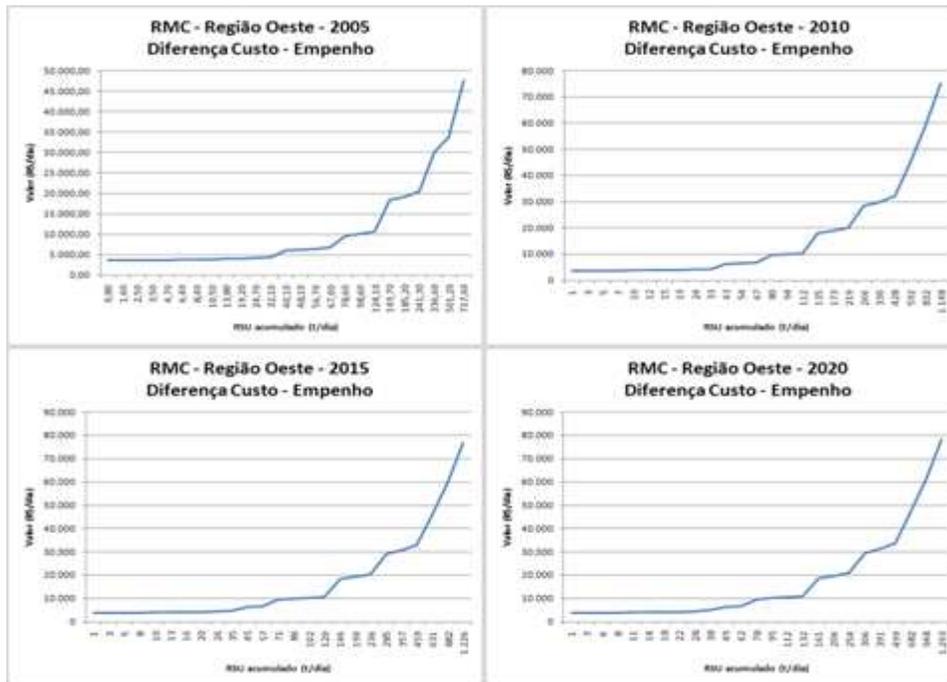


Figura A.21 Diferença custos x empenho – Região Oeste

Apêndice 4. Análise da Região Metropolitana de São Paulo

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) demandou estudos adicionais devido ao porte de geração da região como um todo e à diferença de distribuição na geração de RSU, que ocorre de forma concentrada na cidade de São Paulo, centro da região administrativa, e de forma distribuída nas demais partes da região.

Foram efetuados todos os tipos de análise anteriores, para verificar se a formação de agrupamentos de formas diferentes poderia ter diferentes influências na capacidade econômico-financeira dos municípios para suportar os investimentos requeridos. A metodologia aplicada para estudo de viabilidade do processamento do lixo por instalações WPC foi a mesma dos casos anteriores, verificando os efeitos da formação de grupos pelos municípios para um processamento comum e para se beneficiarem dos efeitos de sinergia e escala, comparando o total de investimentos necessários e os valores empenhados atualmente para o mesmo porte de processamento do lixo.

A cidade de São Paulo foi separada do restante dos municípios da região (38) e considerada como fonte geradora individual, devido ao seu porte de geração. Os demais municípios foram submetidos a análises de formação de agrupamentos, com otimização dos resultados de custos totais, para determinar a influência exercida pelas diferentes configurações.

A RMSP apresenta uma configuração geográfica em que a cidade de São Paulo está situada em posição central da região e os municípios formam um “U” invertido ao seu redor, levando a quatro extremos e quatro posições intermediárias, conforme ilustrado na Figura A.22. Ao considerar o comportamento dos custos logísticos envolvidos, esse formato induz à formação dos agrupamentos a partir dos municípios localizados nos extremos e nas posições intermediárias, avançando em direção ao centro e englobando os municípios adjacentes.



Figura A.22 Configuração geográfica da RMSP ao redor de São Paulo

Assim como na seção 6.2, as variações examinadas de análise levaram a resultados similares de comportamento das taxas de crescimento, com variações

desprezíveis devido aos participantes de cada grupo. Ao se realizar a estratificação dos valores de agrupamento, os resultados invariavelmente assumiram comportamento similar. Constatou-se que essa seqüência de formar os agrupamentos apresentava significativa coincidência com as regiões administrativas oficiais. Decidiu-se, então, adotar o agrupamento por região administrativa como representativo, realizando a estratificação segundo a geração de RSU, base para a geração dos demais valores.

Com base na geração de RSU e na distribuição geográfica dos municípios, os cálculos de otimização indicaram que seria possível formar agrupamentos ideais na forma das regiões (municípios listados em ordem crescente de geração de RSU):

- Norte, formada por Cajamar, Mairiporã, Caieiras, Franco da Rocha e Francisco Morato;
- Nordeste, formada por Arujá, Santa Isabel, Itaquaquecetuba e Guarulhos;
- Leste (ou Noroeste), formada por Salesópolis, Guararema, Biritiba Mirim, Poá, Ferraz de Vasconcelos, Suzano e Mogi das Cruzes.
- Sudeste ABC (ou Sul), formada por Rio Grande da Serra, Ribeirão Pires, São Caetano do Sul, Diadema, Mauá, Santo André e São Bernardo do Campo;
- Sudoeste, formada por São Lourenço da Serra, Juquitiba, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Taboão da Serra e Embu;
- Oeste, formada por Vargem Grande Paulista, Jandira, Santana de Parnaíba, Cotia, Itapevi, Barueri, Carapicuíba e Osasco.

A Figura A.23 ilustra o posicionamento dos municípios e regiões da RMSP, distribuídos geograficamente ao redor da Cidade de São Paulo. Não foi considerada a

possibilidade de interação das regiões com as outras que lhes são adjacentes, devido ao critério anterior de manter as regiões administrativas do Estado como unidades.

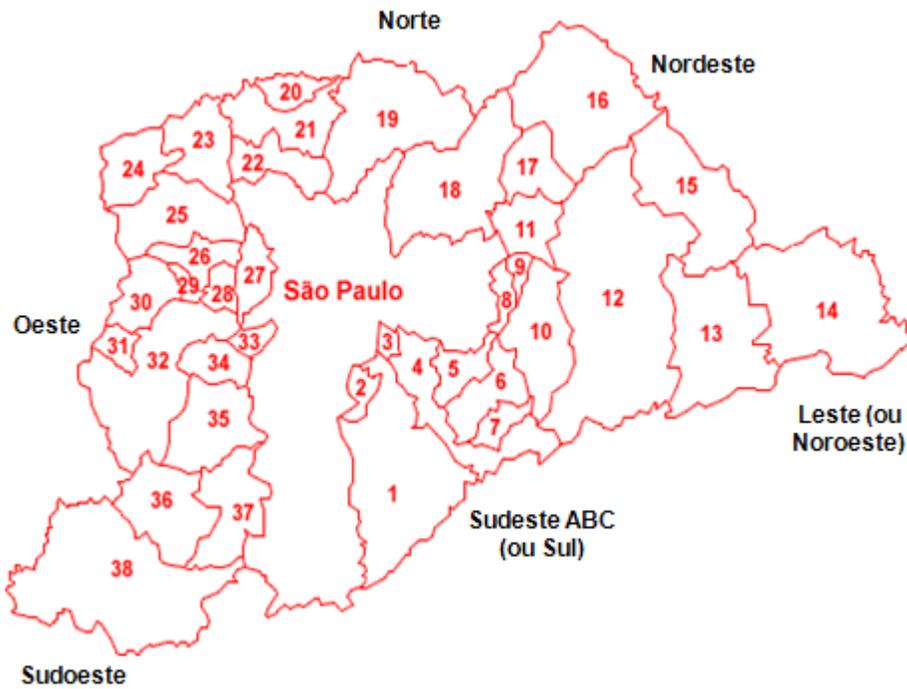


Figura A.23 Distribuição geográfica das regiões - RMSP

Para efeito de cálculos foram utilizados os dados indicados na seção 3.2. Na seção 6.2 foram utilizados os dados para o enfoque individual do cálculo de viabilidade. Na seção 6.3 o enfoque foi dado para a formação de grupos, o que obrigatoriamente levou à necessidade de considerar os custos logísticos agregados pela movimentação do lixo entre as fontes geradoras e a usina para o processamento do volume total gerado pelos municípios e destinado a tratamento.

A.4.1. Custo da usina em relação ao empenho atual

As análises mostraram que todas as formações de grupos apresentam custos futuros superiores aos valores dispendidos hoje para o processamento dos mesmos volumes de lixo, ao longo da formação de grupos. Ocorre significativa influência dos custos logísticos na formação dos custos totais, cujos valores aumentam ao longo do aumento do porte de agrupamento e do aumento do volume de RSU a ser processado.

As Figuras A.24 a A.29 ilustram os diversos comportamentos das curvas de valores para os agrupamentos das regiões formadas pelos municípios da RMSP.

