

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE - FEA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO - PPGA

Walter Furlan

**MODELO DE DECISÃO PARA ESCOLHA DE
TECNOLOGIA PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS NO ÂMBITO DE UM MUNICÍPIO**

São Paulo

2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Profª. Dra. Suely Vilela
Reitora da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Carlos Roberto Azzoni
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Prof. Dr. Isak Kruglianskas
Chefe do Departamento de Administração

Prof. Dr. Lindolfo Galvão de Albuquerque
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Administração

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção de Processamento Técnico do SBD/FEA/USP

Furlan, Walter

Modelo de decisão para escolha de tecnologia para o
tratamento de resíduos sólidos no âmbito de um município /
Walter Furlan. -- São Paulo, 2007.

240 p.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2007

Bibliografia

1. Tomada de decisão 2. Administração municipal 3. Resíduos
urbanos 4. Protocolo de Kyoto 5. Tecnologia I. Universidade de
São Paulo. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade.
I. Título.

CDD – 658.403

WALTER FURLAN

**MODELO DE DECISÃO PARA ESCOLHA DE
TECNOLOGIA PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS NO ÂMBITO DE UM MUNICÍPIO**

Tese apresentada ao Departamento de Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do título de Doutor em Administração.

Orientador: Prof. Dr. Jacques Marcovitch

São Paulo

2007

Dedicatória

Ao meu pai (*in memoriam*), minha mãe e irmãs, família na qual desenvolvi meus valores.

A Rosa por todo o apoio e afeto. A Paula, que esses valores lhe sejam úteis.

Agradecimentos

Inicialmente ao Prof. Dr. Martinho Isnard Ribeiro de Almeida que, pela sua orientação no mestrado e com o apoio do grupo de pesquisa que dirige, ajudou na minha evolução acadêmica. Aos professores da FEA, desde o MBA, o mestrado, até o doutorado, que auxiliaram na minha formação teórica. Aos funcionários da FEA, particularmente da secretaria e da biblioteca, pelo apoio, e especialmente a sra. Noda Haruko pela competência em gerir a agenda de reuniões de orientação.

Ao Prof. Dr. Ary Plonski, ex-diretor superintendente do IPT pelo incentivo. Aos colegas do Núcleo de Economia e Administração de Tecnologia (NEAT) e do Observatório de Tecnologia e Inovação (OTI) do IPT, em particular aos ex-chefes imediatos, Prof. Dr. Milton Campanário e Prof. Dr. Eduardo Luiz Machado, pelo apoio. Aos colegas do IPT, Antonio Carlos da Cruz por ter me apresentado ao mundo das tecnologias de tratamento de resíduos, e Ângelo José Consoni pela crítica às variáveis que compõe o modelo. À Edna Gubitoso, do NEAT pelo apoio na obtenção e formatação da bibliografia. Ao Alex Vallone e a Marisa Bento pelo trabalho de revisão.

Ao sr. Luiz Augusto Rosa Gomes; ao sr. Diógenes Del Bel; ao sr. Roberto Szente; ao sr. André Vilhena; à Professora Dra. Wanda Maria Risso Günther; e ao auditor de sistemas de tratamento de resíduos sólidos urbanos, pelo tempo despendido e pela qualidade das entrevistas que muito contribuíram para a construção do modelo de decisão aqui apresentado.

Ao Presidente da EMDURB, ex-secretario de Meio Ambiente de Bauru, sr. Carlos Barbieri; ao Secretário de Meio Ambiente de Santos, sr. Flávio Rodrigues Correa; e ao Secretário de Defesa do Meio Ambiente de Piracicaba, sr. Rogério Vidal pelo tempo despendido, próprio ou de suas equipes, e pelas críticas para o aperfeiçoamento do modelo.

Ao Prof. Dr. Choyu Otani pela contribuição técnica. Ao Prof. Dr. Abraham Sin Oih Yu, pela contribuição metodológica.

E por último e mais importante, ao Prof. Dr. Jacques Marcovitch por inserir-me no esforço em favor da redução de emissões de gases de efeito estufa, e pela qualidade e firmeza de seu trabalho de orientação.

RESUMO

FURLAN, Walter. **Modelo de decisão para escolha de tecnologia para o tratamento de resíduos sólidos no âmbito de um município**. Tese (Doutorado). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, 2007.

Recentemente passou a ser aceito por amplos segmentos da sociedade as conclusões de cientistas de que o homem vem provocando a mudança climática global em curso por meio da emissão de gases de efeito estufa. E espera-se, se nada for feito, por um agravamento do aquecimento global, em função do aumento da população mundial e do desenvolvimento econômico, para os próximos anos. O resíduo gerado pela sociedade, quando em decomposição, é forte emissor de metano, um dos gases mais maléficos nesse processo. Organismos internacionais liderados pela ONU participam do esforço de limitar as emissões com a negociação de créditos de carbono do Protocolo de Kyoto, o que pode contribuir para viabilizar a adoção de novas tecnologias de tratamento de resíduos. Esta pesquisa traz aos gestores municipais, e aos empreendedores do setor, um modelo de decisão para escolha estratégica das tecnologias mais recentes para tratamento de resíduos sólidos urbanos. Usando a técnica de abordagem sistêmica (*system analysis*), com o apoio da teoria de ciclo de vida do produto e do conceito de eco-eficiência, foram traçadas tendências. O modelo de decisão usou a técnica do pensamento focado no valor (*Value-Focused Thinking*) pertencente à teoria da decisão multiatributo. A partir da percepção de importantes formadores de opinião, aponta-se que as tecnologias de aterro sanitário, incineração e de processamento por plasma térmico, acompanhadas da coleta seletiva, da recuperação energética, da separação e da reciclagem, têm cada uma importante parcela de contribuição na solução do problema ambiental. Também é apontado que a combinação da coleta seletiva, seleção do lixo para aumento do seu potencial energético, processamento por plasma térmico acompanhado da geração de energia, é a mais efetiva para ser adotada num município de porte médio do Estado de São Paulo, para os próximos vinte anos. Ao final da pesquisa, as soluções estudadas foram apresentadas a gestores públicos para validação do modelo.

Palavras-chave: Tomada de Decisão; Administração Municipal; Resíduos Urbanos; Protocolo de Kyoto; Tecnologia.

ABSTRACT

FURLAN, Walter. **A decision-making model to select technologies for municipal solid waste treatment.** Thesis (Doctorate). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. University of Sao Paulo, 2007.

Recently it became accepted, by large segments of society, the conclusions of several scientists that man has been causing a global climatic change through the emission of greenhouse gases. If nothing is done, an increase in global warmth is expected in the years to come, due to the growth of world population as well as economic growth. The waste generated by society, while decomposing, is a strong methane emitter, one of the gases that contribute the most to the global warmth. International organisms, led by UN, have joint efforts in order to limit the emissions of greenhouse gases with the negotiation of carbon credits, mechanism created by the Kyoto Protocol, which may turn the adoption of new technologies of waste treatment economically feasible. This research brings to the public managers and entrepreneurs of this sector a decision-making model to strategically choose the most recent technologies for the treatment of municipal solid waste. Using the system analysis technique, supported by product's life cycle theory and the concept of eco-efficiency, some tendencies of this sector have been mapped. The decision-making model uses the Value-Focused Thinking technique, which belongs to the multi-attribute decision theory. From of the gathering opinions of important stakeholders, some technologies may be pointed as the most important contributors to solving this environmental problem: landfill technologies, incineration and plasma process, accompanied also by energy recovery, waste sorting and recycling. It is also suggested that a solution of waste sorting, a process of generating refused derived fuel, and plasma process followed by energy recovery is the more effective combination to be adopted by a medium-size city in the near future. At the end of the research works, the studied solutions were presented to public managers to validate the model.

Key-words: Decision-making; Municipal Administration; Municipal Solid Waste; Kyoto Protocol; Technology.

SUMÁRIO EXECUTIVO

A pesquisa desenvolveu-se a partir da aplicação de uma abordagem sistêmica e do uso da teoria da decisão implementada com o conceito do pensamento focado no valor. Apoiou-se nos conceitos de ciclo de vida do produto e de eco-eficiência, e contou com as declarações de seis importantes formadores de opinião. A confirmação do modelo proposto aconteceu por meio de entrevista aos executivos de três importantes municípios do estado de São Paulo.

Concluiu-se que o aterro convencional, na forma dos lixões ou valas, está definitivamente condenado. Seu sucessor, o aterro sanitário, deve continuar a evoluir, configurando-se como um biorreator para o fornecimento de energia. A melhoria das técnicas de impermeabilização do solo deve minimizar a contaminação dos lençóis freáticos, e o metano emitido deve transformar-se em energia, o que hoje já é viável graças ao comércio dos créditos de carbonos. Numa visão de ciclo de vida do produto, os processos de coleta seletiva e separação devem ser aperfeiçoados e somente a parcela realmente desprovida de utilidade será aterrada, ou melhor, transformada em energia. O modelo brasileiro de coleta seletiva necessita de intensificação na visão de alguns entrevistados e de aperfeiçoamento na visão de outros.

Os incineradores rejuvenesceram e estão inseridos no conceito de *waste-to-energy* (WTE), com o aproveitamento da energia do lixo. O processo de seleção energética do lixo denominado *refused derived fuel* (RDF) tem sua efetividade por potencializar a geração de energia ao separar a parcela orgânica que pode ser encaminhada para aterro ou compostagem.

O processamento a plasma já concorre diretamente com os incineradores, com vantagens, uma vez que, por liberar o gás de síntese, mais uniforme do que os emitidos pelos incineradores, requer menor investimento para sua limpeza, barateando o custo da geração de energia. O processamento a plasma pode ter um papel importante na recuperação de áreas degradadas, ao processar o lixo já depositado transformando-o em energia.

Diferentemente dos aterros, as estações de processamento a plasma ou incineração podem se localizar em áreas urbanas e não necessitam de dimensões populacionais mínimas para obter escala. Podem ser instalados módulos para processar o resíduo em condomínios, fazendas, ou qualquer outro ponto de geração, entregando energia para o consumo local, com redução de custos de logística e de emissão por reduzir a necessidade de veículos de coleta.

A compostagem foi apontada como uma solução de pequena escala, que pode mostrar deficiência se usada em escala maior, se não houver uma rigidez de processo que evite a contaminação por metais pesados. Seu futuro pode estar ligado ao conceito de lixo zero, com o gerador compostando seu lixo orgânico para reaproveitar como fertilizante agrícola.

Além dessas tecnologias não se detectou nenhuma outra emergente com potencial de aplicação no Brasil. A ação microbiológica tem seu espaço em nichos para tratamento do resíduo industrial e não para o municipal, por causa da lentidão do processo. As conclusões finais dessa tese são:

- As tecnologias de tratamento de resíduos para um mundo mais limpo já estão disponíveis, mas não são de conhecimento da grande maioria dos gestores públicos;
- As prefeituras têm restrições orçamentárias e sem o apoio de órgãos estaduais e federais, além de financiamentos internacionais, ou por estímulos como, por exemplo, o Protocolo de Kyoto, não conseguirão se adequar às novas necessidades ambientais;
- As indústrias promovem um processo de coleta seletiva às vezes insuficiente ou ineficiente. As relações dos sucateiros, dos catadores autônomos e das cooperativas de catadores com a indústria sofrem a intervenção de atravessadores que acabam por ficar com a maior parte do resultado do processo de coleta. As prefeituras, que já fazem um trabalho social, devem intervir decisivamente para mediar essas relações;
- Há um engessamento do processo decisório, diante da incapacidade do poder municipal de comprovar suas intenções ao propor soluções melhores, por falta de um modelo de decisão estruturado e isento. Isso leva à obsolescência das soluções em uso, criando oportunidades para que empresas operadoras de resíduos ligadas a grupos empresariais venham a implantar soluções sem que prefeituras tenham participação;
- A operação privada de aterros sanitários e industriais é oligopolizada diante da necessidade de capital intensivo, e estão presentes na região do ABC, em Santos, Paulínia, Ribeirão Preto e tendem a se disseminar pelo estado de São Paulo;
- As prefeituras devem buscar uma solução de compromisso, reunindo expectativas das forças em seu município e atuar como reguladora. Recomendam-se as parcerias público-privadas que somariam a força empreendedora dos grandes grupos empresariais, com a ação disciplinadora e reguladora do estado.

MODELO DE DECISÃO PARA ESCOLHA DE TECNOLOGIA PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO ÂMBITO DE UM MUNICÍPIO

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Justificativa do Tema	3
1.2	Problema de Pesquisa	4
1.3	Área de Aplicação e Delimitações da Pesquisa.....	5
1.4	Objetivos e Hipóteses	6
1.5	Contribuição e Resultados.....	6
1.6	Organização da Tese.....	9
2	QUESTÕES AMBIENTAIS E AQUECIMENTO GLOBAL.....	11
2.1	Aspectos Econômicos do Problema.....	13
2.2	Escassez de Recursos e Conceito de Desenvolvimento Sustentável	16
2.3	Mudanças Climáticas	18
2.4	Protocolo de Kyoto	21
2.5	Futuro do Protocolo de Kyoto	23
2.6	Agenda 21	23
2.7	Convenção da Basiléia	24
2.8	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo	26
2.9	Políticas Públicas no Brasil.....	27
3	GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	30
3.1	Caminhos para a Conversão dos Resíduos.....	34
3.2	Conceito de Lixo Zero	38
3.3	Tecnologias Usuais.....	38
3.4	Tendências Tecnológicas	58
3.5	Tendências no Tratamento de Resíduos.....	62
3.6	Conceitos Ambientais aplicados aos Produtos e seus Descartes.....	64
3.7	Influência da Tarifa de Coleta na Geração do Resíduo	66
4	ABORDAGEM SISTÊMICA E TEORIA DA DECISÃO	68
4.1	Abordagem Sistêmica	68
4.2	Teoria da Utilidade	70
4.3	Análise de Decisão Multiatributo (MAUT)	72

4.4 Condições de Aplicação da Teoria Multiatributo e VFT	76
4.5 Participação Pública no Processo de Decisão	85
4.6 Escolha do Programa para Tratamento da Informação	86
4.7 Teoria da Decisão e o Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos	86
5 METODOLOGIA DA PESQUISA	89
5.1 Aspectos Teóricos	89
5.2 Procedimentos	90
5.3 Hierarquia de decisão	92
5.4 Variáveis	93
5.5 Abordagem Matemática	101
5.6 Instrumento de Pesquisa	102
5.7 Soluções em Análise	103
5.8 Seleção dos <i>Stakeholders</i>	104
5.9 Cuidados na Aplicação do Método Proposto	108
6 PESQUISA DE CAMPO	111
6.1 Aterros Sanitários	111
6.2 Sistemas de Incineração	113
6.3 Processamento a Plasma Térmico	116
6.4 Coleta de Gases de Aterros	118
6.5 Reciclagem, Coleta Seletiva e Separação	119
6.6 Protocolo de Kyoto e os Créditos de Carbono	122
6.7 Políticas Públicas e Financiamento	124
6.8 Outras Tecnologias	127
6.9 Outras Considerações	128
7 APLICAÇÃO DA TEORIA DA DECISÃO	131
7.1 Atribuição de Utilidade	132
7.2 Características dos Entrevistados	134
7.3 Atribuição de Pesos às Variáveis	134
7.4 Análise dos Resultados	139
7.5 Análise de Sensibilidade	143
7.6 Considerações sobre as Soluções de Aterro	153
7.7 Percepção dos Respondentes sobre as Variáveis Complementares	155
7.8 Percepção dos Respondentes sobre as Variáveis Comerciais	156
7.9 Percepção dos Respondentes sobre a Coleta Seletiva	158