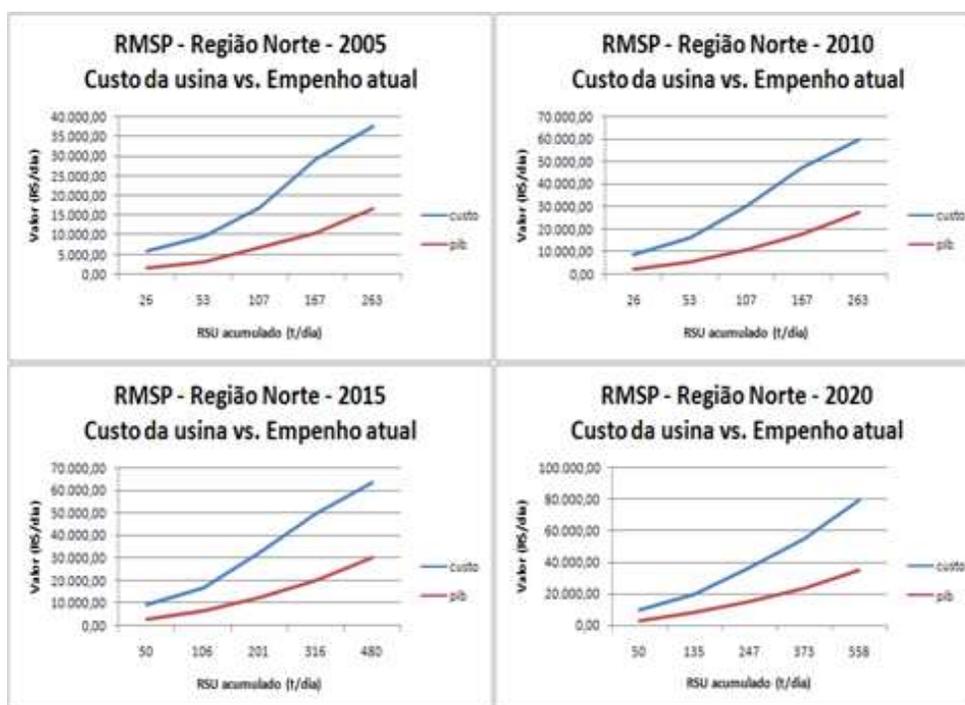


Figura A.24 Custo da usina em relação ao empenho – Região Norte

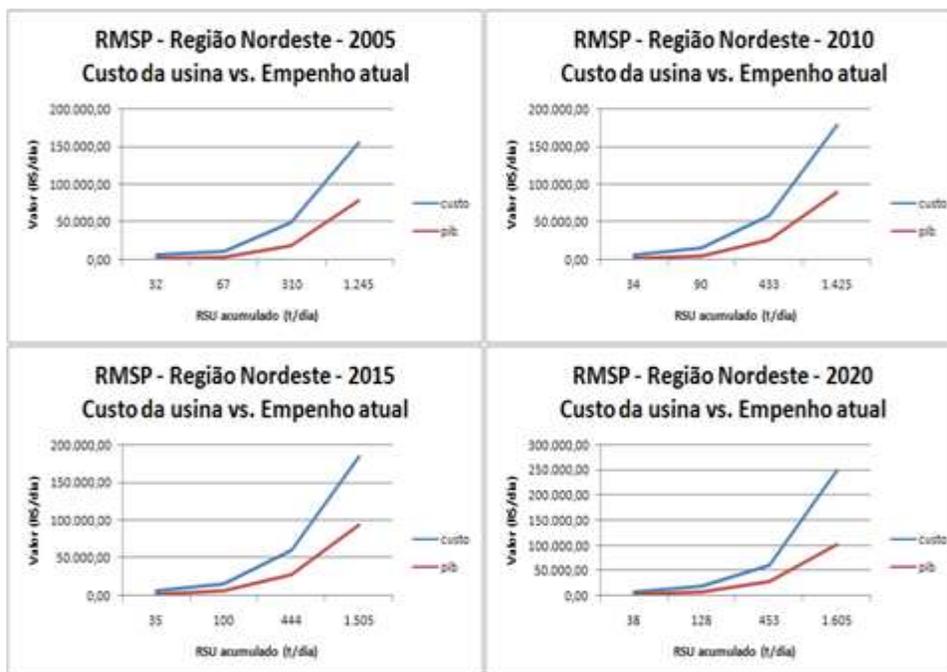


Figura A.25 Custo da usina em relação ao empenho – Região Nordeste

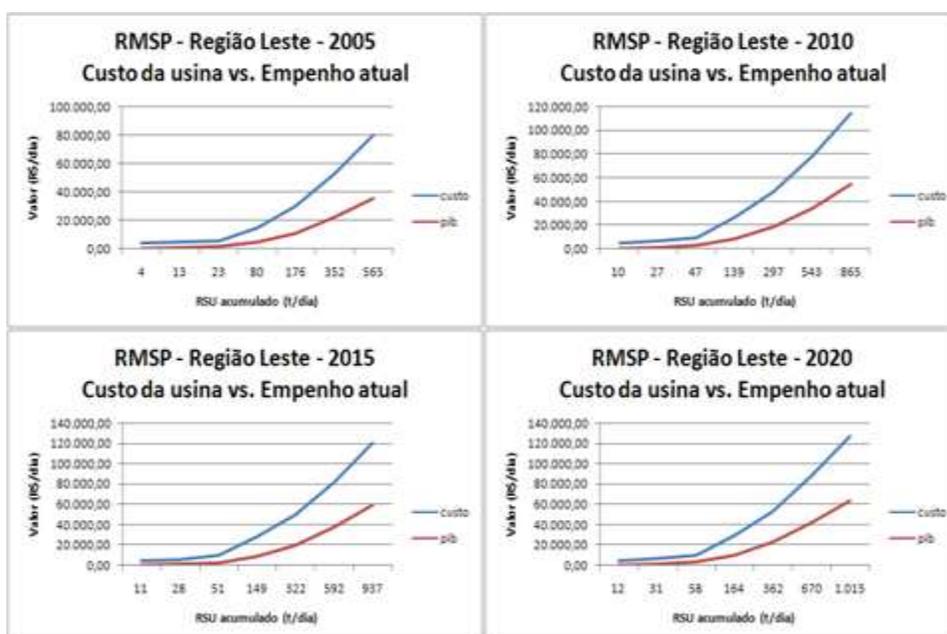


Figura A.26 Custo da usina em relação ao empenho – Região Leste

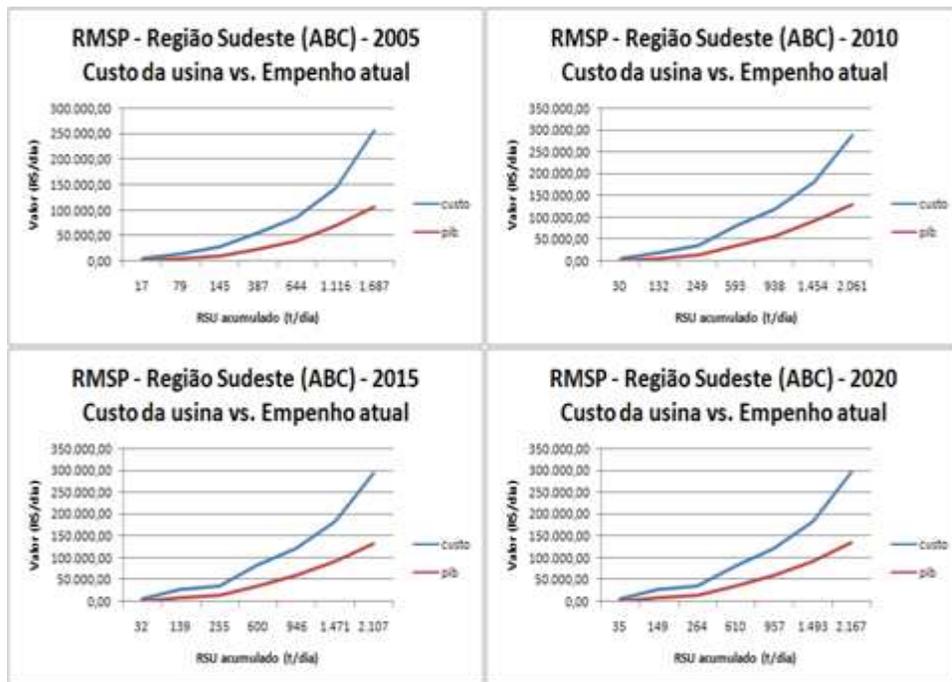


Figura A.27 Custo da usina em relação ao empenho – Região Sudeste ABC

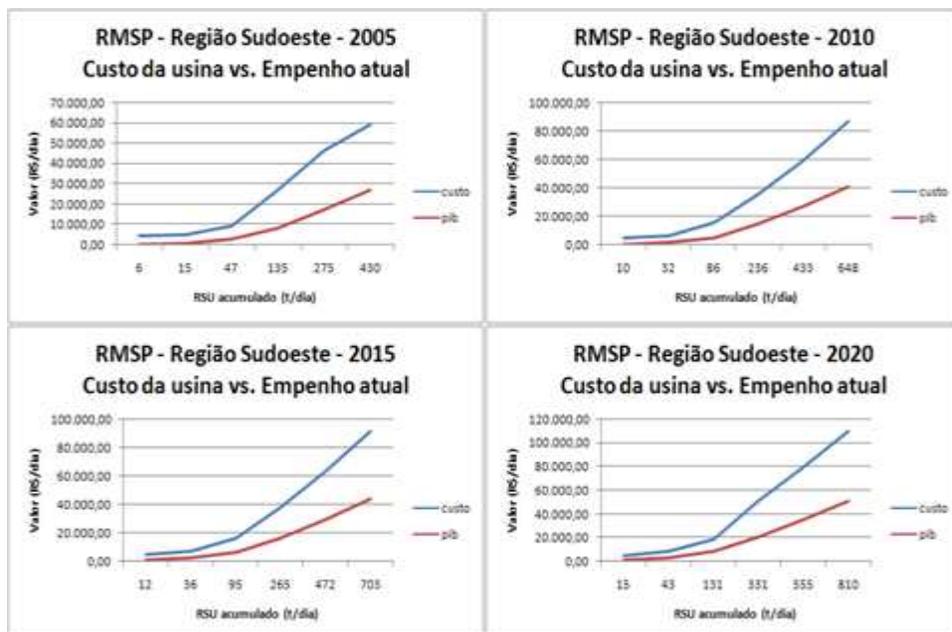


Figura A.28 Custo da usina em relação ao empenho – Região Sudoeste

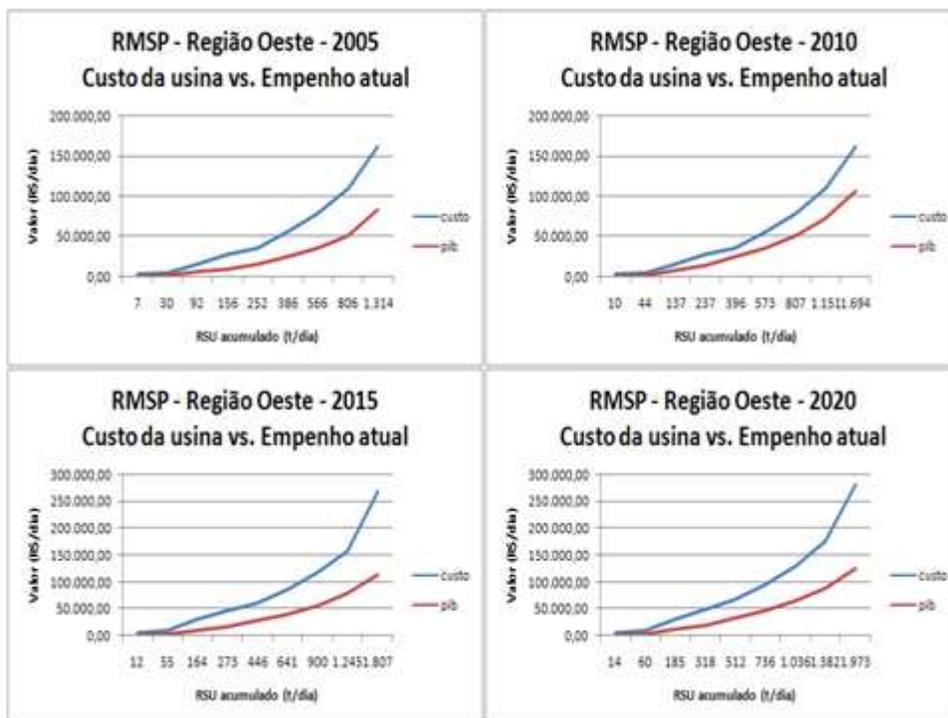


Figura A.29 Custo da usina em relação ao empenho – Região Oeste

A.4.2. Custo da usina em relação ao PIB

As Figuras A.30 a A.35 ilustram os diversos comportamentos das curvas de valores para os agrupamentos formados pelos municípios da RMSP.

A Figura A.30 ilustra um comportamento regular de elevação, indicando que o crescimento dos custos de investimento e logísticos ultrapassa o crescimento do valor disponível para disposição do RSU gerado na formação do agrupamento.

A Figura A.31 mostra um comportamento que representa uma queda acentuada até certo ponto (um terço até metade) da quantidade de municípios envolvidos na formação do grupo e inversão para crescimento no terço seguinte da curva, ao longo do

aumento do volume de RSU a ser processado na região. Isso demonstra inversão no equilíbrio entre os efeitos de aumento de volume de RSU e aumento do PIB gerado (valores diários), compensando o efeito de aumento dos custos logísticos e evidenciando os benefícios de escala no primeiro terço da curva.

No segundo terço, indica que os municípios de maior porte passam a participar com maior geração de RSU em relação à geração de PIB, aumentando o percentual dos investimentos totais em relação ao total do respectivo PIB gerado. Demonstra também redução na eficiência de geração do PIB *per capita*.

No terceiro terço a tendência se inverte, voltando a prevalecer o efeito de compensação do aumento dos custos logísticos e de investimento e evidenciando os benefícios de escala.

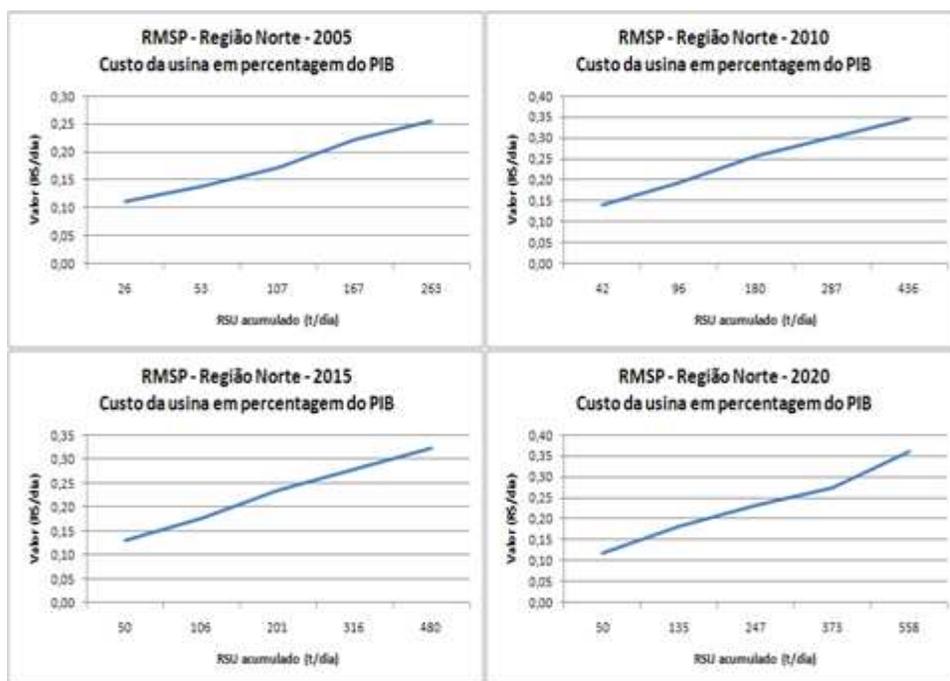


Figura A.30 Custo da usina em relação ao PIB – Região Norte

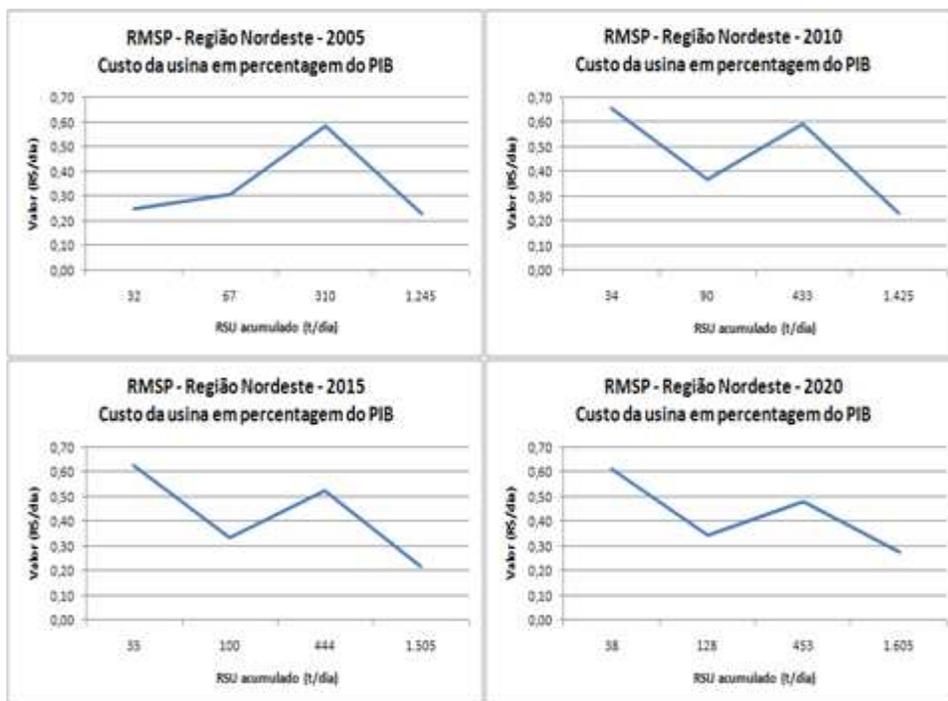


Figura A.31 Custo da usina em relação ao PIB – Região Nordeste

As Figuras A.32, A.34 e A.35 mostram o comportamento que representa uma queda acentuada no início da formação do grupo e relativa estabilização ao longo do aumento do volume de RSU a ser processado na região.

Isso demonstra relativo equilíbrio entre os efeitos de aumento de volume de RSU e aumento do PIB gerado (valores diários), compensando o efeito de aumento dos custos logísticos e evidenciando os benefícios de escala.

A Figura A.33 ilustra um comportamento que representa uma queda acentuada na primeira metade da formação do agrupamento, seguida de leve tendência para elevação na segunda metade.

Isso demonstra que, na primeira metade, ocorre uma compensação dos custos logísticos e de investimento, evidenciando os benefícios de escala, e que, na segunda

metade, os municípios de maior porte participantes passam a participar com maior geração de RSU em relação à geração de PIB, aumentando o percentual dos investimentos totais em relação ao total do respectivo PIB gerado.

Demonstra também redução na eficiência de geração do PIB *per capita*.

Nota-se que não há padrão aparente e esses valores representam os resultados de configurações mais complexas de valores. Cabe então analisar de que forma os componentes dessas configurações influenciam os resultados de viabilidade.