8 VALIDAÇÃO DO MÉTODO	159
8.1 Aplicação do Método em Bauru	160
8.2 Aplicação do Método em Santos	171
8.3 Aplicação do Método em Piracicaba	181
8.4 Avaliação da Aplicação do Método Proposto	189
8.5 Avaliação das Variáveis Trabalhadas	190
8.6 Confirmação da Adequação das Variáveis	193
8.7 Avaliação do Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos com Negócio	195
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	200
9.1 Considerações sobre as Hipóteses	200
9.2 Considerações sobre os Resultados Obtidos	202
9.3 Considerações sobre o Método	206
9.4 Contribuição Teórica	206
9.5 Considerações sobre Políticas Públicas	207
9.6 Conclusões	207
9.7 Limitações da Pesquisa	209
9.8 Continuidade da Pesquisa	209
REFERÊNCIAS	211
LISTA DE ABREVIATURAS	221
LISTA DE SÍMBOLOS	222
GLOSSÁRIO DE TERMOS GERAIS	223
GLOSSÁRIO DE TERMOS ESPECÍFICOS DO PROTOCOLO DE KYOTO	225
ANEXO 1 – CARTA DE SOLICITAÇÃO DE ENTREVISTA	232
ANEXO 2 – INFORMAÇÕES GERAIS DOS RESPONDENTES	233
ANEXO 3 – ROTEIRO ABERTO DE ENTREVISTA	234
ANEXO 4 – QUESTIONÁRIO FECHADO	235
ANEXO 5 – ROTEIRO DE ENTREVISTAS DE VALIDAÇÃO	240

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo de Materiais entre a Economia e o Ecossistema de Suporte	12
Figura 2 – Vantagens da Parceria Público Privada no Gerenciamento de Resíduos	25
Figura 3 – Avaliação de Projeto de MDL.....	27
Figura 4 – Comparação de Custos entre Sistemas de Incineração e Plasma	53
Figura 5 – Linha do Tempo do Tratamento de Resíduos Municipais	63
Figura 6 – Ciclo dos Materiais, Consumo e Resíduos.....	64
Figura 7 – Influência do Valor da Tarifa no Volume de Resíduo Gerado	67
Figura 8 – Etapas do Modelo de Avaliação Estratégica nos RSU	90
Figura 9 – Diagrama de Hierarquia da Decisão	93
Figura 10 – Comportamento das Variáveis	100
Figura 11 – Soluções em Análise	103
Figura 12 – Hierarquia da Decisão com atribuição de Pesos.....	135
Figura 13 – Média e Dispersão das Respostas.....	136
Figura 14 – Peso Médio atribuído às Variáveis	137
Figura 15 – Variação de Respostas	137
Figura 16 – Gráfico de <i>Trade-off</i> dos Pesos	138
Figura 17 – Classificação Final das 34 Alternativas por Utilidade.....	139
Figura 18 – Melhor Composição de Soluções	143
Figura 19 – Análise de Sensibilidade para Subobjetivo Infra-estrutura.....	144
Figura 20 – Análise de Sensibilidade para Medida Área de Instalação	145
Figura 21 – Análise de Sensibilidade para Medida Distância	146
Figura 22 – Análise de Sensibilidade para Medida Custo Inicial	147
Figura 23 – Análise de Sensibilidade para Medida Custo de Operação e Manutenção	147
Figura 24 – Análise de Sensibilidade para Subobjetivo Qualidade do Resíduo	148
Figura 25 – Análise de Sensibilidade para Medida Classe do Resíduo.....	149
Figura 26 – Análise de Sensibilidade para Medida Separação	149
Figura 27 – Análise de Sensibilidade para Subobjetivo Receita e suas Medidas	150
Figura 28 – Análise de Sensibilidade para a Medida Venda de Energia.....	151
Figura 29 – Análise de Sensibilidade para Medida Venda de Materiais.....	151
Figura 30 – Análise de Sensibilidade para Subobjetivo Créditos de Carbono	152
Figura 31 – Análise de Sensibilidade para Subobjetivo Tempo	153
Figura 32 – Comparação entre duas Soluções Significativas	154

Figura 33 – Sensibilidade Dinâmica - Aumentando o Peso da Variável Custo Inicial.....	155
Figura 34 – Percepção dos Respondentes sobre a Maturidade das Tecnologias	156
Figura 35 – Percepção dos Respondentes sobre a Maturidade Comercial das Tecnologias ..	157
Figura 36 – Percepção dos Respondentes sobre a Coleta Seletiva	158
Figura 37 – Aplicação do Modelo na Região de Bauru	171
Figura 38 – Aplicação do Modelo para a RMBS	180
Figura 39 – Aplicação do Modelo em Piracicaba	188
Figura 40 – Evolução das Alternativas Escolhidas nos Três Municípios.....	189
Figura 41 – Escolha da Solução para Piracicaba	196
Figura 42 – Dados de Mercado para Cidades Médias do Estado de São Paulo.....	198

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados do Projeto NovaGerar	43
Tabela 2 – Potencial Econômico de Redução Total de Emissão de CH ₄ de Aterro	45
Tabela 3 – Dados do Projeto Usina Verde.....	49
Tabela 4 – Fontes de Energia Renovável em 2020 nos EUA - Previsão.....	52
Tabela 5 – Índices Econômicos de Vários Métodos de Tratamento de Resíduos	54
Tabela 6 – Plantas de Tratamento Térmico de Resíduos no Japão	56
Tabela 7 – Tecnologias Inovadoras para Tratamento de RSU.....	60
Tabela 8 – Atribuição de Valor de Utilidade	133
Tabela 9 – Atribuição de Pesos às Variáveis pelos Respondentes.....	134
Tabela 10 – Percepção dos Respondentes sobre a Maturidade das Tecnologias	156
Tabela 11 – Percepção dos Respondentes sobre as Variáveis Comerciais.....	157
Tabela 12 – Percepção dos Respondentes sobre a Coleta Seletiva	158
Tabela 13 – Dados da Região Administrativa de Bauru	160
Tabela 14 – Classificação dos Aterros na Região de Bauru	162
Tabela 15 – Classificação dos Aterros na Região Metropolitana da Baixada Santista.....	173
Tabela 16 – Classificação dos Aterros na Sub-Região de Piracicaba	182
Tabela 17 – Dados sobre os Resíduos Sólidos Urbanos de Piracicaba	196
Tabela 18 – Dados Estimativos para os Municípios Médios do Estado de São Paulo.....	198

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Gases Causadores do Efeito Estufa e suas Fontes de Emissão.....	21
Quadro 2 – Destinações Recomendadas pelo SIGRS	31
Quadro 3 – Principais Números do Setor de Tratamento de Resíduos no Brasil - 2005.....	32
Quadro 4 – Diferença de Abordagem dos Resíduos no Setor Público e Privado - 2005	33
Quadro 5 – Unidades Receptoras de Resíduos Operadas por Empresas Privadas no Brasil....	33
Quadro 6 – Vantagens da Utilização da Abordagem da Análise de Decisão	73
Quadro 7 – Composição das Variáveis.....	99
Quadro 8 – Composição das Soluções em Análise	132

1 INTRODUÇÃO

O foco desta tese está no tratamento de resíduos sólidos urbanos, problema que vem pedindo ações urgentes e mais avançadas das até aqui praticadas no Brasil e no mundo.

Exemplificando-se, já se tem, no Brasil, mais de 100 milhões de aparelhos telefônicos celulares em operação, com contínuo descarte. Somam-se a isso aparelhos de televisão, videocassetes, computadores pessoais, etc., que no seu todo ou nas suas partes continuamente vão para o lixo. Todos esses aparelhos, além de conter baterias carregadas de metais pesados, ainda recebem tratamento antichama em suas placas com aplicação de produtos altamente nocivos. Os efeitos desses metais pesados na saúde humana e animal são hoje cientificamente comprovados. Recentemente constatou-se que, por esses fatos, a composição do lixo mudou, com graves conseqüências que podem provocar a degradação da natureza. Além do que, os gases emitidos pela decomposição do lixo, principalmente o metano, podem trazer impactos efetivos para as mudanças climáticas.

Ao se debruçar sobre a literatura nacional, também se pode constatar que as proposições de tratamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil são as mesmas de dez anos atrás. Deixa-se de considerar a profundidade das externalidades localmente produzidas, com a possibilidade de contaminação de solo e lençóis freáticos por metais pesados, bem como das externalidades gerais, como o aquecimento global, ocasionado pela emissão contínua de gases de efeito estufa (GEE).

O esclarecedor *Relatório Stern*, publicado por cientistas ingleses liderados por Sir Nicholas Stern, aponta que os resíduos sólidos urbanos (RSU), são atualmente responsáveis por uma emissão de gases de efeito estufa (GEE), de 1,4 Gt de CO₂ equivalente/ano. Quase a metade é proveniente de aterros sanitários, onde usualmente se somam, na forma de lodo, os resíduos resultantes do tratamento da água e do esgoto sanitário. A atitude de reusar e reciclar exige menos recursos para produzir novos produtos com redução de emissão associada. Tecnologias como de incineração do lixo, com recuperação energética, podem ajudar na redução dessas emissões (STERN, 2006).

Conforme estabelecido no Protocolo de Kyoto o potencial de aquecimento global (*global warming potential* – GWP) do CO₂ foi estipulado como padrão de referência. O CO₂ equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas do gás de efeito estufa (GEE) pelo seu potencial de aquecimento global. O metano, além de não ser absorvido organicamente como o CO₂ pela fotossíntese, tem um GWP igual a 21, portanto muito mais nocivo para aquecimento global, embora encontrado em menor quantidade que o CO₂.

Hansen et al. (2006) afirmam que a inferência de uma mudança climática perigosa pode estimular a discussão de “consertos de engenharia” para reduzir o aquecimento global. Afirmam os autores que a noção de “conserto” sozinha é perigosa, pois poderia diminuir os esforços individuais para reduzir a emissão de CO₂, e pode ser irresponsável não considerar todos os meios possíveis. Completam afirmando que esses meios devem ser utilizados de maneira abrangente, e também que se tem claro hoje a inexistência de uma grande e única solução para o problema, bem como a certeza da responsabilidade coletiva; e nesse sentido, os esforços devem ser amplos.

Dado o exposto, o tema abordado extrapola questões técnicas e se insere nos conceitos de economia sustentável e, recentemente de ambientalismo de mercado, que chegou para ficar, com apoio das facções mais esclarecidas dos chamados grupos “verdes”. Seus símbolos de maior expressão são a Bolsa do Clima de Chicago (CCX) e os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), do Protocolo de Kyoto (MARCOVITCH, 2006).

A tese primeiramente constata que as disciplinas da economia avançaram mais que as disciplinas da administração nos últimos anos, ao tratar a questão ambiental, e por isso se buscam ali algumas referências. Em seguida procura estruturar o problema sistemicamente com a abordagem de *system analysis*.

Na seqüência contextualiza a teoria da estratégia, do ponto de vista qualitativo, com a aplicação da matriz SWOT – análise de pontos fortes, pontos fracos, ameaças e oportunidades – e trabalha do ponto de vista da teoria da decisão com os conceitos de Keeney de *Value-Focused Thinking* (VFT) contidos na teoria da Análise de Decisão Multiutilidade – (MAUT). Os resultados pretendidos são suportados por dois conceitos ambientais, o primeiro já consolidado, a teoria do ciclo de vida do produto, e outro mais recente, a teoria da eco-eficiência.

A complexidade do tema ainda se dá por seus variados componentes de engenharia civil, sanitária, de produção, elétrica e química, entre outras. Embora muitos desses componentes já tenham sido estudados individualmente, no campo da administração não se tem um modelo que sume todos esses aspectos, para auxiliar o gestor público municipal, principal responsável pela legislação brasileira, a tomar decisões estratégicas.

1.1 Justificativa do Tema

No Estado de São Paulo, segundo dados publicados no *Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares*, da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), há uma disposição total diária de resíduos municipais de 28.397 toneladas, contra 18.232 toneladas dispostas em 1997, quando a série teve início. Neste período um dos aspectos positivos é que a disposição final adequada do resíduo total gerado em todo Estado de São Paulo subiu de 10,9% em 1997, para 80,7% em 2006 (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2007a).

Os aterros do Estado de São Paulo, de acordo com o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR), por meio de uma variação de notas de 0 a 10, são classificados como inadequados (I), controlados (C) e adequados (A). A CETESB revela que o IQR médio do Estado melhorou de 4,04 (em 1997), para 7,40 (em 2006). Nos 35 municípios com população entre 100.001 e 200.000 habitantes, responsáveis pela geração de 8,3% da quantidade diária de resíduos do Estado, o IQR médio é de 7,6, o que representa enquadramento em condições controladas. Nos 28 municípios com população entre 200.001 e 500.000 habitantes, responsáveis pela geração de 17,5% da quantidade diária de resíduos do Estado, o IQR médio de 2006 é igual a 8,3, o que representa o enquadramento em condições adequadas. (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2007a).

Não obstante todo este esforço, e a evidente melhoria dos tratamentos dos RSU pelos municípios, os aspectos de alternativas tecnológicas não se evidenciam, pois não estão sendo implementadas novas tecnologias, como se pode observar atualmente em vários países da Europa, no Japão, e em alguns estados americanos, particularmente os da Califórnia e Nova York, que vêm revelando uma consciência ambiental diferenciada. Ainda há muito a ser feito, tanto pelo uso intensivo das tecnologias tradicionais quanto recorrendo às novas tecnologias emergentes, que são tratadas nesta pesquisa.

Do ponto de vista conceitual resulta desta pesquisa um modelo de decisão estruturado que pode ser usado em inúmeras aplicações para a gestão pública; e do ponto de vista prático constatou-se a disponibilidade e a conveniência de uso das tecnologias alternativas para o tratamento dos RSU.

1.2 Problema de Pesquisa

A pesquisa visa instrumentar os gestores municipais no esforço de melhorar o tratamento dos resíduos em seus municípios, obtendo ganhos até o momento pouco valorizados como o esforço de mitigar o aquecimento global. Oferece a esses gestores uma contribuição gerencial para o problema do tratamento dos resíduos sólidos urbanos, utilizando tanto as tecnologias tradicionais, por exemplo, o aterro sanitário, as em evolução, como a incineração, quanto às emergentes como o plasma térmico.

Marcovitch (2007, p. 19) afirma “jamais foi tão forte em nosso país a participação da sociedade civil e de seus técnicos independentes na abordagem das políticas públicas. É muito importante que os governos sejam receptivos a essa oferta e deixem de caracterizá-la como se representasse o avesso de suas estratégias”.