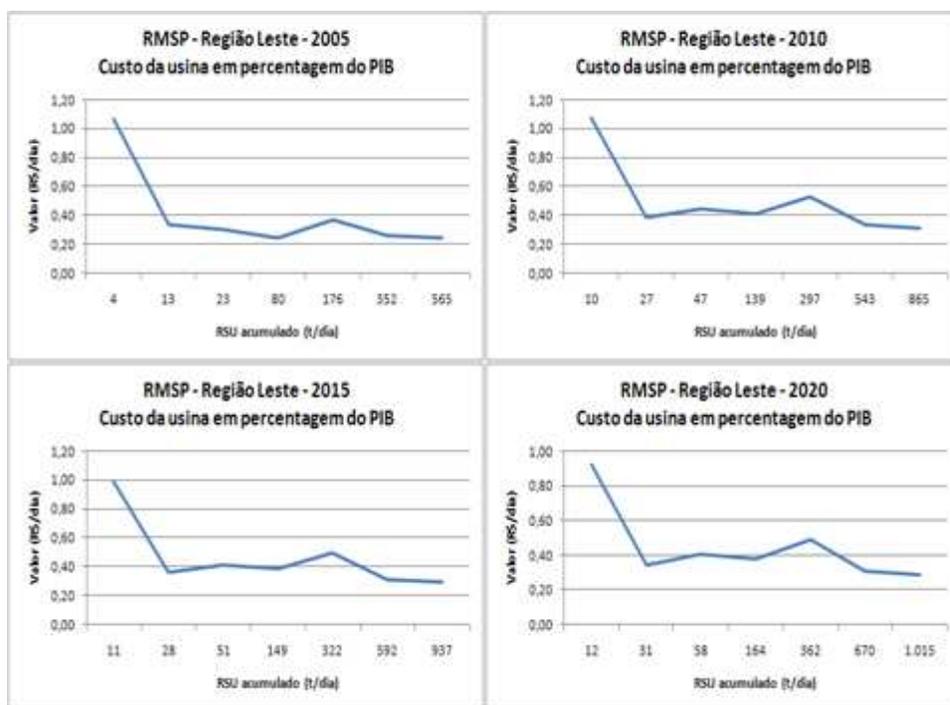


Figura A.32 Custo da usina em relação ao PIB – Região Leste

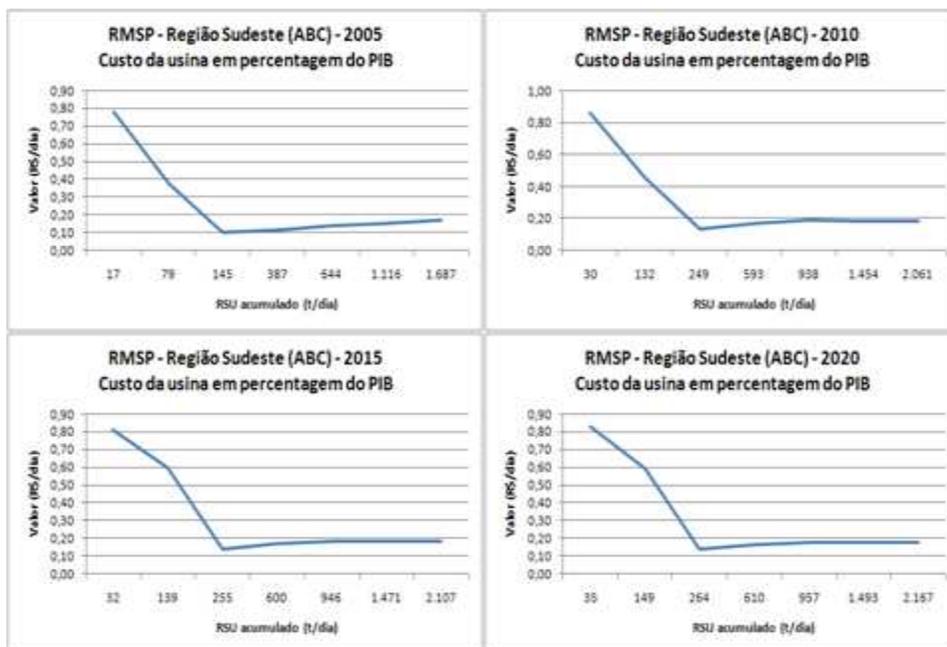


Figura A.33 Custo da usina em relação ao PIB – Região Sudeste (ABC)

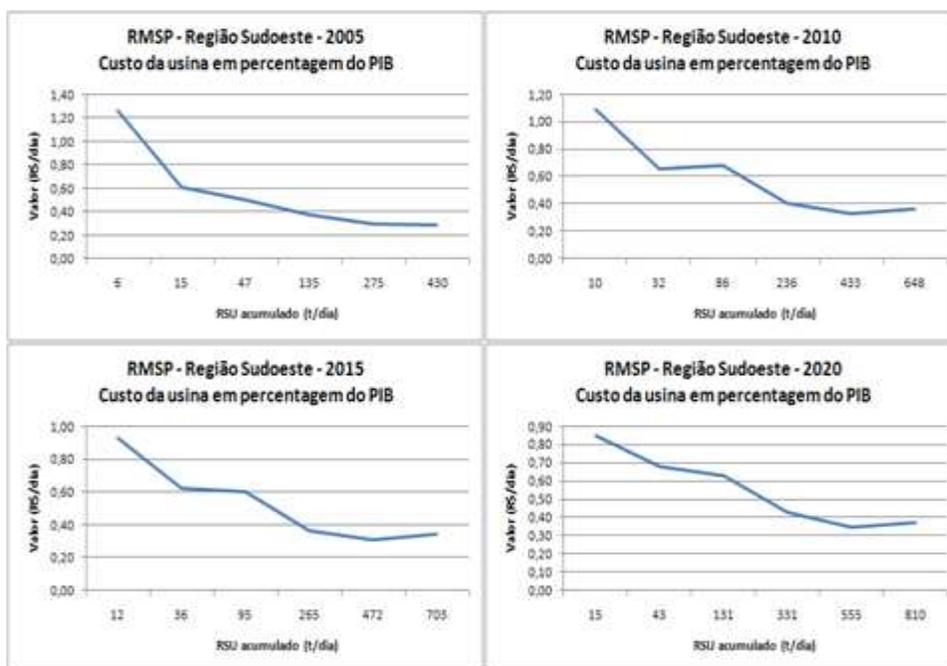


Figura A.34 Custo da usina em relação ao PIB – Região Sudoeste

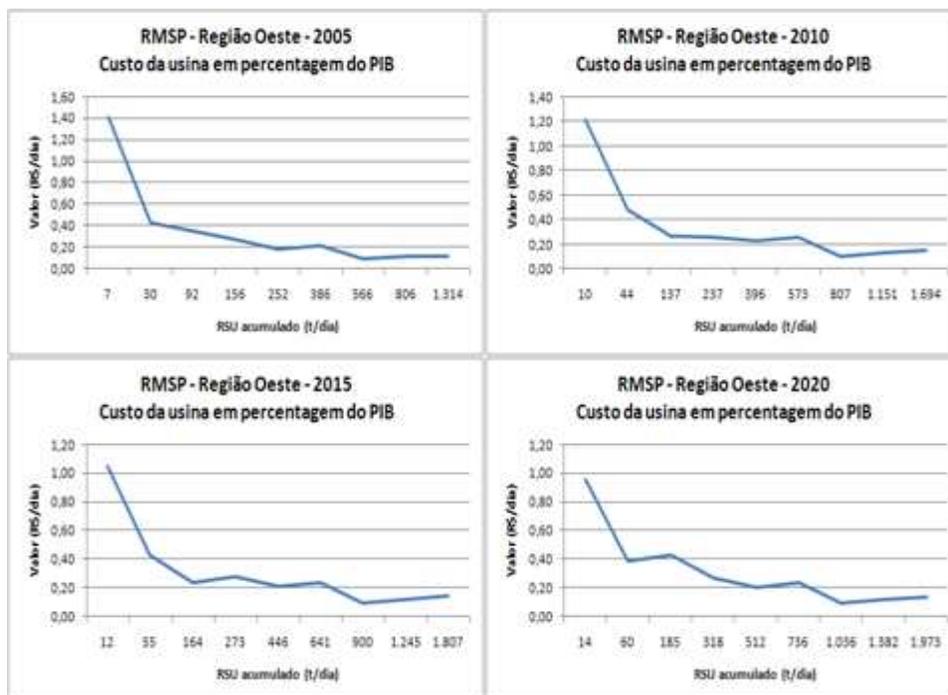


Figura A.35 Custo da usina em relação ao PIB – Região Oeste

A.4.3. Custo da usina e custos logísticos em relação ao empenho

A análise verificou a influência dos componentes dos custos totais dos diversos portes de usina, em relação aos recursos atualmente dispendidos para a disposição do lixo, para melhor entendimento das efetivas participação e influência de cada um deles, dos comportamentos diferentes e de seu efeito combinado (análise na seção 6.3).

Para efeito de cálculos foram utilizados os dados indicados na seção 3.2, além dos dados do PIB gerado (IBGE, 2008b). Foram considerados os custos logísticos agregados pela movimentação do lixo entre as fontes geradoras e a usina de processamento do volume total. As Figuras A.36 a A.41 ilustram essas curvas.