A partir desta premissa pretende-se identificar a situação futura ideal no tratamento dos resíduos conveniente para os municípios, quantificando alternativas por seu senso de utilidade, para a correta escolha pela teoria da decisão. A principal variável abordada neste trabalho refere-se à possibilidade da solução contribuir para o combate ao aquecimento global, usando-se para isso a avaliação para obtenção dos créditos de carbono, que podem ser gerados nas soluções em discussão para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

O Protocolo de Kyoto transcende o problema dos resíduos. No entanto, a teoria da decisão pede que para método seja exequível que seus possíveis resultados sejam transformados em variáveis que apóiam a tomada de decisão. Dessa forma se analisam projetos de tratamento de resíduos sólidos urbanos, com recuperação energética e efetiva redução de emissão de carbono, visando ampliar o benefício ambiental, a partir de estudos da literatura mundial e de resultados práticos publicados.

1.3 Área de Aplicação e Delimitações da Pesquisa

A área de aplicação desta pesquisa é a gestão ambiental do município, uma vez que pela legislação brasileira este recebe a incumbência do problema. Os resíduos industriais são de responsabilidade de seus geradores e tratados de maneira específica, embora exista uma tendência das prefeituras em tratá-los, cobrando valores específicos dos seus geradores.

Na pesquisa são analisadas sistemicamente dez variáveis, visando construir um modelo de decisão que possa levar ao prefeito municipal, de uma cidade média típica do Estado de São Paulo, os elementos de como melhor proceder diante deste sério e atual problema. No recorte das soluções avaliadas, não se enfatizam soluções bioquímicas e mecânicas que não vêm demonstrando velocidade para o processamento em larga escala.

Até mesmo a compostagem não pode ser tratada como uma solução de larga escala, pois no âmbito de um município pode haver a contaminação da matéria orgânica com metais pesados, inviabilizando o uso futuro do adubo gerado. Recomenda-se que essa solução seja aplicada num processo de redução de lixo em ambientes fechados como uma fazenda, uma escola, ou outro ambiente onde se tem controle da origem do resíduo e seu grau de contaminação. Eventualmente a compostagem pode ser utilizada em complemento aos aterros, num processo prévio de redução de volume, sem a perspectiva de uso comercial do produto gerado.

A pesquisa se focaliza em municípios que tenham uma população aproximada entre 100 mil a 600 mil habitantes, em área não contígua ao município de São Paulo. A limitação inferior considera a qualidade e possível baixo poder calorífico do lixo e o poder de investimento do município, enquanto a limitação superior considera que esses municípios apresentam características de megalópoles, exigindo solução sistêmica integrada com a cidade de São Paulo. Nessa faixa média de tamanho de município, encontram-se também mais referências na literatura mundial, pois aí se situam importantes cidades da Europa e do Japão, onde se buscam referências teóricas.

De acordo com os dados da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (2005) cerca de 60 municípios do Estado de São Paulo apresentam estas características, dos quais o menor município é Sertãozinho (102.953 habitantes) e o maior São José dos Campos (592.932

habitantes). A somatória da população desses cerca de 60 municípios é da ordem de 14 milhões de habitantes, aproximadamente 35% da população do Estado de São Paulo.

1.4 Objetivos e Hipóteses

As hipóteses a serem verificadas neste trabalho são:

- Se há alternativas tecnologicamente avançadas para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos que merecem avaliação pelos gestores públicos;
- Se o investimento no tratamento de resíduos sólidos com tecnologias inovadoras é factível num equilíbrio social, econômico e ambiental, contribuindo para o conceito de desenvolvimento sustentável;
- Se o financiamento por via de mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Kyoto é um fator importante para viabilizar a escolha da tecnologia, visto que traz ganhos econômicos, sociais e ambientais ao município.

A operacionalização dessas hipóteses é feita pela exploração e caracterização de três proposições:

- As tecnologias de tratamento de resíduos sólidos avançaram, encontrando-se num estágio de desenvolvimento suficientemente estabilizado para uso, destacando-se os processos de recuperação energética do gás do lixo (biogás), a incineração com a recuperação de energia por troca de calor, e os processos termoquímicos baseados na tocha de plasma, que permitem a geração do gás de síntese; todos, portanto com a possibilidade de recuperação energética;
- O tratamento de resíduos sólidos urbanos com tecnologias adequadas e emergentes traz ganhos sociais, econômicos e ambientais para a gestão municipal;
- Projetos de tratamento de RSU contribuem para a redução das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE).

1.5 Contribuição e Resultados

Nesta tese apresenta-se inicialmente uma contribuição teórica por alinhar várias áreas de conhecimento que permeiam o problema do tratamento de resíduos sólidos urbanos para

facilitar o entendimento dos gestores públicos sobre o assunto. Para que o alinhamento desses conhecimentos fosse viável foram integrados os métodos de *system analysis* e *decision analysis*.

O primeiro apresenta uma abordagem sistêmica do problema, a partir da pesquisa da literatura internacional, buscando indícios da perspectiva futura das tecnologias de tratamento de resíduos sólidos urbanos.

O segundo pontua o desempenho dessas soluções, para que possam ser eleitas, a partir dos valores dos gestores, da condição constatada no município, das pressões dos *stakeholders* locais, da condição de caixa do município, e da sua capacidade de atrair investimentos.

Dessa combinação surge, portanto, um modelo para tomada de decisão na questão dos resíduos sólidos urbanos, não só para a ação imediata, mas que incorpora um desenho do futuro mais adequado, que pode ser expresso num plano estratégico do tratamento dos resíduos sólidos para o município e de modo geral se transformar em política pública. A análise das soluções oferece uma contribuição efetiva para o problema ambiental, para ser implantada pelo administrador público municipal, e lista oportunidades para empreendedores à procura de negócios ambientalmente adequados.

A pesquisa aponta que a técnica do aterro convencional, na forma dos lixões ou valas, deve ser definitivamente condenada e seu sucessor, o aterro sanitário, continua em seu processo evolutivo, devendo vir a se configurar no futuro como um biorreator, um organismo vivo fornecedor de energia, sob condições controladas.

Os aterros continuarão a ocupar extensas áreas, necessariamente localizadas distantes dos centros urbanos, por questões de saúde e conforto. Por outro lado, os aterros podem melhorar e deixar de serem fortes emissores de poluição ambiental, pois os processos de geração de chorume serão mais bem controlados, além da contenção de lixiviação, por meio da melhoria dos processos de impermeabilização do solo para impedir a contaminação dos lençóis freáticos, além da captura ao menos parcial do metano para transformar em energia.

Dentro da visão de ciclo de vida do produto, diferentemente do que se pratica hoje, em que os produtos rejeitados pela sociedade são aterrados, os processos de coleta seletiva e separação devem se aperfeiçoar de tal maneira que somente a parcela realmente desprovida de utilidade, no sentido da reciclagem, deve ser aterrada ou ser transformada em energia. O modelo brasileiro de coleta seletiva, praticado pelas prefeituras foi defendido e criticado durante as entrevistas, e necessita de intensificação na visão alguns e de aperfeiçoamento na visão de outros.

O aterro sanitário será ainda a solução no Brasil economicamente mais viável, por algum tempo. Essa solução pode ser melhorada com a coleta dos gases, contando para isso, de imediato, com a ajuda dos créditos de carbono. Os incineradores rejuvenesceram e agora estão sendo inseridos no conceito de *waste-to-energy*, com o aproveitamento da energia térmica liberada, entregando vapor ou água quente para indústria.

O processo de seleção energética do lixo denominado *refused derived fuel* (RDF) tem sua efetividade ao potencializar a geração de energia, separando a parcela orgânica que pode ser encaminhada para aterro ou compostagem. O processamento a plasma deve passar a concorrer diretamente com os incineradores, com vantagens dentro do conceito *waste-to-energy*, uma vez que, ao liberar o gás de síntese mais uniforme do que os emitidos pelos incineradores, requer menor investimento e recursos operacionais para sua limpeza, barateando o seu uso como gerador de energia. O plasma futuramente poderá ter um papel importante na recuperação de áreas atualmente degradadas por aterros, pois poderá processar o material depositado transformando-o em energia.

Em termos de logística, notou-se que a localização de estações existentes de tratamento a plasma, por exemplo, no Japão, está em áreas urbanas, por razão de os sistemas apresentarem menores emissões e mais facilidade em seu controle. Isso poderá provocar grandes mudanças, na medida em que as estações poderão se situar mais próximas dos centros geradores de resíduos.

Diferentemente do aterro, para essas soluções, também não há uma necessidade de dimensões populacionais mínimas para a formação de escala, definidas pelos entrevistados em 450 mil habitantes, para que o sistema seja economicamente exequível. Poderão existir módulos processando o resíduo dentro de um condomínio fechado, de um *shopping center*, de uma

fazenda, ou de qualquer outro ponto de geração, entregando energia diretamente para o consumo local, com redução de custos de coleta e conseqüente redução de emissão por menores trajetos de caminhões.

A compostagem foi apontada como uma solução de pequena escala e que ao ser reproduzida em maior escala, pode demonstrar deficiências de processo que resultam em contaminação e reaproveitamento do composto resultante para o uso agrícola, como fertilizante, por razão da presença de metais pesados. Seu futuro, de acordo com o apontado na literatura, por meio de experiências da Califórnia e Austrália, está ligado à implementação do conceito de lixo zero. Na verdade a parcela orgânica, por esse princípio, não deveria entrar na coleta oficial e ser retida *a priori*, evitando a possibilidade de contaminação.

Além das tecnologias aqui apontadas, não se detectou nenhuma outra emergente com potencial de aplicação nos próximos dez anos no Brasil. A ação microbiológica tem seu espaço em nichos para o resíduo industrial e não para o municipal, por causa da lentidão do processo.

1.6 Organização da Tese

O texto está organizado em nove capítulos, conforme a seguir:

- O presente capítulo introduz e contextualiza o tema;
- O segundo apresenta a revisão da literatura, definindo aspectos de contorno, como questões ambientais, aquecimento global e o Protocolo de Kyoto;
- O terceiro capítulo apresenta a revisão da literatura sobre o tratamento de resíduos sólidos;
- O quarto capítulo apresenta a revisão da literatura sobre a técnica de *system analysis* e métodos de estruturados de análise de decisão;
- O quinto capítulo apresenta as questões metodológicas utilizadas no desenvolvimento da pesquisa;
- O sexto capítulo apresenta os resultados das entrevistas de campo com os formadores de opinião sobre a questão do tratamento dos resíduos sólidos urbanos;

- O sétimo capítulo apresenta uma abordagem quantitativa sobre o senso de utilidade das soluções em discussão, propondo a solução mais eco-eficiente, de acordo com a teoria da decisão;
- O oitavo capítulo apresenta uma validação do modelo, por meio de entrevistas onde foram colhidas críticas dos gestores municipais;
- O nono e último capítulo traz considerações finais e aponta perspectivas para a continuidade desta pesquisa.

Apresentam-se ainda as listas de abreviaturas e de símbolos, anexos referentes a glossários de termos gerais e de termos específicos do Protocolo de Kyoto, a carta aos *stakeholders* entrevistados solicitando a participação na pesquisa, os questionários utilizados para obter a percepção de especialistas sobre o problema e o roteiro semi-estruturado aplicado na validação do método com alguns gestores municipais.

2 QUESTÕES AMBIENTAIS E AQUECIMENTO GLOBAL

Como referenciais teóricos abordam-se inicialmente as questões de contorno do problema dos resíduos, envolvendo o meio ambiente e aquecimento global, os aspectos econômicos e o conceito de desenvolvimento sustentável. Percorrem-se as literaturas relativas ao Protocolo de Kyoto, ao aquecimento global, ao desenvolvimento sustentável, à Agenda 21, aos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo e à legislação ambiental brasileira.

Neste século, para se evitar um provável aquecimento global de mais de 2°C e todas as suas conseqüências, as emissões globais necessitarão de uma redução significativa por volta do ano 2050. A emissão de GEE *per capita* necessitará ser reduzida em torno de 70% para então as emissões globais serem cortadas em 50%, considerando-se o esperado aumento da população. Faltam mais de quatro décadas para se chegar ao ano de 2050, mas somente poucos anos até o período 2015-2020, quando se estima que as emissões globais devam chegar ao pico, evitando que se excedam os 2°C críticos de aquecimento global. Se o nível das emissões globais diminuírem tardiamente, serão necessárias reduções subseqüentes de 4% ou 5% a cada ano para compensar a defasagem, e se atingir a estabilização em níveis mais baixos, o que seria quase impraticável (MEINSHAUSEN, 2006).

Para atingir essa meta por volta de 2050 os modelos teóricos sugerem um custo sobre a soma mundial dos Produtos Nacionais Brutos (GPD – *gross product*) de -2%, (ganho econômico ao se investir no corte de emissões), até +5% (perda econômica). Essa perda elevar-se-á no final do século, por causa das incertezas sobre o montante a ser mitigado, o estágio de inovação tecnológica e a eficiência com que a política será aplicada globalmente. Esses custos se elevam acentuadamente, se a meta de mitigação se tornar mais ambiciosa ou mais rápida.

O Esquema Europeu para Comércio de Emissões (*European Union Emissions Trading Scheme* - ETS) é um acordo que possibilita que as companhias usem créditos provenientes dos mecanismos do Protocolo de Kyoto ou que invistam na redução das emissões nos países em desenvolvimento. O esquema que entrou em vigor em janeiro de 2005 espera que a União Européia atinja sua meta, mais restritiva que a do Protocolo de Kyoto, a um custo entre 2,9 e 3,7 bilhões de euros anuais. Isto representa menos de 0,1% do produto bruto europeu. Sem

esse esquema de apoio o custo para atingir as metas poderia alcançar até 6,8 bilhões de euros por ano (EUROPEAN COMMISSION, 2005).

Uma análise baseada em aspectos de tecnologia identifica que, por meio de um conjunto de ações, as emissões GEE podem ser reduzidas mundialmente para 3/4 do corrente nível por volta do ano 2050 (consistente com a trajetória de estabilização em 550 ppmCO₂e – partes por milhão de gás carbônico equivalente). Os custos para isso totalizariam pouco menos de 1 trilhão de dólares em 2050, valor relativamente modesto em relação aos níveis de expansão econômica projetado para os próximos cinquenta anos, em qualquer cenário de sucesso econômico, equivalendo a cerca de $1 \pm 2\frac{1}{2} \%$ do GPD anual (STERN, 2006).

A Figura 1 apresenta um primeiro entendimento de onde se encontra o resíduo na dinâmica da economia. O Modelo de Dasgupta e Mäler (1994) mostra o resíduo como resultado da produção de bens para sobrevivência das famílias. A seta *input* abrange minerais, óleo, madeira, água e tudo mais vindo da natureza.