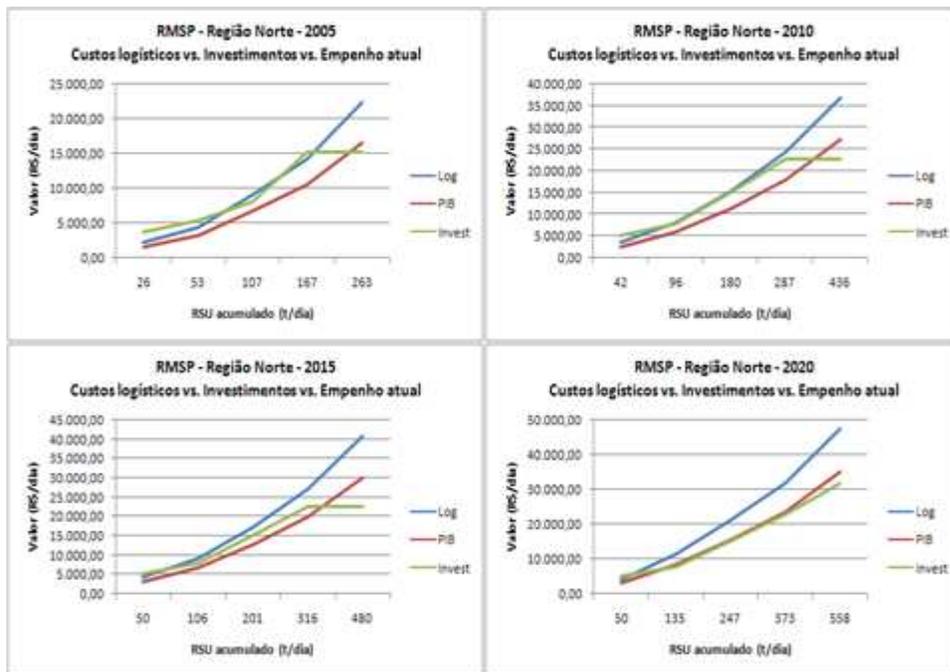


Figura A.36 Comportamento de custos – Região Norte

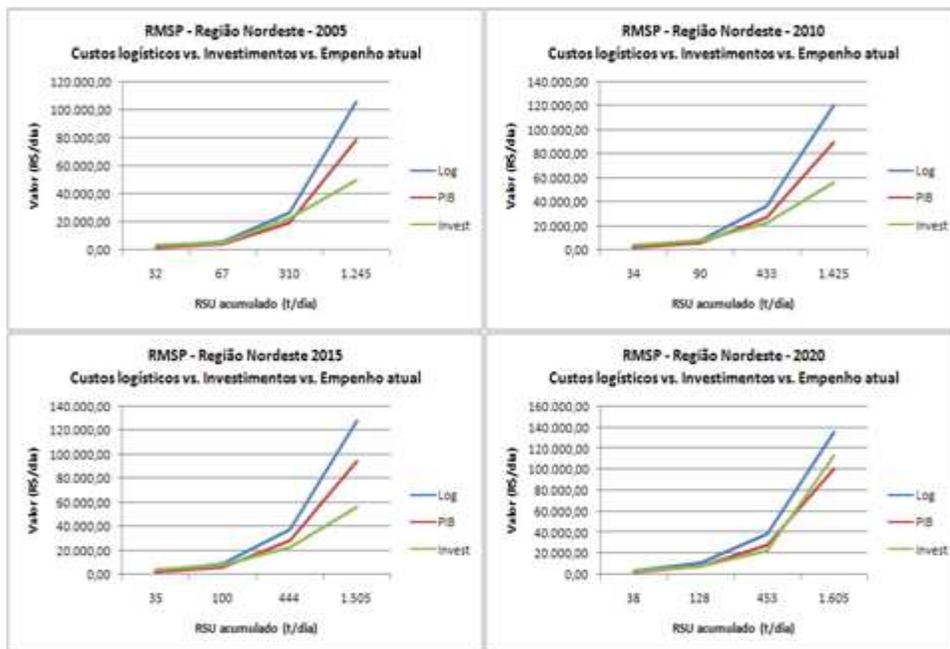


Figura A.37 Comportamento de custos – Região Nordeste

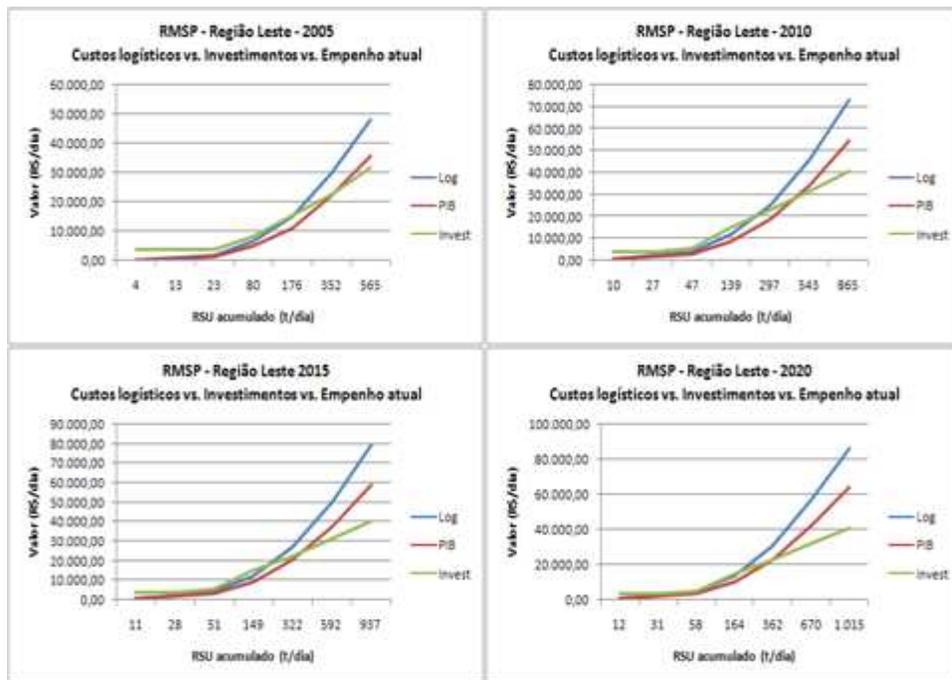


Figura A.38 Comportamento de custos – Região Leste

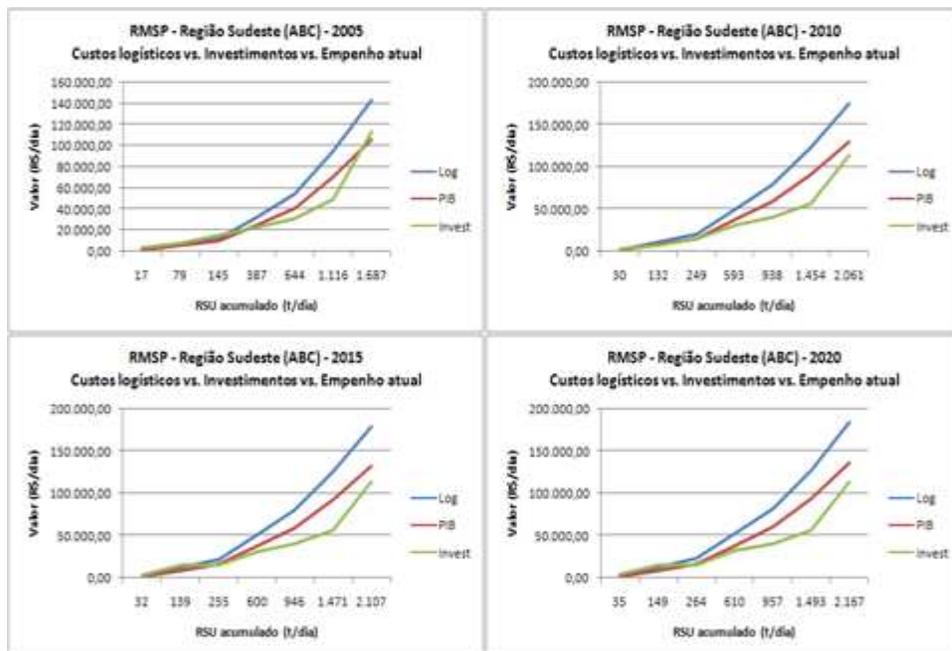


Figura A.39 Comportamento de custos – Região Sudeste (ABC)

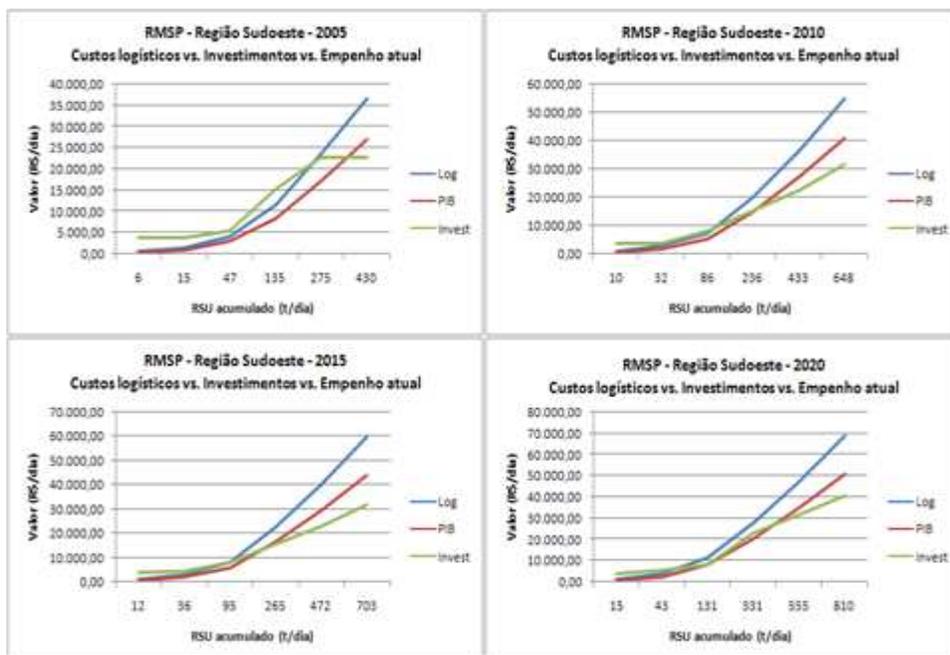


Figura A.40 Comportamento de custos – Região Sudoeste

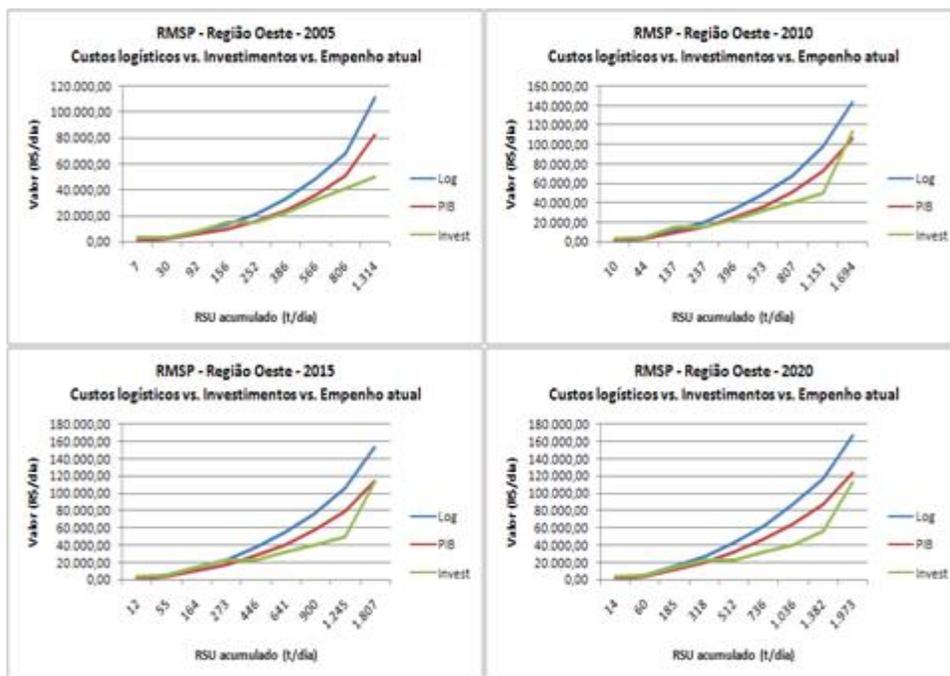


Figura A.41 Comportamento de custos – Região Oeste

Verificou-se que todas as curvas de todas as regiões analisadas apresentaram comportamento similar para os componentes de custos em relação ao empenho atual. Também apresentaram os mesmos comportamentos em relação às três fases distintas do conjunto de curvas ao longo do processo de formação dos agrupamentos (inicialização, transição e finalização).

Para facilitar as análises de comportamento dos valores em relação ao processo de formação de agrupamentos, todas as curvas se referenciaram pelo valor base de geração de RSU, considerado o mais fundamental na evolução da formação do agrupamento. O conjunto das seqüências de valores foi devidamente estratificado, iniciando pelo menor valor e terminando pelo maior valor. Todas as curvas iniciam por seus menores valores, facilitando a leitura e a interpretação dos gráficos das figuras.