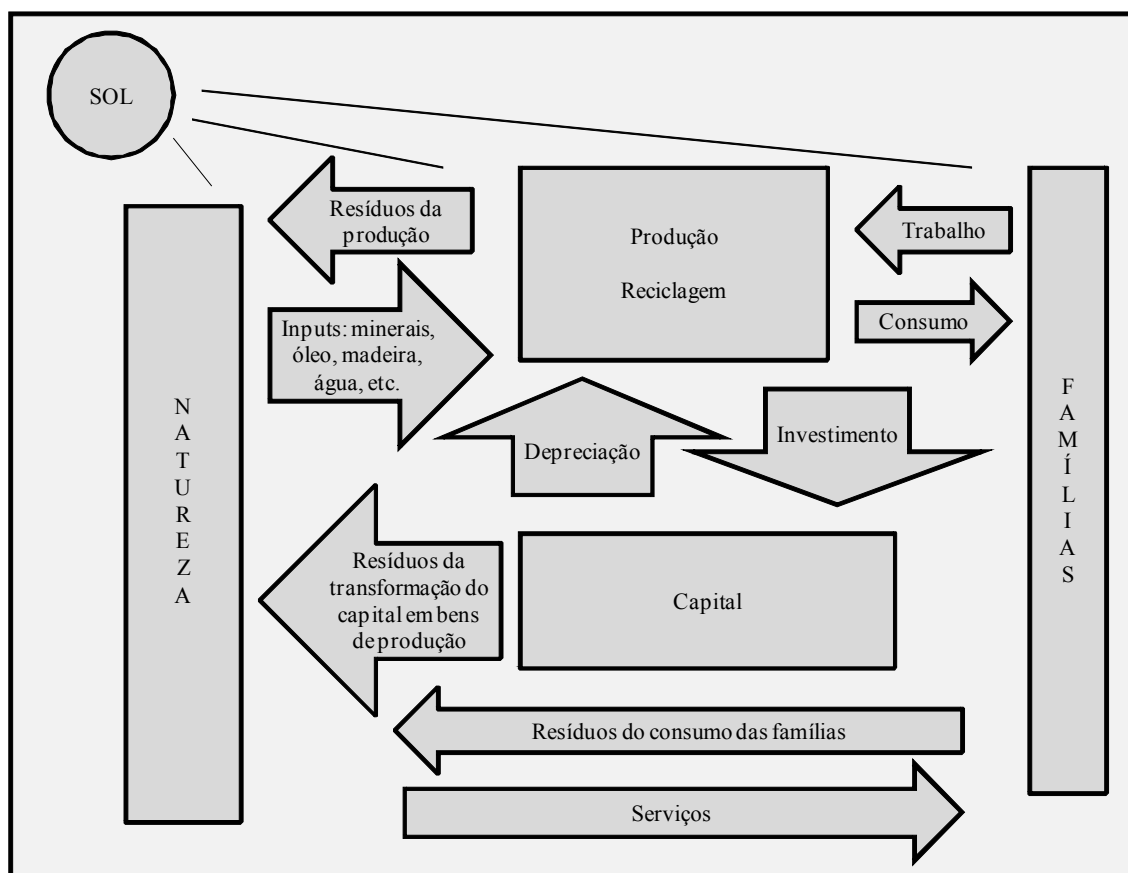


Figura 1 – Fluxo de Materiais entre a Economia e o Ecossistema de Suporte

Fonte: Dasgupta; Mäler, 1994.

Os autores ainda relembram a primeira lei da termodinâmica: nenhuma matéria ou energia pode ser criada ou destruída, mas pode ser transformada. Os bens são produzidos (os resíduos do processo produtivo são tipicamente os resíduos industriais) e então vendidos às famílias consumidoras, que descartam os seus resíduos na natureza (tipicamente os resíduos sólidos urbanos), ou devolvem as sobras para reciclagem, retornando ao processo produtivo. Os autores ressaltam que o processo produtivo ao vender produtos às famílias faz acumular capital que retorna como investimento em prédios e máquinas, que acabam também por gerar resíduos no seu processo construtivo (tipicamente os resíduos da construção e demolição), concluindo que o capital também é uma fonte geradora de resíduos. Quanto mais imperfeito for esse ciclo produtivo, maior será a geração do resíduo, e capacidade de natureza de absorvê-lo é limitada, como fica evidenciado hoje no problema do aquecimento global.

Lempert e Schwabe (1993) numa visão sistêmica afirmam que o problema do resíduo sólido não é de falta de terrenos para aterros, pois ainda há muita área disponível no entorno das cidades para a disposição e as tecnologias de incineração já são bastante eficientes. Consideram que o problema real é o impacto da retirada contínua de materiais do ambiente natural, e a possibilidade de seu esgotamento.

2.1 Aspectos Econômicos do Problema

Para Stern (2006, p. 25), as mudanças climáticas têm uma característica especial, o que representa um desafio particular para a teoria econômica padrão que trata do conceito de externalidade. Para ele existem quatro questões distintas que devem ser consideradas ao se abordar o tema, quais sejam:

- Mudança Climática é uma externalidade global em ambos, causa e conseqüências. O impacto incremental de uma tonelada de GEE na mudança do clima é independente de onde foi emitida no mundo (diferente de outros impactos negativos como a poluição do ar e seu custo para a saúde pública), porque GEE se difunde na atmosfera e porque mudanças locais climáticas dependem do sistema climático global. Enquanto diferentes países produzem diferentes volumes de dano marginal uma unidade extra de GEE tem efeito independente seja vinda do Reino Unido ou da Austrália;

- Os impactos da mudança climática são persistentes e se desenvolvem continuamente no tempo. Uma vez na atmosfera, o GEE permanece lá por centenas de anos. Além disso, o sistema climático é lento em responder ao incremento da concentração de GEE na atmosfera, e provoca mais efeitos retardados no meio ambiente, na economia e na resposta social a mudança climática. Os efeitos dos GEE estão sendo experimentados agora e continuarão a se desenvolver a longo prazo;
- As incertezas são consideráveis sobre o tamanho potencial, tipo e duração no tempo, e sobre o custo de combater as mudanças climáticas, até que a abordagem usada seja hábil em lidar com o risco e a incerteza do problema;
- Os impactos geralmente têm um efeito significativo na economia global, se ações não forem tomadas para prevenir a mudança climática, então as análises têm que considerar mudanças não marginais para a sociedade, não meramente pequenas mudanças que amenizem a estimativa de valor do projeto.

A preocupação com a questão ambiental não é recente na teoria da administração. Porter e Van Der Linde (1995a, 1995b) fizeram uma proposição, do ponto de vista empresarial, na época bastante inovadora e polêmica: na competição entre as empresas uma adequada gestão ambiental passaria a ser uma vantagem competitiva e sua não-adoção poderia representar perdas para empresa. Consideram que fatores restritivos trazem um estímulo positivo à inovação. A regulamentação técnica de produtos também impõe características que os produtos são obrigados a ter. Dessa maneira também limita a atuação das empresas e, naturalmente, se espera que resulte em maiores custos. Com a regulamentação ambiental não é diferente. Em geral, a regulamentação ambiental está pautada pela imposição de limites de emissão de elementos poluentes e de uso de recursos naturais. É de se esperar, portanto, que essas restrições se traduzam em aumentos nos custos de produção das empresas e na conseqüente perda de competitividade.

Complementando, Porter e Van Der Linde (1995a) lançaram uma séria dúvida sobre a existência do *trade-off* até então considerado óbvio: ao contrário do que se pode esperar, a regulamentação ambiental, se for bem desenhada, pode resultar em um estímulo à introdução de inovações nos produtos e nos processos produtivos. E essas inovações, por fim, levariam a um ganho de produtividade.

Os autores também discutem a importância da regulamentação ambiental, considerando-se seis razões principais para a sua existência:

- Criar pressão para motivar as companhias a inovarem. Suas pesquisas em competitividade evidenciaram um importante papel da pressão externa para superar a inércia organizacional e adotar um pensamento criativo;
- Melhorar a qualidade ambiental em casos em que a inovação e os resultados da melhoria em produtividade de recursos não compensam completamente o custo da adequação; ou quando leva tempo para aprender sobre os efeitos da solução inovadora;
- Alertar e educar companhias sobre prováveis recursos ineficientes e áreas potenciais para melhoria tecnológica (embora os governos não possam saber melhor que as empresas como conduzir as soluções).
- Levantar a probabilidade em que as inovações de produtos e processos em geral serão ambientalmente “amigáveis”;
- Criar demanda para melhorias ambientais até que as companhias e os clientes estejam capacitados a perceber e medir a poluição causada por ineficiências;
- Assegurar as regras durante o período de transição para a inovação baseada em soluções ambientais, assegurando que uma companhia não ganhe posição por estar evitando investimentos ambientais. A regulação provê uma trégua para companhias inovadoras até que a tecnologia esteja testada e os efeitos do aprendizado possam reduzir os custos tecnológicos (PORTER; VAN DER LINDE, 1995b, p. 128).

Por sua vez Freeman (1992) defende que, embora o processo produtivo já tenha alcançado alguns ganhos ambientais, a incorporação de objetivos ambientais, de fato, ao desenvolvimento de novas tecnologias ainda não alcançou o grau necessário de difusão para que todo o sistema econômico seja guiado por tais objetivos. Isso fica evidente hoje, mais de uma década depois, quando se constata que o aquecimento global tem como um de seus principais fatores a ação predatória da indústria.

2.2 Escassez de Recursos e Conceito de Desenvolvimento Sustentável

Durante praticamente toda história humana, o problema da escassez foi equacionado por meio da exploração do meio ambiente, por vezes de modo devastador. Em decorrência disso, atualmente, a maioria dos recursos naturais, em todas as partes do mundo, tem suas reservas comprometidas em quantidade e qualidade. Diante desse quadro, na década de 1980, surgiu a idéia de desenvolvimento sustentável, formalmente apresentada pela Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, da Organização das Nações Unidas, em 1987, no relatório chamado *Nosso Futuro Comum*. Desenvolvimento sustentável foi conceituado como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades da geração presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras em satisfazer as suas necessidades (COMISSÃO MUNDIAL PARA O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988).

Gladwin, Kennelly e Krause (1995) definiram como qualidades do desenvolvimento sustentável os seguintes componentes: a) inclusivo: abarca os sistemas ambientais e humanos; b) conectado: entendimento sistêmico dos problemas interdependentes do mundo; c) equânime: distribuição justa de recursos; d) prudente: respeito aos ecossistemas e; e) seguro: melhora a qualidade de vida. Concluem que os futuros pesquisadores precisarão ter o foco na sustentabilidade requerendo mudanças no pensamento humano (do linear ao circular, do analítico ao sintético, do redutivo ao integrativo). Isso representará uma transformação cognitiva em termos de mudanças de valores, destacando-se o senso de servir, a igualdade, a humildade, a permanência, a precaução e a suficiência.

Para Stahel (1995, p. 12) o conceito de desenvolvimento sustentável:

Implica na constatação de que existem desenvolvimentos insustentáveis, ou maldesenvolvidos, abalando os alicerces de um conceito até então hegemônico e pouco discutido: a noção das benesses inquestionáveis do progresso tecno-industrial.

Esse conceito implica a profunda mudança nas relações econômicas entre os homens e o ambiente, pois num sentido mais amplo, o desenvolvimento sustentável visa promover a harmonia entre os humanos e entre a humanidade e a natureza. Deve-se, portanto, discutir estratégias para obter-se um desenvolvimento sustentável, o que requer:

- a) um sistema político que assegure a efetiva participação dos cidadãos no processo decisório;
- b) um sistema econômico capaz de gerar excedentes e *know-how* técnico em bases confiáveis e constantes;
- c) um sistema social que possa resolver as tensões causadas por um desenvolvimento não equilibrado;
- d) um sistema de produção que respeite a obrigação de preservar a base ecológica do desenvolvimento;
- e) um sistema tecnológico que busque constantemente novas soluções;
- f) um sistema internacional que estimule padrões sustentáveis de comércio e financiamento;
- g) um sistema administrativo flexível capaz de se autocorriger (GIORDANO, 1995, p. 52).

Para Krautkraemer (2005), a mudança global do clima foi induzida pela acumulação atmosférica de dióxido de carbono, resultante do consumo de combustíveis fósseis e da destruição de florestas, que são vias por onde os humanos criam um significativo impacto no ecossistema.

A concentração atmosférica corrente de dióxido de carbono é a maior dos últimos 420 mil anos e vem sendo incrementada diretamente desde a industrialização, de 286–288 ppm em 1860, até 367 ppm em 1998 (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2000).

A concentração atmosférica de metano foi incrementada em 151% desde 1750, e a temperatura média global na superfície aumentou em cerca de 0,6° C nos trinta anos finais do século passado, e a década de 1990 teve calor recorde. Enquanto a temperatura global e o clima variam naturalmente, um consenso se desenvolveu, o de que a maior parte do aquecimento da última metade do século passado é resultado dos GEE (ALBRITTON, 2006).

As conseqüências, entre outras, são as mudanças climáticas que prejudicarão vários ecossistemas, caso essas mudanças ocorram mais rapidamente do que as espécies possam se adaptar. Uma meta análise realizada em 143 estudos recentemente realizados encontrou “um impacto significativo do aquecimento global já discernível em populações de animais e plantas” (ROOT et al., 2003, p. 57).

Sachs (1975) defende a idéia de que a taxa zero de crescimento e desindustrialização, como alternativa única para a preservação do meio ambiente, é totalmente inaceitável enquanto existirem ricos e pobres. O autor afirma que realmente existem limites ao crescimento exponencial das atividades humanas, por mais remotos que possam ser e por maior que seja a capacidade de invenção da humanidade para afastá-los, pois o espaço terrestre é indubitavelmente finito. Argumenta ainda que a proteção ao meio ambiente não se dá em separado da luta contra a pobreza e, portanto, da busca do desenvolvimento econômico, que deve ser orientado para a satisfação dos objetivos e das necessidades sociais.

2.3 Mudanças Climáticas

A atmosfera do planeta Terra é constituída de gases que são bastante transparentes à radiação solar, enquanto absorvem grande parte da radiação emitida pela sua superfície aquecida. Isso faz com que a superfície terrestre tenha uma temperatura maior do que aquela sem a atmosfera. Isso produz um aquecimento adicional da superfície terrestre, possibilitando que a sua temperatura média global seja cerca de 15°C ao invés de -18°C calculados apenas pelo simples equilíbrio Terra – Sol.

Esse fato é denominado efeito estufa, propicia uma condição climática bastante favorável ao desenvolvimento da biosfera terrestre. Esse efeito benéfico em si pode estar sofrendo um desequilíbrio com conseqüências negativas para a biosfera. Percebe-se que o vapor de água tem ação de 65% no efeito, o CO₂ tem 32% e os demais gases têm apenas 3%. O vapor d'água é o primeiro gás causador do efeito estufa seguido do CO₂, com uma contribuição que é a metade do primeiro.

Esses gases atmosféricos aquecidos também emitem radiação, a qual se dirige em parte para a terra e em parte para o espaço. O resultado prático desse desequilíbrio é o aumento da forçante radioativa, uma alteração no balanço entre a radiação solar que chega a Terra e a emissão terrestre de radiação infravermelha. O aumento da concentração de GEE na atmosfera retém e aumenta a fração de radiação infravermelha, que ao invés de ser emitida para o espaço é emitida para a superfície terrestre provocando o seu aquecimento.