A.4.4. Diferença entre custos e empenho

A análise verificou a necessidade de complementação de recursos financeiros para atendimento aos investimentos requeridos, em relação ao empenho atual. Os resultados demonstraram que, mantidos os níveis de empenho atuais, nenhuma região da RMSP teria capacidade financeira suficiente para suportar os investimentos necessários para a implantação de usinas de processamento de RSU.

Para efeito de cálculos foram utilizados os dados indicados na seção 3.2, além dos dados do PIB gerado, conforme IBGE (2008b). Foram considerados os custos logísticos agregados pela movimentação do lixo entre as fontes geradoras e a usina de processamento do RSU total. As Figuras A.42 a A.47 ilustram as curvas.

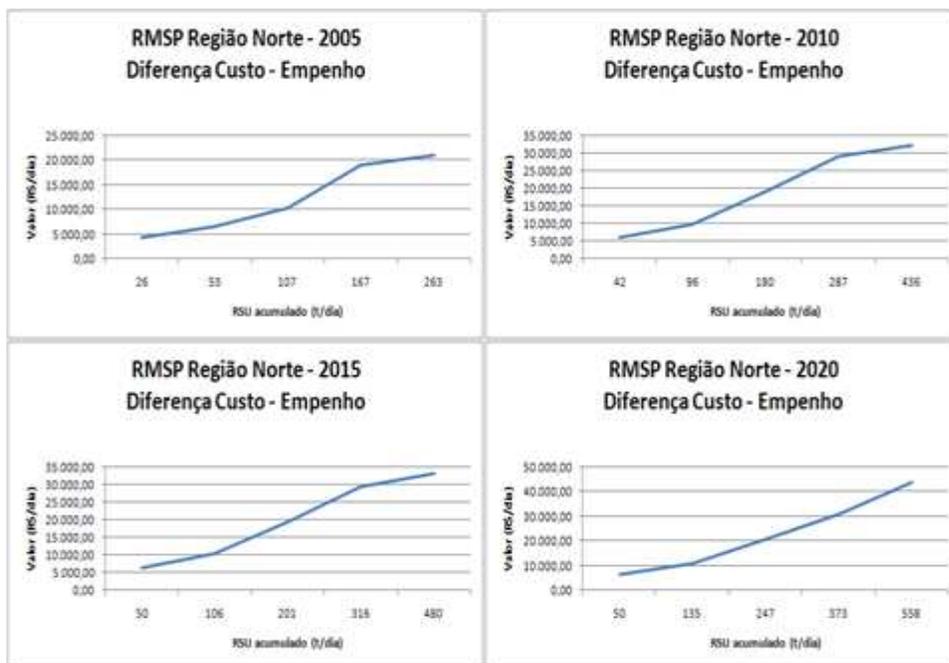


Figura A.42 Diferença custos x empenho – Região Norte

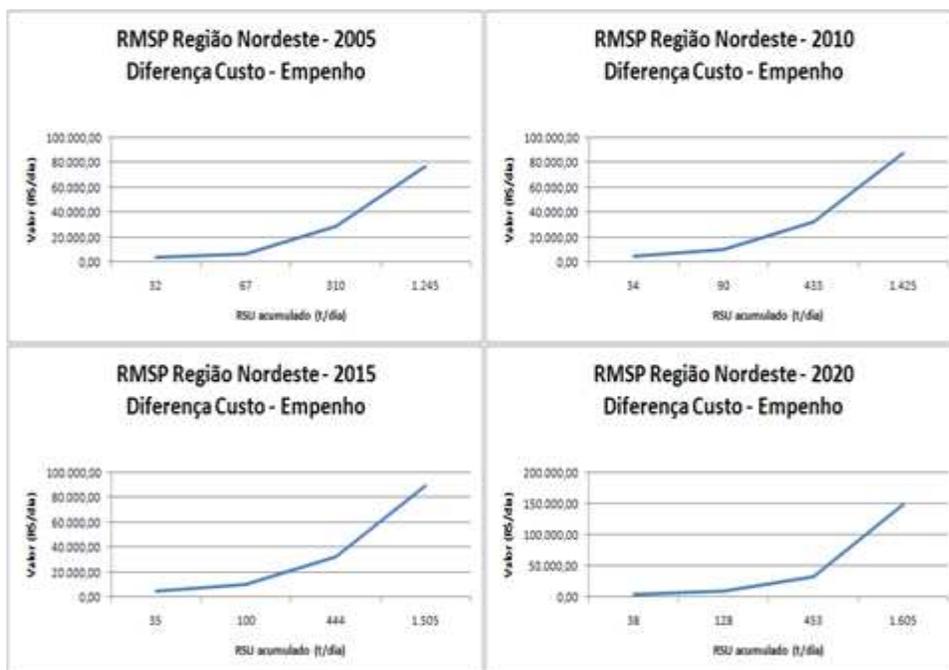


Figura A.43 Diferença custos x empenho – Região Nordeste

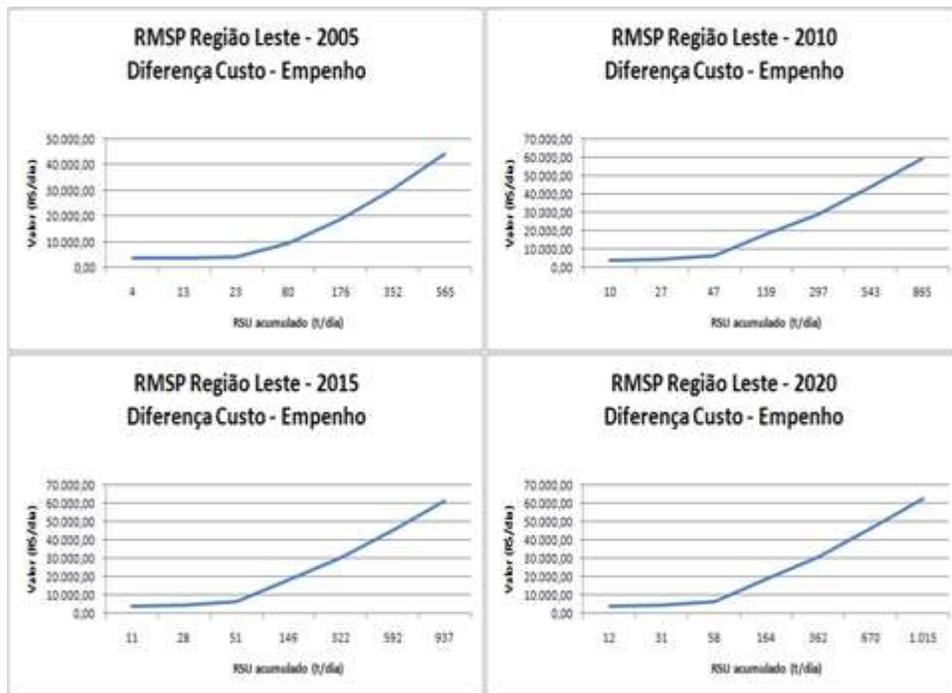


Figura A.44 Diferença custos x empenho – Região Leste

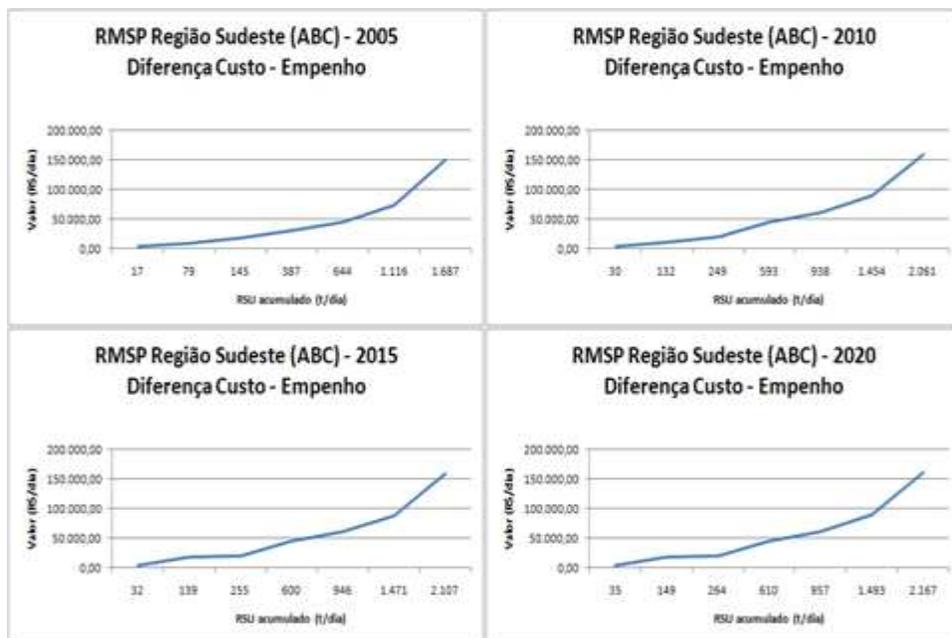


Figura A.45 Diferença custos x empenho – Região Sudeste (ABC)