A ligação entre emissão de gases, efeito estufa e aquecimento global nem sempre foi tão evidente. Havia dúvidas até recentemente, mas hoje existem dezenas de modelos de

comportamento climático, entre eles os de Burke, Brown e Christidis (2006), Church e White (2006), Cox et al. (2000), Wigley e Raper (2001) que confirmam um aquecimento global em média de 2° C para o século em curso, mesmo que o pico das emissões antropogênicas (produzidas pelo homem) cedesse agora.

Goldemberg (1998) pondera ser o dióxido de carbono (CO₂) o principal contribuinte para o aquecimento global. Porém, afirma que o fato do metano ter um GWP (*Global Warming Potential* - medida internacional criada com o objetivo de medir o potencial de aquecimento global de cada um dos seis gases causadores do efeito estufa) 21 vezes mais poderoso que o CO₂ explica o porquê contribui significativamente para o aquecimento global, apesar de ser bem menos abundante que o CO₂ na atmosfera.

O CO₂ é produzido naturalmente por meio da respiração, da decomposição de plantas e animais e das queimadas naturais em florestas. São fontes antropogênicas a queima de combustíveis fósseis, as mudanças na vegetação (como o desflorestamento), a queima de biomassa e a fabricação de cimento. Já o gás metano é formado naturalmente em regiões onde existe matéria orgânica em decomposição. Somado a isso existem muitas fontes antropogênicas de metano que vêm contribuindo para o aumento da concentração na atmosfera.

O resíduo sólido municipal é entregue aos aterros sanitários e, então, é espalhado, compactado e recoberto com uma camada de terra fresca todos os dias. Os resíduos se decompõem pela ação dos micróbios para então formar o gás metano, o dióxido de carbono e água. Os gases produzidos são chamados de gases de aterro e contêm dúzias, se não centenas, de contaminantes como componentes orgânicos voláteis (VOCs).

O gás de aterro é um componente significativo do resíduo municipal sólido e pode ser visto como uma fonte renovável de geração de energia. O metano é o componente mais valioso do gás de aterro e também o mais perigoso, por razão de seu potencial de geração de efeito estufa, ou seja, 21 vezes maior do que o do dióxido de carbono. Duas forças sociais empurram para a recuperação do gás de aterro, o uso de fontes renováveis de energia presente desde 1980 e o Protocolo de Kyoto, que procura restringir a emissão de GEE (KNAEBEL; REINHOLD, 2003).

Corfee-Morlot e Höhne (2003, p. 278) afirmam que quatro aspectos são importantes para a estabilização do efeito estufa e o cessar de suas conseqüências:

- A estabilização da concentração atmosférica no século XXI em qualquer nível requer uma significativa ação a partir dos níveis correntes. As emissões globais necessitarão cair radicalmente, comparadas com os dias atuais, retornando aos níveis de 1990 e posteriormente declinando quase a zero;
- Se, a curto prazo, as emissões se elevarem acima de certo nível crítico, uma estabilização baixa a longo prazo não será alcançável;
- Por efeito da inércia e retardos no sistema global climático, mesmo com a estabilização das concentrações no mundo, ainda serão vistas significativas mudanças nos próximos séculos;
- A taxa de aquecimento é importante e causa impactos aos ecossistemas, e outros impactos abruptos e não-lineares. Reduzir a taxa de aquecimento requer a reversão da tendência do crescimento das emissões a curto prazo.

Höhne et al. (2007) apontam quatro passos da corrente causa-efeito que resulta na mudança do clima, são elas: emissões de CO₂ / concentração de CO₂ / mudança na temperatura média global / elevação do nível do mar. Mesmo que cesse o atual pico de emissões por volta dos próximos 20 anos, retornando para níveis aceitáveis, a estabilização da concentração dos níveis de CO₂ ocorrerá apenas entre 100 e 300 anos; a elevação da temperatura se estabilizará em alguns séculos; e o nível do mar continuará a se elevar por todo o milênio.

Amostras de gelo revelaram que no período anterior à Revolução Industrial a concentração atmosférica global de dióxido de carbono era de 280 ppmv. A concentração obtida em testes realizados em 1992 foi a mais alta do que qualquer outra nos últimos 160 mil anos, chegando próximo a 360 ppmv. CO₂, CH₄ e N₂O juntos produzem um montante de forçante radiativa ao nível de 400 ppmv de CO₂ equivalente.

Estabilizando a concentração de CO₂ em 450 ppmv e reduzindo as emissões de outros gases a taxas similares conduzir-se-á a uma concentração de pico de 550 ppmv de CO₂ sozinho (550 CO₂ eq. ppmv), quando se espera o início da redução global. Num cenário negativo, projeta-se esse nível de concentração a um danoso pico de 650 CO₂ eq. ppmv.

O Quadro 1 resume as principais fontes de geração dos gases formadores do efeito estufa, suas fontes de emissão e as oportunidades de redução.

Quadro 1 – Gases Causadores do Efeito Estufa e suas Fontes de Emissão

Emissões de Gases de Efeito Estufa			
Energia	Processos Industriais	Agricultura	Resíduos
CO₂ – CH₄ – N₂O	CO₂ – N₂O – HFCs – PFCs – SF₄	CH₄ – N₂O	CH₄
Queima de Combustível <ul style="list-style-type: none"> • Setor Energético • Indústria de transformação • Indústria de construção • Transporte • Outros Setores 	<ul style="list-style-type: none"> • Produtos Minerais • Indústria Química • Produção de Metais • Produção e consumo e halocarbonos e hexafluoreto de enxofre • Uso de solventes • Outros 	<ul style="list-style-type: none"> • Fermentação energética • Tratamento de dejetos • Cultivo de arroz • Solos agrícolas • Queimadas prescritas de cerrado • Queimadas de resíduos agrícolas 	<ul style="list-style-type: none"> • Disposição de resíduos sólidos • Tratamento de esgoto sanitário • Tratamento de efluentes líquidos • Incineração de resíduos
Emissões Fugitivas de Combustíveis <ul style="list-style-type: none"> • Combustíveis sólidos • Petróleo e gás natural 			

Fonte: Adaptado de Lopes, 2002.

2.4 Protocolo de Kyoto

O Protocolo de Kyoto é um instrumento para implementar a Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. Em 1997 em Kyoto, Japão, aconteceu a Conferência patrocinada pela ONU que visava equacionar a proteção do sistema climático da Terra e se estabeleceu um compromisso, legal e obrigatório, mais rígido para os países desenvolvidos e economias em transição para a redução de GEE. (WORLD BANK, 1998). Ali se estabeleceu que se devesse reduzir a emissão combinada de GEE, em pelo menos 5%, em relação aos níveis de 1990 até o período de 2008 e 2012, com metas individuais para cada país.

Existem metas de redução das emissões de 8% para União Européia, de 7% para os Estados Unidos da América e de 6% para o Japão. Por sua vez Austrália, Islândia e Noruega estão autorizadas a aumentar suas emissões, no período 2008-2012, denominado primeiro período do compromisso. As partes do Protocolo de Kyoto poderão reduzir as suas emissões em nível doméstico e/ou terão a possibilidade de aproveitar os chamados "mecanismos flexíveis" de

comércio de emissões como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), ou *Clean Development Mechanism* (CDM); e a implementação conjunta, *Joint Implementation* (JI). Esses mecanismos servem também para abater as metas de carbono absorvidas nos chamados "sorvedouros", tais como florestas e terras agrícolas. Os países tiveram que mostrar "progresso evidente" no cumprimento de suas metas até 2005, o que foi confirmado na Conferência de Montreal que se realizou em novembro de 2005, embora o Protocolo de Kyoto já tenha sido ratificado. O Protocolo de Kyoto possuía dois critérios, já atingidos, que condicionava a sua entrada em vigor:

- Ratificação, aceitação, aprovação e adesão de ao menos 55 países membros da Convenção sobre o Clima;
- Esse número inclui os países membros listados no Anexo 1 do Protocolo (os países industrializados), os quais são responsáveis por 55% das emissões totais de dióxido de carbono no planeta.

O Protocolo de Kyoto entrou finalmente em operação em 2005 e o Brasil é candidato a receber créditos pagos por indústrias poluentes dos países da Europa, por exemplo, que ainda necessitam continuar a poluir o meio-ambiente por um determinado período. Segundo Mesquita (2006) o instrumento do MDL propõe que os países desenvolvidos, caso não consigam ou não desejem cumprir suas metas de redução de emissão de gases, possam comprar dos demais países títulos conhecidos como créditos de carbono. O Protocolo prevê a criação do primeiro mercado internacional oficial para o comércio de créditos de carbono.

Esses créditos são certificados e outorgados às indústrias e às empresas que comprovadamente reduzam a emissão de gases causadores do efeito estufa durante a obtenção de seus produtos. Cada crédito pode valer de US\$ 3,00 a US\$40,00, mas, em média, fica entre US\$ 15,00 e US\$ 20,00. Estudos da Fundação Getúlio Vargas (FGV) mostram que esse mercado tem potencial de movimentação de US\$ 3,5 bilhões por ano na América Latina e grande parte desse potencial é relativo a projetos no Brasil.

2.5 Futuro do Protocolo de Kyoto

O Protocolo de Kyoto vive um momento de balanço e geração de propostas para o período pós-2012. Para aumento de sua eficácia é conveniente a adesão dos Estados Unidos da América ao Protocolo e a adesão da China a compromissos (responsáveis por 23% e 17% das emissões globais respectivamente até 2006, sendo que os EUA estão sendo ultrapassados em 2007 pela China pelo forte crescimento dessa e a presença do carvão na matriz energética).

O Brasil é o país responsável por conduzir as negociações em 2007 e algumas iniciativas para o aperfeiçoamento vem ocorrendo, como o encontro do Projeto BASIC (siglas dos países participantes: Brasil, África do Sul, Índia e China), realizado em São Paulo em agosto de 2006 sob o patrocínio do Instituto de Estudos Avançados (IEA) da USP. Nesse Encontro foi aprovada entre outras propostas, a criação de fundo internacional a partir da retenção de 2% de receitas de AAU, RMU e ERU, para financiar o desenvolvimento, a difusão e a disseminação de novas tecnologias (BASIC, 2006).

As tecnologias de tratamento de RSU precisam agora desse incentivo para sua evolução e redução dos custos, facilitando a adoção pelas prefeituras, que têm papel fundamental conforme previsto na Agenda 21.

2.6 Agenda 21

Na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO 92), realizada na cidade do Rio de Janeiro, no ano de 1992, criou-se a Convenção da Mudança do Clima das Nações Unidas ou *Framework Convention on Climate Change* (FCCC). Daí adveio a Agenda 21, documento assinado pela quase totalidade dos países, cujo capítulo 28 versa sobre a chamada Agenda 21 Local (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2007).

Essa agenda é constituída por um conjunto de diretrizes de um pacto para a adoção de medidas no sentido de capacitar os agentes multissetoriais locais (agentes governamentais, sociais e empresariais) a empreender, administrar e gerir projetos e torná-los capazes de atingir uma autonomia econômica. Por essa visão, acredita-se que é na esfera local e, portanto, nos municípios que os problemas são bem identificados, tornando-se mais fácil encontrar soluções mais adequadas à sua resolução. Deve-se, por conseguinte, privilegiar as

ações municipais para aproveitar as potencialidades locais e para aumentar as oportunidades de trabalho e de obtenção de renda da população, mediante ações integradas de desenvolvimento.

John, Ângulo e Agopyan (2003) lembram que o advento do modelo linear de produção industrial e da sociedade de consumo, estreitamente aliados ao aumento da população, vem tornando mais complexo o problema dos resíduos, o que motivou, durante a ECO 92 na definição da Agenda 21, o destaque à necessidade urgente de se implementar um adequado sistema de gestão ambiental para os resíduos sólidos, que incluía a redução da geração dos resíduos, a reutilização e a reciclagem dos resíduos gerados.

Bulkeley e Betsil (2005) definem que as cidades representam sítios de alto consumo de energia e produção de resíduos sólidos, e que as autoridades locais estão se empenhando para sua redução, particularmente após o acontecimento da ECO 92 e da definição da Agenda 21. Continuando as autoras apresentam profícua discussão sobre o papel das cidades para o desenvolvimento sustentável. Acabam por concluir que está se constituindo uma rede transnacional de governos locais que desafia o modelo atual de governança ambiental. Ainda, segundo as autoras está em gestação um conceito de governança multinível em que redes de relações entre diferentes níveis de governança constituem-se em contexto e meio. Concluem que se deve explorar a abrangência de atores e instituições envolvidas nesta rede, e estendê-la para o sucesso da governança ambiental mundial. Com essas afirmações pode-se imaginar que as cidades sozinhas não consigam cumprir com as suas obrigações ambientais, e o Protocolo de Kyoto acaba por reunir essa rede positiva em busca da melhor governança ambiental global, incentivando ações no âmbito local.

2.7 Convenção da Basiléia

A Convenção da Basiléia, estabelecida na cidade da Suíça do mesmo nome, destaca-se como um acordo internacional preocupado com a questão dos resíduos, particularmente os perigosos, e o seu transporte entre fronteiras internacionais. O seu capítulo asiático, sediado na China, enfrenta questões que têm similaridade às encontradas no Brasil, por tratar-se de uma economia igualmente em crescimento (BASEL CONVENTION REGIONAL CENTRE IN CHINA, 2006).

A Convenção da Basiléia propõe a fórmula da parceria público-privada (PPP), para enfrentar o problema dos resíduos, ressaltando as vantagens deste tipo de empreendimento por reunir o dinamismo e a capacidade técnica da iniciativa privada com a seriedade e responsabilidade na condução do problema pela gestão pública, conforme apresentado na Figura 2.

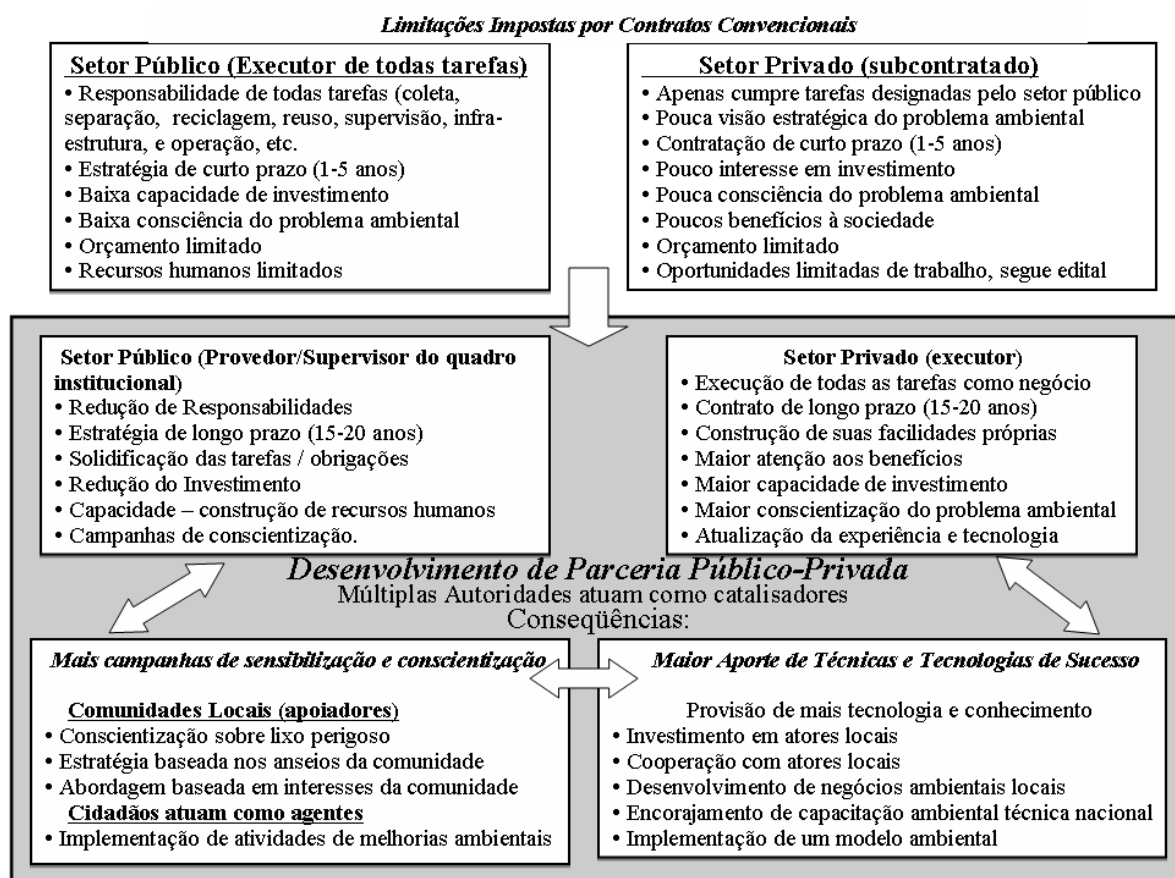


Figura 2 – Vantagens da Parceria Público Privada no Gerenciamento de Resíduos

Fonte: Basel Convention Regional Centre in China, 2006.

As relações convencionais da contratação do tratamento de resíduos pelos municípios passam por uma baixa discussão sobre as questões ambientais e estratégias de mitigação de riscos e conseqüências. As empresas contratadas cumprem tarefas de maneira rotineira, oferecendo um baixo valor agregado na prestação de seu serviço.

Com a parceria público-privada, a discussão estratégica sobre o problema do tratamento dos resíduos pode ficar mais clara. As relações deixam de ser de curto prazo, hoje menor de cinco anos, e passam para um horizonte de 15 a 20 anos, e as empresas privadas são convencidas a investir mais e a correr mais riscos, e as prefeituras que tem reconhecidas limitações de

recursos focam-se em atividades de regulação, educação e conscientização. Assim também é possível envolver mais o cidadão na questão ambiental.

2.8 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

O Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (2006, p.9) apresenta um roteiro de elaboração para um projeto MDL cujos pontos principais são apresentados resumidamente a seguir:

- O objetivo dos MDL é possibilitar que os países do Anexo 1 cumpram seus compromissos, já quantificados, de redução de emissões e, ao mesmo tempo, propiciar que os países menos industrializados (do não-Anexo 1) reduzam emissões e promovam o desenvolvimento sustentável;
- Todas as atividades de MDL deverão obedecer às diretrizes e orientações de um Conselho Executivo, o *Executive Board*, designado pelos países membros do Protocolo em reunião da COP;
- Os países não-Anexo I que desenvolverem projetos de MDL que resultem em redução de emissões quantificadas e certificadas poderão comercializá-las para os países do Anexo I, que poderão computar esse volume como abatimento nas suas quantidades de emissões a serem reduzidas;
- A redução de emissões quantificadas, resultante de projetos de MDL, deverá ser certificada por entidades operacionais independentes, designadas como certificadoras, que deverão também definir os procedimentos de auditorias de verificações para assegurar a transparência e a prestação de contas dos projetos;
- Os projetos de MDL e a aquisição dos Certificados de Emissões Reduzidas (CERs) podem envolver entidades privadas ou públicas.

Para serem certificados e validados, os projetos de MDL devem oferecer benefícios de longo prazo, reais e mensuráveis; e promover uma redução de emissões que seja adicional, ou seja, que não seria obtida na inexistência do projeto.

O procedimento para avaliação dos projetos de MDL passa por várias fases, como pode ser visto na Figura 3. Os termos apresentados nessa figura são detalhados no Glossário de Termos Específicos do Protocolo de Kyoto.

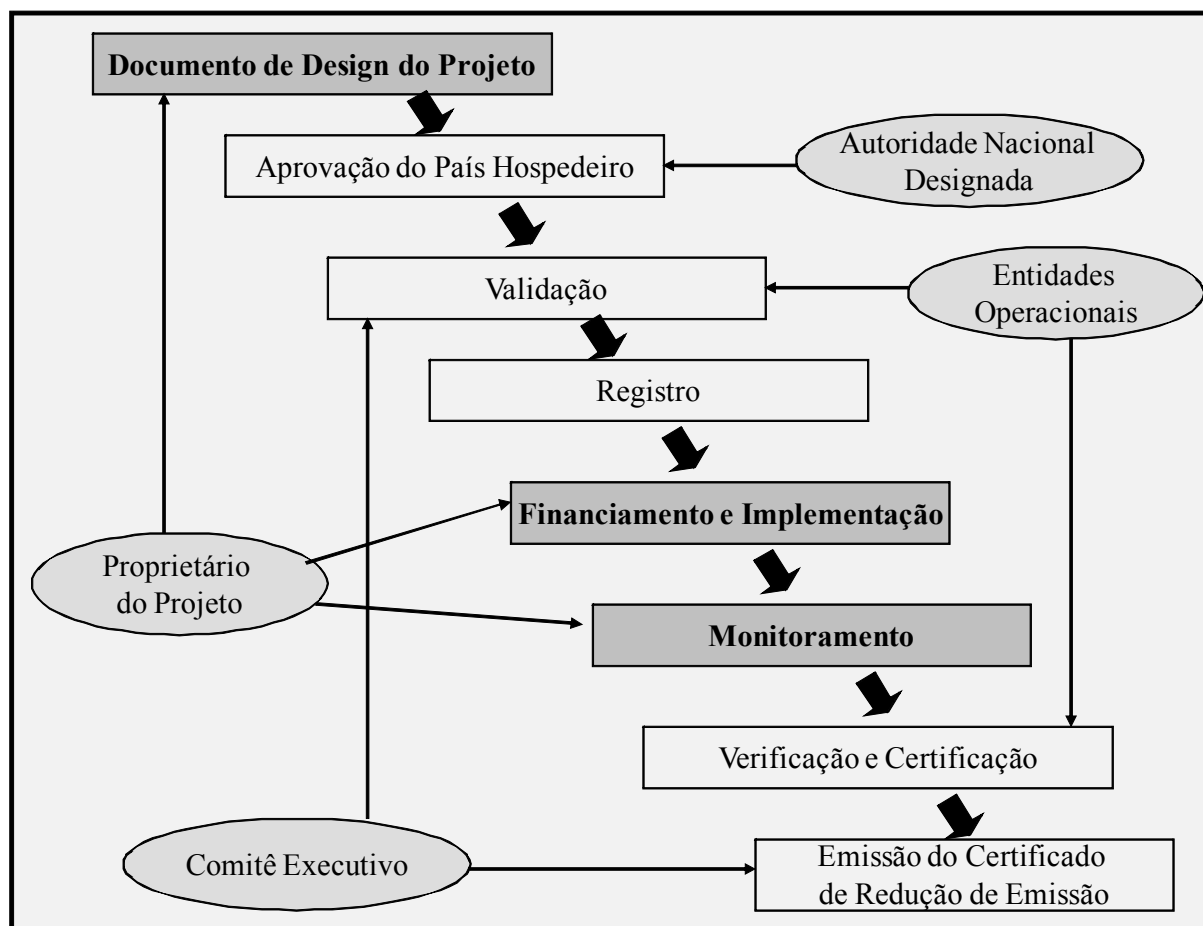


Figura 3 – Avaliação de Projeto de MDL

Fonte: United Nations Framework Convention on Climate Change, 2006.

Willis, Wilder e Curnow (2006) demonstraram haver uma tendência ao crescimento dos projetos MDL para o tratamento de resíduos sólidos urbanos, no período de 2004 a 2012, com concentração de projetos entre 2006 e 2011. A previsão para este tipo de projeto MDL supera os de biomassa, energia hidrelétrica e outras fontes de energia renovável, só perdendo para projetos industriais de eliminação de N_2O e de gases de flúor.

2.9 Políticas Públicas no Brasil

A recente Lei nº 11.445, de 05/01/2007, prevê que a prestação de serviços públicos de saneamento básico deverá ser descrita num plano específico, que abrangerá, no mínimo:

- diagnóstico da situação e de seus impactos nas condições de vida, utilizando sistema de indicadores sanitários, epidemiológicos, ambientais e socioeconômicos e apontando as causas das deficiências detectadas;
- objetivos e metas a curto, médio e longo prazos para a universalização, admitidas soluções graduais e progressivas, observando a compatibilidade com os demais planos setoriais;
- programas, projetos e ações necessárias para atingir os objetivos e as metas, de modo compatível com os respectivos planos plurianuais e com outros planos governamentais correlatos, identificando possíveis fontes de financiamento;
- ações para emergências e contingências.

A Lei ainda define as diretrizes para os serviços públicos de saneamento básico e Política Nacional de Saneamento Básico (PNS), considerando como manejo de resíduos sólidos:

- coleta, transbordo e transporte dos resíduos relacionados à limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, contemplando atividades de infra-estrutura e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;
- triagem para fins de reuso ou reciclagem, de tratamento, inclusive por compostagem, e de disposição final;
- varrição, capina e poda de árvores em vias e logradouros públicos e outros eventuais serviços pertinentes à limpeza pública urbana.

A lei também dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos, entre municípios, para fins de tratamento de resíduos sólidos urbanos, conforme definido na Lei nº 11.107, de 06/04/2005. Complementarmente fica instituído o Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS), com os objetivos de:

- coletar e sistematizar dados relativos às condições da prestação dos serviços públicos de saneamento básico;
- disponibilizar estatísticas, indicadores e outras informações relevantes para a caracterização da demanda e da oferta de serviços públicos de saneamento básico;

- permitir e facilitar o monitoramento e avaliação da eficiência e da eficácia da prestação dos serviços de saneamento básico.

Dados do portal do Ministério das Cidades (2006) apontam que os serviços de gerenciamento de resíduos são prestados exclusivamente pelas prefeituras em 88% dos municípios; por prefeituras e empresas privadas em 11%; e exclusivamente por empresas contratadas em pouco mais de 1% dos municípios. As empresas privadas concentram sua atuação nos grandes e médios municípios, especialmente nos serviços de coleta, resultando em 45 empresas responsáveis pela coleta de 30% do lixo gerado no país.

Como pode se observar, a atividade de coleta e tratamento de resíduos urbanos no Brasil, quando não executada pela própria prefeitura, tende a ser exercida por um pequeno número de empresas, interessadas nas cidades médias e grandes. Isso pode ser consequência da necessidade de grande aporte de capital para constituição da infra-estrutura e contínua renovação de frotas e equipamentos específicos, longe do alcance das pequenas empresas.

3 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

No Brasil, para se classificar os resíduos sólidos, adota-se a norma NBR 10004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), que segue o critério dos riscos potenciais ao meio ambiente, dividindo-os em:

- Classe I – perigosos - abrange os resíduos perigosos, ou seja, que apresentam risco à saúde pública e ao meio ambiente, ou uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, reatividade e patogenicidade. São exemplos de lixo classe I, as baterias e produtos químicos que geram um forte impacto sobre o meio ambiente;

- Classe II – não-perigosos. Esses resíduos se dividem ainda em:
 - Classe II A – Não inertes – Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – Perigosos ou de Resíduos classe II B – Inertes. Os resíduos classe II A – não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade, ou solubilidade em água.

 - Classe II B – Inertes – Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores ao padrão de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Existe ainda o resíduo proveniente da construção civil e da demolição (RCD), normalmente sobras de construções ou entulho de demolições. Em muitos municípios a quantidade de resíduos de construção e demolição ultrapassa em volume os de classe II, em virtude das constantes obras novas ou de reforma das edificações. Esses resíduos, no entanto, têm baixo nível de contaminação, pouca parcela orgânica, com baixa emissão de metano, e são facilmente recicláveis, não se constituindo em preocupação central desta pesquisa.

A Resolução nº 307 de 2002 do CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002), apoiando-se na Convenção de Basileia considera que alguns resíduos provenientes da

construção civil são perigosos e merecem tratamento especial, classificando-os como perigosos:

Classe "D": são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados, ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais, e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

O gerenciamento de resíduos sólidos refere-se a aspectos tecnológicos e operacionais, envolvendo fatores administrativos, gerenciais, econômicos, ambientais e de desempenho como produtividade e qualidade e relaciona-se à prevenção, redução, segregação, reutilização, acondicionamento, coleta, transporte, tratamento, recuperação de energia e destinação final de resíduos sólidos (SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1999).

O conceito de Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (SIGRS) propõe destinações ao resíduo sólido urbano, conforme pode ser visto no Quadro 2.

Quadro 2 – Destinações Recomendadas pelo SIGRS

DESTINAÇÃO	DESCRIÇÃO
Reciclagem	Aproveitamento dos restos de papéis, vidros, plásticos e metais que não estejam contaminados para servir como insumo na fabricação de novos materiais.
Compostagem	Aproveitamento dos restos alimentares e componentes orgânicos (papéis, madeira, poda de jardins) para produção de adubo natural.
Recuperação Energética	Forma de aproveitar os resíduos e reduzir seus impactos.
Aterro Sanitário	Local de disposição final dos resíduos imprestáveis, com garantias sanitárias.

Fonte: United Nations Environment Protection Agency, 1998.

O potencial de aproveitamento energético dos resíduos sólidos é da ordem de 25 TWh no Brasil, cerca de 8% do consumo de energia elétrica total do país (OLIVEIRA; ROSA, 2002). Os autores consideram que se pratica hoje no Brasil uma dispendiosa e ineficaz gestão de

cerca de 20 milhões de toneladas anuais de resíduos sólidos urbanos com alto poder calorífico, sem o seu aproveitamento.

Estudo para o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas, apresentado por D'Almeida e Vilhena (2000) confirma o desperdício de material no lixo urbano, com alta quantidade de papel, vidro, plástico e metais que são descartados (35% da composição total). O reaproveitamento por triagem e reciclagem desses materiais traria uma economia energética e um ganho ambiental significativo. Ainda segundo esses autores, o lixo em média no Brasil apresenta a seguinte composição:

- 3% de plástico;
- 3% de vidro;
- 4% de metais;
- 25% de papel;
- 65% de matéria orgânica.

O Quadro 3 apresenta dados sobre a atuação da iniciativa privada no tratamento de resíduos sólidos no Brasil, para ambos os setores, municipal e privado.