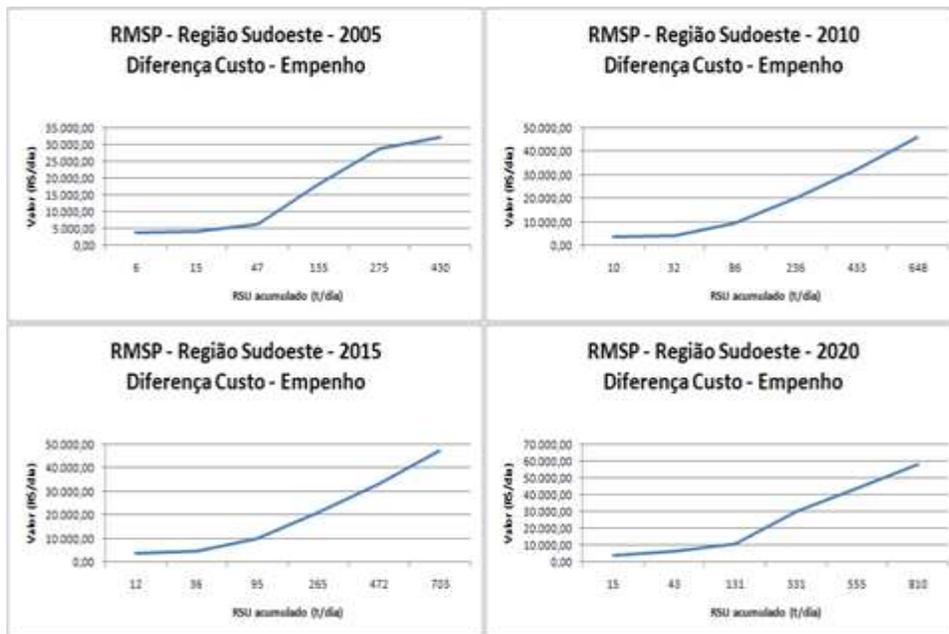


Figura A.46 Diferença custos x empenho – Região Sudoeste

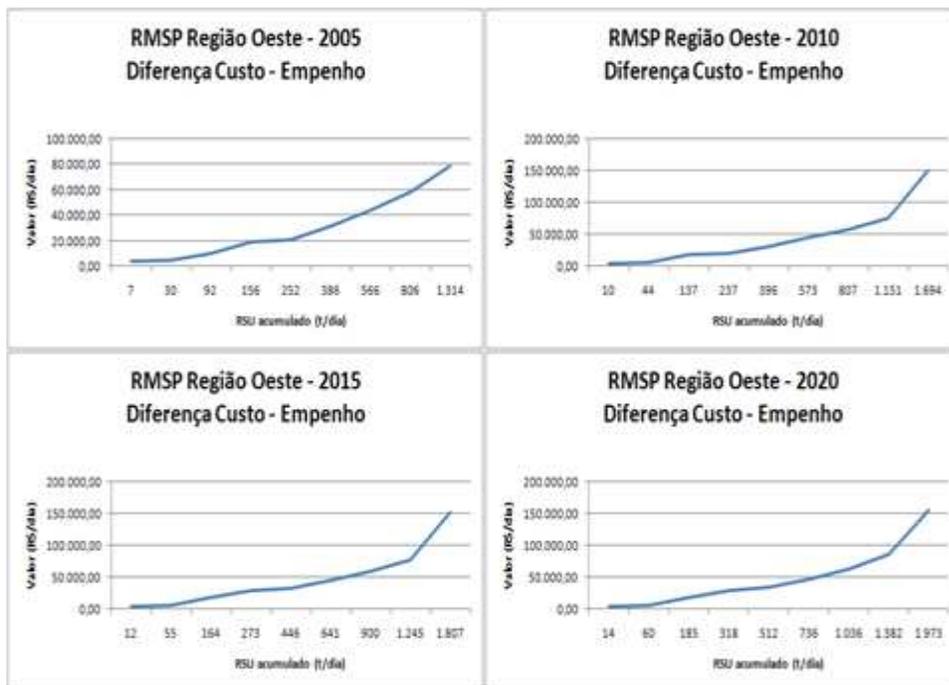


Figura A.47 Diferença custos x empenho – Região Oeste

Apêndice 5. Análise da Cidade de São Paulo

A Cidade de São Paulo demandou estudos adicionais devido ao porte de geração de RSU da cidade como um todo, que ocorre de forma concentrada na cidade de São Paulo, centro da região administrativa, e de forma distribuída nos demais municípios da região. O problema central para a análise da Cidade de São Paulo é caracterizado por conurbação contínua e orgânica de áreas pertencentes a diversos bairros e municípios contíguos, praticamente desprezando fronteiras, e por forte concentração da população, gerando contínuo desenvolvimento de um complexo sistema de polos de concentração de atividades.

A falta de dados representativos dos bairros constituintes da Cidade de São Paulo levou à consideração de uma densidade homogênea de geração de RSU em todo o seu território, para efeito de cálculo de distribuição e formação de agrupamentos. A realidade da geração de PIB por bairros não é conhecida e não seria prudente estimar ou distribuir valores nas análises, pois nesse caso a relação entre as curvas estaria diretamente dependente das taxas de geração de RSU *per capita* e das taxas de geração de PIB *per capita*, que praticamente estariam dependentes do valor atribuído à população e conhecido e estimado para diversos períodos (IBGE, 2008b). A razão entre os dois fatores seria, portanto, uma constante, e a análise perderia seu sentido.

A Figura A.48 ilustra a distribuição geográfica dos bairros e regiões na Cidade de São Paulo e a Tabela A.29 indica os dados utilizados para análise.

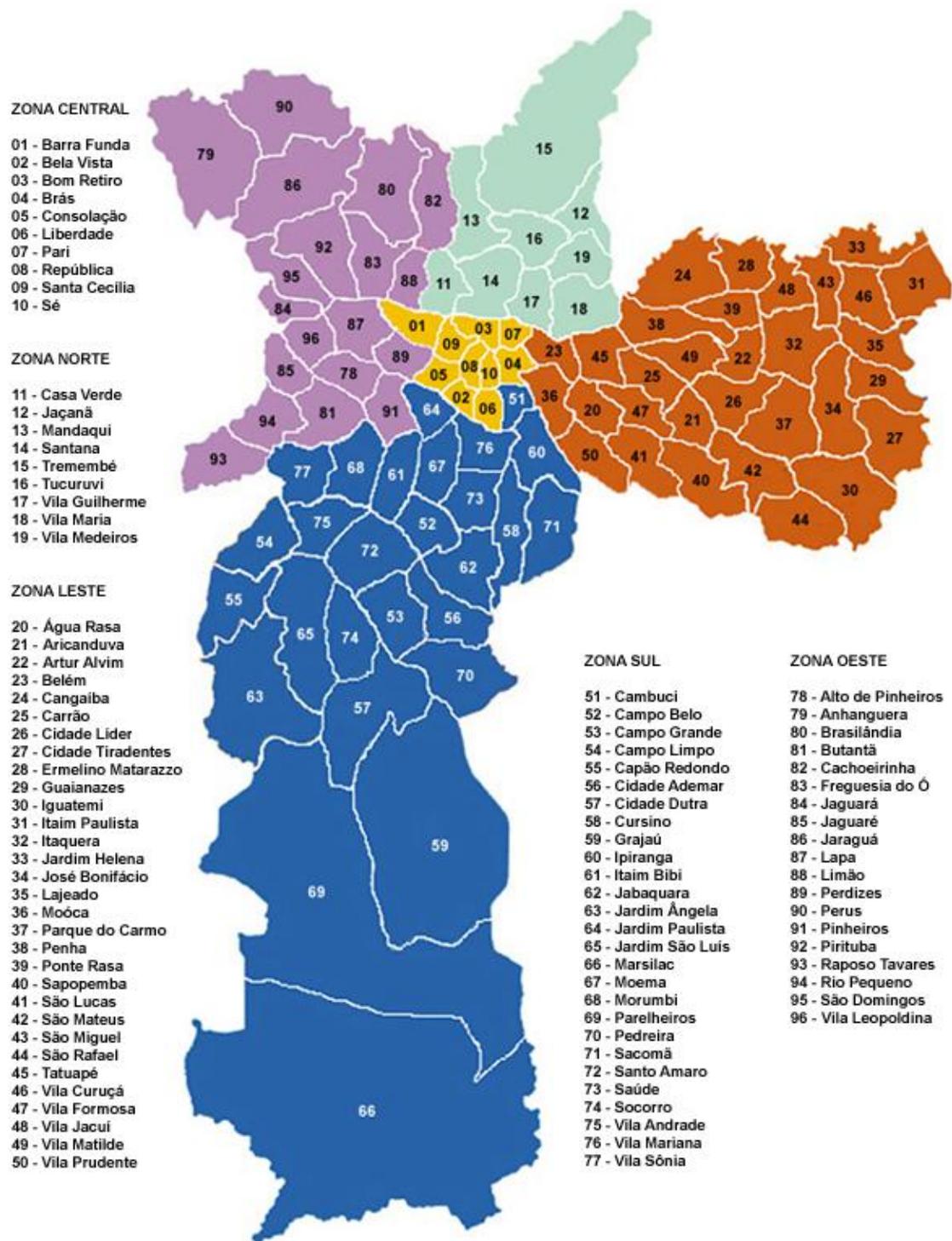


Figura A.48 Distribuição geográfica de regiões e bairros – São Paulo

Tabela A.29 Regiões propostas para a Cidade de São Paulo 2005

Unidades territoriais	População 2005	Lixo gerado t/dia	Região oficial original	Região nova proposta	t/dia	t/dia	t/dia	t/dia	t/dia
					Norte	Sul	Leste	Oeste	Centr.
					3.189,0	3.135,0	4.748,3	1.627,7	0,0
Lapa	268.013	316,8	oeste	norte	316,8				
Barra Funda	12.974	15,3	oeste	norte	15,3				
Jaguara	24.888	29,4	oeste	norte	29,4				
Jaguaré	41.986	49,6	oeste	norte	49,6				
Lapa	59.566	70,4	oeste	norte	70,4				
Perdizes	100.065	118,3	oeste	norte	118,3				
Vila Leopoldina	28.534	33,7	oeste	norte	33,7				
Sé	359.853	425,4	central	norte	425,4				
Bela Vista	60.182	71,1	central	norte	71,1				
Bom Retiro	27.573	32,6	central	norte	32,6				
Cambuci	29.240	34,6	central	norte	34,6				
Consolação	49.659	58,7	central	norte	58,7				
Liberdade	59.793	70,7	central	norte	70,7				
República	45.224	53,5	central	norte	53,5				
Santa Cecília	67.323	79,6	central	norte	79,6				
Sé	20.858	24,7	central	norte	24,7				
Penha	473.976	560,3	leste	leste			560,3		
Artur Alvim	108.015	127,7	leste	leste			127,7		
Cangaíba	144.555	170,9	leste	leste			170,9		
Penha	120.929	142,9	leste	leste			142,9		
Vila Matilde	100.478	118,8	leste	leste			118,8		
Ermelino Matarazzo	207.556	245,3	leste	leste			245,3		
Ermelino Matarazzo	111.728	132,1	leste	leste			132,1		
Ponte Rasa	95.828	113,3	leste	leste			113,3		
São Miguel	396.529	468,7	leste	leste			468,7		
Jardim Helena	146.351	173,0	leste	leste			173,0		
São Miguel	95.170	112,5	leste	leste			112,5		
Vila Jacuí	155.008	183,2	leste	leste			183,2		
Itaim Paulista	381.532	451,0	leste	leste			451,0		
Itaim Paulista	227.020	268,3	leste	leste			268,3		
Vila Curuçá	154.512	182,6	leste	leste			182,6		
Mooca	302.029	357,0	leste	leste			357,0		
Água Rasa	82.171	97,1	leste	leste			97,1		
Belém	37.876	44,8	leste	leste			44,8		
Brás	25.890	30,6	leste	norte	30,6				
Moóca	63.195	74,7	leste	leste			74,7		
Parí	15.462	18,3	leste	norte	18,3				
Tatuapé	77.436	91,5	leste	leste			91,5		
Aricanduva/Formosa/ Carrão	260.252	307,6	leste	leste			307,6		
Aricanduva	93.904	111,0	leste	leste			111,0		
Carrão	74.701	88,3	leste	leste			88,3		
Vila Formosa	91.646	108,3	leste	leste			108,3		
Itaquera	509.135	601,8	leste	leste			601,8		
Cidade Líder	123.617	146,1	leste	leste			146,1		
Itaquera	210.973	249,4	leste	leste			249,4		
José Bonifácio	107.678	127,3	leste	leste			127,3		
Parque do Carmo	66.868	79,0	leste	leste			79,0		
Guaianases	276.521	326,9	leste	leste			326,9		
Guaianases	104.946	124,1	leste	leste			124,1		
Lajeado	171.576	202,8	leste	leste			202,8		
Vila Prudente/ Sapopemba	526.070	621,8	leste	leste			621,8		
São Lucas	137.638	162,7	leste	leste			162,7		

Sapopemba	289.234	341,9	leste	leste			341,9		
Vila Prudente	99.198	117,3	leste	leste			117,3		
São Mateus	408.986	483,4	leste	leste			483,4		
Iguatemi	114.303	135,1	leste	leste			135,1		
São Mateus	156.625	185,1	leste	leste			185,1		
São Rafael	138.058	163,2	leste	leste			163,2		
Cidade Tiradentes	205.292	242,7	leste	leste			242,7		
Cidade Tiradentes	205.292	242,7	leste	leste			242,7		
Perus	123.881	146,4	norte	norte	146,4				
Anhanguera	46.000	54,4	norte	norte	54,4				
Perus	77.882	92,1	norte	norte	92,1				
Pirituba	420.519	497,1	norte	norte	497,1				
Jaraguá	170.887	202,0	norte	norte	202,0				
Pirituba	162.778	192,4	norte	norte	192,4				
São Domingos	86.854	102,7	norte	norte	102,7				
Freguesia/Brasilândia	405.326	479,1	norte	norte	479,1				
Brasilândia	263.840	311,9	norte	norte	311,9				
Freguesia do Ó	141.485	167,2	norte	norte	167,2				
Casa Verde/ Cachoeirinha	313.441	370,5	norte	norte	370,5				
Cachoeirinha	152.599	180,4	norte	norte	180,4				
Casa Verde	79.577	94,1	norte	norte	94,1				
Limão	81.266	96,1	norte	norte	96,1				
Santana/Tucuruvi	314.675	372,0	norte	norte	372,0				
Mandaqui	102.513	121,2	norte	norte	121,2				
Santana	118.306	139,8	norte	norte	139,8				
Tucuruvi	93.855	110,9	norte	norte	110,9				
Jaçanã/Tremembé	267.212	315,9	norte	norte	315,9				
Jaçanã	92.371	109,2	norte	norte	109,2				
Tremembé	174.841	206,7	norte	norte	206,7				
Vila Maria/Vila Guilherme	294.025	347,6	norte	norte	347,6				
Vila Guilherme	49.152	58,1	norte	norte	58,1				
Vila Maria	110.456	130,6	norte	leste			130,6		
Vila Medeiros	134.417	158,9	norte	norte	158,9				
Butantã	380.316	449,6	oeste	oeste				449,6	
Butantã	50.335	59,5	oeste	oeste				59,5	
Morumbi	33.418	39,5	oeste	oeste				39,5	
Raposo Tavares	94.044	111,2	oeste	oeste				111,2	
Rio Pequeno	113.850	134,6	oeste	oeste				134,6	
Vila Sônia	88.669	104,8	oeste	oeste				104,8	
Pinheiros	265.170	313,4	oeste	oeste				313,4	
Alto de Pinheiros	41.918	49,5	oeste	oeste				49,5	
Itaim Bibi	80.999	95,7	oeste	oeste				95,7	
Jardim Paulista	79.867	94,4	oeste	oeste				94,4	
Pinheiros	62.387	73,7	oeste	oeste				73,7	
Vila Mariana	304.291	359,7	sul	oeste				359,7	
Moema	71.390	84,4	sul	oeste				84,4	
Saúde	114.674	135,6	sul	oeste				135,6	
Vila Mariana	118.227	139,8	sul	oeste				139,8	
Ipiranga	427.241	505,0	sul	oeste				505,0	
Cursino	97.383	115,1	sul	oeste				115,1	
Ipiranga	96.809	114,4	sul	oeste				114,4	
Sacomã	233.049	275,5	sul	oeste				275,5	
Santo Amaro	219.117	259,0	sul	sul	259,0				
Campo Belo	64.523	76,3	sul	sul	76,3				
Campo Grande	94.126	111,3	sul	sul			111,3		
Santo Amaro	60.469	71,5	sul	sul			71,5		
Jabaquara	213.112	251,9	sul	sul	251,9				
Jabaquara	213.112	251,9	sul	sul	251,9				
Cidade Ademar	388.782	459,6	sul	sul	459,6				
Cidade Ademar	245.696	290,4	sul	sul	290,4				
Pedreira	143.086	169,1	sul	sul	169,1				
Campo Limpo	548.428	648,3	sul	sul	648,3				
Campo Limpo	203.899	241,0	sul	sul	241,0				

Capão Redondo	258.099	305,1	sul	sul		305,1					
Vila Andrade	86.430	102,2	sul	sul		102,2					
M'Boi Mirim	519.279	613,8	sul	sul		613,8					
Jardim Ângela	268.729	317,7	sul	sul		317,7					
Jardim São Luís	250.550	296,2	sul	sul		296,2					
Capela do Socorro	629.915	744,6	sul	sul		744,6					
Cidade Dutra	197.559	233,5	sul	sul		233,5					
Grajaú	394.487	466,3	sul	sul		466,3					
Socorro	37.870	44,8	sul	sul		44,8					
Parelheiros	133.584	157,9	sul	sul		157,9					
Marsilac	9.296	11,0	sul	sul		11,0					
Parelheiros	124.288	146,9	sul	sul		146,9					
Total	10.744.060	12.700,0					3.189,0	3.135,0	4.748,3	1.627,7	0,0

Os dados disponíveis permitiram o cálculo da população distribuída total em cada um dos bairros e regiões, a partir de fator de regressão calculado para 2005. Dados para 2010 a 2020 não estão disponíveis e não foi possível realizar as análises para esses períodos.

Os dados de movimentação de RSU por bairro/região também não estão disponíveis. Sabe-se apenas do valor total movimentado e da despesa total decorrente para todo o volume de RSU gerado na Cidade de São Paulo. Isso inviabiliza o cálculo envolvendo valores logísticos.

As coordenadas geográficas dos bairros também não são conhecidas e são de difícil estimativa. Nessa análise, foi necessário desconsiderar o aspecto logístico e seus custos.

Um dos fatores de restrição para a análise foi considerar a região central como imprópria para processamento do RSU gerado. A concentração urbana na área central é muito alta e a sua disponibilidade de áreas livres para instalação de usinas é quase nula, o que leva a considerar que todo o lixo gerado seja processado em outra região adjacente. As análises indicaram que a melhor solução seria a Região Norte.

Com essa base de dados, buscou-se a formação de agrupamentos que pudessem ser associados a portes de usina disponíveis e que indicassem um início de configuração. Nesse processo, as análises convergiram para resultados que não

mantiveram a configuração inicial de diversos bairros em suas regiões originais. Foi necessário alterar a região de 27 bairros, na formação de agrupamentos, para obter conjuntos consistentes que permitissem enquadramento adequado nos portes de usina disponíveis ao estudo.

Com base na geração de RSU e no novo escalonamento dos bairros nas regiões, os cálculos de otimização indicaram que seria possível formar agrupamentos ideais a partir das regiões originais, mas com as devidas inclusões/exclusões de bairros.

Não foi considerada a possibilidade de interação das regiões com as outras da RMSP que lhes são adjacentes, devido ao critério anterior de manter as regiões administrativas da cidade e da RMSP como unidades.

Com base nessa distribuição alterada dos bairros pelas regiões e considerando a região central como inadequada para instalação de uma usina, o enquadramento dos volumes de RSU por região nos portes de usina pode ser ilustrado pela Tabela A.30.

Tabela A.30 Formação de agrupamentos por bairros – São Paulo 2005

Região	Bairros	População (habitantes)	RSU gerado (t/d)	Quantidade de usinas	Porte de usina (t/d)
Norte	33	2.697.842	3.189	2	1.600
Sul	16	2.652.217	3.135	2	1.600
Leste	32	4.016.983	4.748	3	1.600
Oeste	15	1.377.018	1.628	1	1.600
Central	0	0	0	0	0
Total	96	10.744.060	12.700	8	

A localização das usinas pode ser determinada por cálculos mais precisos, levando em conta as coordenadas de cada bairro e os respectivos dados logísticos de movimentação e valores, buscando a otimização do custo total resultante. Infelizmente os dados não estão disponíveis e esse cálculo não pode ser realizado nesse estudo.

Esse estudo representa uma primeira aproximação para o ano de 2005. Há necessidade de se calcular ou estimar melhores valores para os períodos de 2010 a 2020 para detectar eventuais mudanças em geração de RSU que tornem necessários novos estudos para determinar se o enquadramento deve permanecer ou deve ser alterado e se as posições recomendadas para as usinas devem ser mantidas ou alteradas. Isso somente será possível a partir de novos dados, mesmo estimados, de bases confiáveis.