Quadro 3 – Principais Números do Setor de Tratamento de Resíduos no Brasil - 2005

Unidades receptoras de resíduos	112 unidades privadas em operação
Tratamento de Resíduos	
Industriais	3,3 milhões de toneladas
Municipais	4,8 milhões de toneladas
Total	8,1 milhões de toneladas
Receita	
Tratamento de Resíduos	R\$ 1,0 bilhão
Outros Serviços Ambientais	R\$ 0,5 bilhão
Total	R\$ 1,5 bilhão
Clientes	15 mil clientes ativos
Empregos	14,4 mil empregos diretos
Responsabilidade Social	Mais de R\$ 4,0 milhões investidos (dado parcial)

Fonte: Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos, 2006.

O Quadro 4 apresenta as distinções de abordagem do tratamento do resíduo nos âmbitos público e privado.

Quadro 4 – Diferença de Abordagem dos Resíduos no Setor Público e Privado - 2005

RESÍDUO DO SETOR PÚBLICO (resíduos municipais)	RESÍDUO DO SETOR PRIVADO (resíduos industriais)
Serviço Público Essencial	Não é Serviço Público
Obrigação do Poder Público Municipal	Obrigação do Gerador
Contratante não é o gerador (municípios), é o município (a prefeitura)	Contratante é o gerador (empresas)
Envolve interesses públicos diretos: usuários, saúde pública, meio ambiente	Envolve interesses privados diretos e interesses públicos indiretamente
Investimentos públicos, eventualmente privados (concessões)	Investimentos 100% privados
Contratos multilaterais, envolvendo agentes públicos diversos e empresas	Contratos bilaterais, entre agentes privados
Foco na atividade: serviço de coleta, tratamento e disposi�o	Foco nos resultados das atividades: prote�o ambiental
Padrão de qualidade individualizado, direto por cada município e seu orçamento	Padrão de qualidade geral, ditado pelo mercado (há bons e há ruins)
Risco ambiental � público, da sociedade	

Fonte: Associa o Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos, 2006.

O Quadro 5 apresenta dados sobre atua o das empresas privadas receptoras de resíduos para tratamento no Brasil.

Quadro 5 – Unidades Receptoras de Resíduos Operadas por Empresas Privadas no Brasil

Unidades Receptoras de Resíduos – Empresas Privadas	
Tecnologia	Unidades Existentes
Aterros para Resíduos Classe II-A	37
Aterros para Resíduos Classe I	16
Cimenteiras licenciadas para co-processamento	30
Unidades de Blendagem para co-processamento	9
Incineradores Industriais	12
Outras Tecnologias	8
Total	112

Fonte: Associa o Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos, 2006.

3.1 Caminhos para a Conversão dos Resíduos

Williams, Jenkins e Nguyen (2003) apresentam que conversão de material orgânico pode acontecer por três caminhos básicos, todos em uso no tratamento de resíduos sólidos no mundo, termoquímico, bioquímico e físico-químico. Esses três caminhos são detalhados a seguir.

3.1.1 Conversão termoquímica

A conversão termoquímica se caracteriza por altas temperaturas e altas taxas de conversão. É melhor aplicada em resíduos de baixa umidade e com menor seletividade. O processo de conversão termoquímica abrange:

- **Oxidação por combustão** - para a produção de calor em elevadas temperaturas sem geração de gases, líquidos ou sólidos úteis comercialmente. A temperatura da chama varia de 1500 a 3000° F, dependendo do combustível, da estequiometria (cálculo da quantidade de reagentes e produtos da reação, baseado nas leis das reações químicas), do material, do *design* do forno e de perdas no sistema de transmissão de calor. A combustão de sólidos envolve processos simultâneos de transporte de calor e massa, pirólise, gaseificação, ignição e queima, com fluxo fluido. Produtos da conversão incluem calor, gases oxidados (CO₂, H₂O), produtos de combustão incompleta e produtos de outras reações (alguns poluentes) e cinzas. Outros processos, como a oxidação supercrítica da água e oxidação eletroquímica, podem produzir produtos similares em mais baixas temperaturas;

- **Gaseificação** - tipicamente refere-se à conversão por via da oxidação parcial, usando ar sub-estequiométrico ou oxigênio ou aquecimento indireto para produzir gases combustíveis (gás de síntese, gás produtor), principalmente CO, H₂, metano e hidrocarbonos leves em associação como CO₂ e N₂, dependendo do processo utilizado. A gaseificação também pode produzir líquidos (alcatrão, óleos e outros condensados) e sólidos (carvão e cinzas) do material processado. Processos de gaseificação são projetados para gerar combustível ou gás de síntese como produto primário. Gases combustíveis podem ser usados em motores a combustão, células combustíveis e outros geradores de energia primária. Produtos da gaseificação podem produzir metanos,

líquidos do tipo FT (Fischer-Tropsch) e outros combustíveis líquidos e químicos. Gaseificação de sólidos e combustão do combustível derivado de gases geram a mesma categoria de produtos como os da combustão direta de sólidos, mas o controle de poluição e a eficiência têm que ser melhorados;

- **Pirólise** - é um processo similar à gaseificação geralmente utilizado para a produção de combustível líquido (óleo de pirólise) que pode ser usado diretamente ou refinado para uso em motores, produtos químicos e adesivos. A pirólise também produz gases e sólidos da matéria-prima. Usualmente processos que degradam termicamente o material sem a adição de ar ou oxigênio são considerados pirólise. Pirólise e seus gases derivados, bem como o combustível líquido, também podem produzir a mesma categoria de produtos finais da combustão direta de sólidos, mas tal como na gaseificação, o controle de poluição deve ser eficiente. A pirólise direta de líquidos pode ser tóxica, corrosiva, oxidativamente instável e de difícil manuseio. A geração de líquidos combustíveis traz vantagens de manuseio e distribuição ou mobilidade para a geração de energia;

- **Aquecimento por Arco de Plasma ou Rádio Frequência** (microondas) - refere-se a dispositivos específicos que provêm calor por gaseificação, pirólise ou combustão, dependendo do montante de oxigênio alimentado no reator. O craqueamento catalítico emprega a catálise na reação para acelerar a quebra de moléculas pesadas em produtos menores, para melhorar a seletividade e transmitir certas características ao produto final, como volatilidade e conversibilidade aos combustíveis líquidos.

3.1.2 Conversão bioquímica

Ocorre em baixas temperaturas e em baixas taxas de reação, mas tendem a oferecer maior seletividade aos produtos do que a conversão termoquímica. Materiais de alta umidade são geralmente bons candidatos para processos bioquímicos. Os processos de conversão bioquímica abrangem:

- **Digestão anaeróbia** - técnica de fermentação tipicamente empregada em qualquer estação de tratamento de água para a degradação do lodo e estabilização, mas também é o principal processo que ocorre nos aterros. Opera sem oxigênio livre e resulta em gás combustível chamado biogás, contendo CO₂ e metano, mas porta impurezas como

umidade, H₂S e matéria particulada. Facultativamente pode requerer a adição de uma bactéria metanogênica que auxilia na degradação dos substratos do lixo. A relação carbono/nitrogênio é especialmente importante. O biogás pode ser usado como combustível em motores, células combustíveis, turbina a gás, boilers, aquecedores industriais e outros processos de manufatura química;

- Conversão aeróbia – inclui, por exemplo, a compostagem e tratamento de resíduos do lodo do processo de tratamento de água. Usa ar ou oxigênio para suportar o metabolismo de microorganismos que degradam o substrato. Considerações nutricionais são importantes para o correto funcionamento do processo aeróbio. O processo opera com taxas maiores que o processo anaeróbio, mas não produz gases combustíveis.

A fermentação é geralmente usada industrialmente para produzir combustíveis líquidos como o etanol e outros produtos químicos, que também operam sem oxigênio. Embora a fermentação e a digestão anaeróbia sejam comumente classificadas separadamente, ambas são processos de fermentação desenhados para produzir produtos diferentes. A matéria celulósica, incluindo a maioria da fração orgânica do RSU, precisa de um pré-tratamento (ácido, enzimas ou hidrólise hidrotérmica) para quebrar e depolimerizar a celulose e permitir a ação da levedura de bactérias empregada no processo. A lignina presente na biomassa é refratária à fermentação e seu produto é tipicamente usado como combustível de *boilers* ou como matéria para conversão termoquímica ou combustível para outros produtos.

3.1.3 Conversão físico-química

Envolve a síntese física e química de produtos como a transformação de óleos vegetais virgens ou usados, gordura animal, graxas e outras matérias adequadas como o combustível líquido ou biodiesel, freqüentemente por transesterificação (reação de glicerídios como álcool na presença de um catalisador).

3.1.4 Tecnologias

A partir dos três caminhos anteriormente apresentados, as tecnologias para tratamento de resíduos podem ser classificadas em cinco grandes grupos: a) processos térmicos (derivados do antigo processo de incineração); b) digestão aeróbica ou anaeróbica (que acaba por ocorrer

nos aterros); c) hidrólise; d) processamento químico; e, e) recuperação mecânica de fibras. Esses processos são apresentados a seguir.

- **Processos térmicos** - são tecnologias usadas para produzir uma quantidade significativa de calor durante o curso do processamento do RSU. Descritores comuns da tecnologia térmica incluem gaseificação, pirólise, craqueamento e plasma. Essas tecnologias são similares na medida em que reações endotérmicas e exotérmicas ocorrem no processo, mudando a composição do RSU. Produtos resultantes incluem gás de síntese (composto de hidrogênio gasoso, monóxido e dióxido de carbono), que é queimado para gerar energia elétrica, resíduos sólidos (geralmente vitrificados) e líquidos orgânicos (como o metanol), dependendo do processo utilizado;

- **Digestão** (aeróbia ou anaeróbia) - é a redução da fração orgânica do RSU por meio da decomposição por micróbios, acompanhada por produção de líquidos e gases. O processo pode ser aeróbio ou anaeróbio, dependendo de como o ar é introduzido, mecanicamente ou não. Digestão anaeróbia produz biogás, que pode ser usada para gerar eletricidade. A digestão aeróbia produz um composto que pode ser utilizado como fertilizante, mas não produz biogás;

- **Hidrólise** - é uma reação química na qual a água reage com outra substância para formar uma ou mais outras substâncias. No tratamento de RSU usa-se uma reação de ácido catalisado na fração de celulose do lixo, presente no papel, alimento, e restos vegetais, com água para produzir açúcares, que depois são convertidos em etanol e outros produtos;

- **Processamento químico** - é o termo geral para tecnologias que usam uma combinação de vários processos. Uma delas é a depolimerização que produz uma quebra permanente das moléculas grandes, convertendo-as em pequenas e mais simples. Geram-se produtos diversos como vapor, eletricidade, óleos e especialmente carbonos sólidos.

- **Processamento mecânico** - é a tecnologia utilizada para recuperar de fibras. No processamento do RSU a retirada de fibras para uso secundário, acontece, por exemplo, na indústria do papel.

3.2 Conceito de Lixo Zero

Regiões do mundo mais conscientes com as questões ambientais trabalham com a perspectiva do lixo zero. Existem recomendações para isso nas cidades de Canberra, Austrália, com população de 300.000 habitantes em 2001; Santa Cruz, Califórnia, EUA, com população de 230.000 habitantes em 2001; Seattle, Washington, EUA, com população de 534.700 habitantes em 2001; e em várias cidades do Canadá. A proposta parte da conscientização do cidadão quanto à coleta seletiva, reciclagem e compostagem em pequena escala de seus próprios resíduos, e de outras formas que auxiliem na meta do lixo zero. Numa visão extrema, autores defensores dessa proposta afirmam que no caso de materiais que não possam ser reusados, reciclados ou compostados, as comunidades devem exigir que tenham sua produção interrompida (CONNETT; SHEEHAN, 2001).

Williams, Jenkins e Nguyen (2003) afirmam que o estado da Califórnia, EUA, vem procurando alternativas para o tratamento do RSU considerando que: a) os aterros têm capacidade finita e é muito caro e controverso ampliar sua capacidade; b) quer reduzir os odores e a incidência de roedores e pássaros nas imediações dos aterros; c) procura benefícios da redução de emissão do GEE; e, d) procura diversificar o uso do resíduo como combustível, com aplicação na indústria química e de materiais. Os autores também consideram que o fluxo de resíduos deve ser dividido em úmido e seco e que a alternativa da digestão anaeróbia é adequada para os resíduos de alta umidade; no entanto, ressaltam que o processo não é completo, sobrando 50% de matéria orgânica não convertida. O processo aeróbio, como a compostagem, pode reduzir o volume, mas não gera energia. Para o resíduo de baixa umidade podem ser adequados processos térmicos como gaseificação (com acréscimo de GLP ou diesel), pirólise ou combustão. O biogás pode ser queimado em plantas de ciclo combinado, de maneira a melhorar a geração de energia elétrica. Em que pese o incremento da população, o estudo conclui que o lixo disposto irá aumentar, mesmo com o desenvolvimento da reciclagem, e que todas as estratégias para a redução dos volumes são insuficientes sozinhas, pois cada uma tem seu papel no processo de redução dos aterros.

3.3 Tecnologias Usuais

Apresentam-se a seguir as tecnologias mais factíveis para o Brasil, em uso ou em desenvolvimento.

3.3.1 Aterros sanitários

Em 1934, na cidade de Fresno, Califórnia, EUA, abriu-se o primeiro aterro sanitário, com um método baseado no uso de técnicas de engenharia, para controlar a putrefação da matéria orgânica de vala aberta. Camadas de 12 polegadas de lixo eram recobertas com 24 polegadas de cinzas e materiais de varredura das ruas, os quais eram cobertos com uma camada de terra, e então o ciclo se repetia. Foi a primeira aplicação do método *cut and cover*, no qual uma imensa vala ou buraco é escavado e subsequente é preenchido com camadas alternadas de solo. A idéia espalhou-se rapidamente, e por volta de 1945, mais de 100 cidades americanas já tinham adotado o aterro sanitário. Ele substituiu a incineração e a disposição a céu aberto como método preferido de disposição de resíduos urbanos. Os aterros sanitários tendem a ser particularmente populares entre os engenheiros civis, porque resolvem vários problemas de uma só vez e eliminam a necessidade de separação do lixo das calçadas. Têm uma enorme capacidade para incrementos futuros, não são intensivos em mão-de-obra e operam com eficiência a um custo baixo. É uma solução *one-stop*, fora das nossas vistas e de nossas mentes. Entretanto nos anos 1950 e 1960 começaram a identificar os primeiros problemas de contaminação das águas próximas, explosões de gás metano, e incêndios incontroláveis. Em 1960 a Environmental Protection Agency (EPA) afirmou que 90% dos aterros não poderiam ser chamados de sanitários, por causa de seus efeitos. Ao mesmo tempo, a pressão das comunidades contra os aterros cresceu e em resposta, em 1965, o Congresso aprovou o *Solid Waste Disposal Act*, que requeria métodos ambientalmente adequados para disposição dos resíduos. Essas forças combinadas precipitaram um novo interesse pela incineração (PDH ENGINEER, 2007).

Nos últimos anos as técnicas para melhorias dos sistemas de aterro sanitário evoluíram muito, deixando para trás os lixões a céu aberto, com implementação de células controladas, camadas de isolamento de argila e de lona plástica, e remoção do chorume para tratamento em lagoas, técnicas que evitam a disseminação de vetores por roedores ou pássaros (D'ALMEIDA; VILHENA, 2000).

Henken-Mellies e Gartung (2004) efetuaram experimento sobre o efeito da água nos aterros sanitários e constataram que, mesmo com uma camada altamente adensada de argila, em situação de chuva volumosa, poderá haver a penetração da água que percorrerá os resíduos provocando o vazamento e a lixiviação. A camada de isolamento utilizada no experimento foi

em massa por unidade de área de 9.500 g/m^2 e uma permissividade ψ de $8,3 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$, sendo o conceito de permissividade definido como a condutividade hidráulica dividida pela espessura da camada. O objetivo do experimento era de verificar o fluxo da água na superfície, o fluxo de drenagem, e o fluxo de vazamento. Foram avaliadas duas situações, a prática normal dos aterros e o revestimento de argila geossintética, que contribui significativamente para reduzir a permeabilidade do aterro, porém sem a redução total, no caso de altos índices pluviométricos. Os autores concluem o artigo ressaltando a importância de uma boa técnica de impermeabilização. No Brasil normalmente acrescenta-se uma lona plástica impermeabilizante que reduz esse efeito, no entanto poderá ocorrer o vazamento no caso de ruptura da lona, por mais grossa e compactada que seja a camada de argila.

Park e Heo (2002) afirmam que o melhor método para tratamento dos resíduos urbanos é a reciclagem e o reuso, mas o montante que pode ser reciclado é da ordem de 40% do volume total do resíduo produzido (dado para países de economia industrializada, já para países em desenvolvimento o lixo pode ter uma parcela orgânica não reciclável maior, reduzindo significativamente esse porcentual). Os aterros sanitários são conhecidos como o método mais oportuno e barato para dispor a parcela sólida não reciclável. Entretanto, para esses autores, esse método simples pode causar vários problemas como, por exemplo, a poluição das águas subterrâneas, lixiviação, emissão de odores e contaminação dos solos.

Eriksson et al. (2002) desenvolveram estudo sobre geração de CO_2 equivalente na disposição final de resíduo utilizada na Europa, e apontam que a alternativa de maior geração de CO_2 equivalente é o aterro, pois nessa solução o gás metano é liberado diretamente para atmosfera após o processo natural de biodegradação, o que pode acentuar ainda mais o efeito estufa.

3.3.2 Recuperação energética do gás do lixo

A organização internacional Methane to Markets vem apoiando iniciativas mundiais para recuperação de gás de aterros, e apontava a existência de 37 projetos operacionais, em 2004, apenas nos Estados Unidos da América. Ao apresentar a evolução da técnica, a organização informa que enquanto a quantidade de lixo acumulada em aterros aumentou de 209 Tg para 279 Tg (33%), no período de 1990 a 2003, a extração de gás metano aumentou de 935 Gg para 5.545 Gg, (quase 500%) no mesmo período. O destino deste gás metano é ser queimado

para evitar o efeito estufa ou, melhor ainda, transformado em energia elétrica (METHANE TO MARKETS PARTNERSHIP LANDFILL SUBCOMMITTEE, 2005).

Knaebel e Reinhold (2003) afirmam que no passado aplicações de coleta de gás de aterro não eram atrativas economicamente pela quantidade de processos requeridos e a pouca quantidade de gases produzidos comercializáveis. Completam que para essas aplicações se tornarem economicamente viáveis algumas destas condições devem existir: a) o preço do gás resultante deve ser superior a 3,5 dólares por milhões de BTU; e b) deve haver consumo de CO₂ bruto próximo da geração, com incentivos fiscais para a captura do gás e uso de fontes renováveis de energia, em vez de combustíveis fósseis.

Joseph (2002) apresenta o conceito de aterro biorreator – *landfill bioreactor* (LFBR) – como um aterro sanitário, melhorado por processos microbiológicos, para transformar e estabilizar o lixo orgânico decomponível num prazo de cinco a dez anos de implementação, comparado com os trinta a cem anos dos aterros convencionais “a seco”. Este tipo de aterro sanitário é projetado para dispor a parcela orgânica do resíduo sólido com a intenção de otimizar a biodegradação, reduzindo a carga orgânica da lixiviação e melhorando a geração do gás de aterro – *landfill gas* (LFG) –, que pode ser recuperado para a produção de energia.

No Brasil, de acordo com Henriques (2004), o aproveitamento do gás do lixo (GDL), ou biogás, é o uso energético mais simples dos resíduos sólidos urbanos, bem como mundialmente o mais utilizado. O GDL é um gás composto em percentual molar de: 40% – 55% de metano, 35% – 50% de dióxido de carbono, e de 0% – 20% de nitrogênio. O poder calorífico do GDL é de 14,9 a 20,5 MJ/m³, ou aproximadamente 5.800 Kcal/m³. A recuperação do GDL tem as vantagens de:

- Reduzir os gases de efeito estufa;
- Baixar o custo para o descarte de lixo, obtendo renda dos aterros existentes;
- Permitir a utilização para gerar energia ou como combustível doméstico.

E como desvantagens têm-se:

- A ineficiência no processo de recuperação do gás, que permite um aproveitamento de aproximadamente 50% do total de GDL produzido (correspondente a cerca de 90% do metano);
- O alto custo para *up grade* de uma planta, quando esgotam-se as capacidades previamente dimensionadas.

Na cidade de São Paulo já se pratica o procedimento de coleta e aproveitamento energético do gás do lixo no Aterro Bandeirantes, um dos dois principais locais onde a Prefeitura Municipal dispõe seu resíduo. Esse local recebe aproximadamente 50% do lixo do município de São Paulo. Por meio de tubulações instaladas, em pontos diversos do aterro, coleta-se o gás metano e, por meio da sua queima, produz-se energia elétrica, que é integrada à distribuição local de energia pública. Anteriormente esse gás era queimado em *flares*, para eliminar o metano, emitindo gases de menor poder de aquecimento global. O projeto de recuperação de gás do Aterro Bandeirante tem patrocínio do Banco UNIBANCO e é parcialmente financiado com créditos de carbono advindos do Protocolo de Kyoto. (BIOGÁS-AMBIENTAL, 2007).

La Rovere, Costa e Dubeaux (2006) apontam iniciativas em andamento no Brasil que visam recuperação de biogás de aterros sanitários, e que podem gerar reduções certificadas de emissão (RCEs), de 2,3 milhões de tCO₂ equivalente/ano, com receita potencial de US\$ 11,4 milhões/ano. Segundo os autores, iniciativas viáveis a curto e médio prazos podem multiplicar por cinco esses valores, constituindo-se numa oportunidade promissora para promover a sustentabilidade social e ambiental do desenvolvimento municipal no país, por meio do apoio a uma gestão mais adequada dos resíduos sólidos urbanos.

A NovaGerar é uma *joint venture* entre duas empresas, a EcoSecurities, especializada em administração de finanças nas questões de mitigação de gases de efeito estufa; e a S.A. Paulista, empresa brasileira de engenharia civil e construção, com sede na cidade de São Paulo. A atividade principal da S.A. Paulista é o setor de construções pesadas, tais como estradas de rodagem, estradas de ferro, aeroportos, portos, indústrias e saneamento. A S.A. Paulista também administra a maior estação de transferência de lixo doméstico da América do Sul, a Transbordo Ponte Pequena, responsável por 60% de todo o lixo doméstico de São Paulo, uma cidade com uma população superior a 10 milhões de pessoas. Em 2001, a S.A. Paulista obteve a concessão pelo período de vinte anos da Empresa Municipal de Limpeza Urbana (EMLURB), agência governamental responsável pela coleta disposição de lixo, para

administrar os aterros de Marambaia e de Adrianópolis, oficialmente chamados “Lixão de Marambaia” e “Aterro Sanitário de Adrianópolis”, no estado do Rio de Janeiro. E também para explorar o potencial de gás de aterro desses locais. Em Adrianópolis, a operação foi iniciada em janeiro de 2003, com previsão de receber uma média de 2 mil toneladas de lixo municipal por dia.

O objetivo da *jointventure* NovaGerar é explorar a coleta de gás e as atividades de utilização dos aterros administrados pela S.A. Paulista. Isso deve envolver um investimento em um sistema de coleta de gás, um sistema de drenagem de chorume e uma usina de geração de eletricidade modular em cada local de aterro, com expectativa de capacidade total final de 12MW, bem como um complexo de geradores em cada local.

O Projeto NovaGerar aplica essa solução e seus dados principais podem ser vistos resumidamente na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados do Projeto NovaGerar

Fase 1 – Queima do Gás	Valor
Preço do Carbono (€/tCO ₂)	3,35
Taxa de Câmbio (US\$/€)	1,15
Taxa de Câmbio (R\$/US\$)	3,00
Preço líquido do carbono (US\$/t)	3,78
Operação e manutenção mensal da planta de gás (US\$)	6.800
Fase 2 – Geração de Energia	
Tarifa (R\$/MWh)	130
% de royalties ao proprietário	10
Operação, manutenção e custos de capital da planta (US\$/MWh)	38,00
Fluxo de Caixa do Projeto	
Custos pré-operacionais (US\$)	250.000
Despesas administrativas mensais (US\$)	11.850
Custos administrativos devidos ao Banco Mundial (US\$)	20.000

Fonte: Ecosecurities, 2004.

Os geradores causam combustão no metano do gás de aterro para produzir eletricidade para exportar para a rede. O gás de aterro em excesso e todos os gases coletados, durante o período em que a eletricidade não é produzida, são incinerados. A combustão e a incineração combinadas pelos cálculos apresentados devem reduzir as emissões de CO₂ nos próximos vinte e um anos em 14,07 milhões de toneladas.

3.3.3 Incineração

O primeiro incinerador de resíduos urbanos em grande escala foi construído na cidade de Nova York em 1885, e por volta de 1908, 180 incineradores tinham sido construídos nos EUA. Desde essa época se iniciaram os experimentos para gerar eletricidade, a primeira planta com esse fim construída também foi construída em Nova York, em 1905. No entanto, provou-se que era muito caro e não se podia competir com a geração tradicional de eletricidade. Adicionaram-se então outros combustíveis como gás natural e carvão para facilitar a combustão, o que também se tornou caro e o lixo voltou a ser incinerado sem a adição de combustível. Entretanto, como a temperatura não era suficientemente alta, a incineração acarretava em uma fumaça insalubre e combustão incompleta. A incineração acabou perdendo a preferência tão rapidamente quanto ganhou e, em 1909, somente 70 plantas permaneciam em operação nos EUA (PDH ENGINEER, 2007).

O conceito foi modernizado e hoje a incineração é uma estratégia usual no Japão e em vários países da Europa, pois reduz o volume do lixo em até 90%, sem produzir problemas de odor e lixiviação, além de não causar problemas biológicos. No entanto, alguns problemas ainda permanecem quando comparado com o aterro, pois requer consumo de energia (carvão ou gás liquefeito de petróleo – GLP), deixando grande quantidade de cinzas, onde persiste o conteúdo contaminante. O custo da energia é contrabalançado com as despesas de manuseio do aterro, porém o problema das cinzas ainda não tem solução definitiva, particularmente porque as cinzas devem ser desintoxicadas e descontaminadas, em virtude de conterem concentrações significativas de metais pesados como chumbo, cromo, cobre e zinco, bem como poluentes orgânicos como as dioxinas.

Monni et al. (2006) apresentam em seu estudo que, entre os países da Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), a incineração parece ser atualmente a solução de maior potencial econômico. A máxima porcentagem de lixo usado para energia (85%) é alcançada ao nível de custo de tratamento de 50 USD/t. Em escala global a recuperação do gás de aterro tem o maior potencial econômico, pois se situa numa classe de custo abaixo de US\$ 20/t. O potencial de vários tratamentos biológicos aparece com custo mínimo de US\$ 50/t.

A Tabela 2 sumariza o potencial econômico total para a redução de emissão de CH₄, assumindo um custo marginal de redução de emissão. Para as economias em transição, o estudo aponta que, com um investimento de US\$ 10/t de CO₂ equivalente atualmente emitido, a redução é de 38% das emissões; ao custo de US\$ 20 a redução é de 50% das emissões; ao custo de US\$ 50 a redução de emissão é de 77%, e ao custo total de US\$ 100 chegar-se-ia a uma redução de 88%.

Tabela 2 – Potencial Econômico de Redução Total de Emissão de CH₄ de Aterro

	USD / tCO ₂ equivalente				
	0	10	20	50	100
OECD	48%	86%	89%	94%	95%
Economias em Transição	31%	80%	93%	99%	100%
Não OECD – em desenvolvimento	32%	38%	50%	77%	88%
Global	35%	53%	63%	83%	91%

Fonte: Monni et al., 2006.

Obs. O potencial de redução foi obtido usando valores constantes com alguma superestimação da redução para certos anos, o que no agregado apresenta valores corretos.

Pode-se ver pelos resultados que a recuperação energética em aterro pode ter considerável potencial econômico, se o potencial de uso do lixo para energia for pequeno. Entretanto, pode-se notar que a incineração também está considerada na análise. Quanto mais tecnologias avançadas, como gaseificação ou pirólise tornarem-se comercialmente disponíveis, maior o potencial para o uso do lixo como fonte de energia. No entanto, o resultado apresenta boa indicação sobre o máximo potencial econômico combinado das opções consideradas.

De acordo com Ecke et al. (2000) vários fatores, como transporte, infra-estrutura, sócio-econômicos, qualidade e quantidade do lixo, afetam o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. No Japão, a densidade da população tem uma grande influência no gerenciamento dos resíduos. Na média bruta a densidade populacional do Japão é de 331 habitantes/km², o que em face das regiões montanhosas não-habitáveis (71% do território) resulta em uma densidade real que excede a 1000 habitantes/km². Subsequentemente, a locação de aterros é bastante difícil em comparação a outros países, o que fez o país utilizar a incineração já há algum tempo. Em 1993 as despesas com manuseio e disposição custavam US\$ 384/t em

média. Em 1993, 74% dos resíduos sólidos eram incinerados em 1854 plantas com uma capacidade total de tratamento de 178.106 t/dia, com uma ocupação média de 56,4%.

Muñoz (2002) também demonstra preocupação com os incineradores, apontando que, em Ribeirão Preto (SP), as amostras de solo e vegetais coletadas nas proximidades do incinerador municipal apresentaram níveis significativamente superiores de metais pesados aos níveis coletados no ponto de controle, com terreno e vegetação similares. Mesmo estando abaixo do nível máximo permitido pela legislação sanitária para cromo, chumbo e zinco, a autora demonstra preocupação com a eficiência desse sistema, pois lembra que 10% dos resíduos sólidos são constituídos de metais, que podem acabar por contaminar o ambiente.

Henriques (2004) recomenda nessa solução o uso de resíduos de maior poder calorífico como plásticos e papéis. Algumas das vantagens observadas nesse processo são:

- Uso direto da energia térmica para geração de vapor e/ou energia elétrica;
- Necessidade de alimentação contínua de resíduos;
- Sistema relativamente sem ruídos e odores; e,
- Sistema requer pequena área para instalação.

Entre as desvantagens, denotam-se:

- Inviabilidade com resíduos de baixo poder calorífico e clorados;
- Umidade excessiva e presença de resíduos de baixo poder calorífico prejudicam a combustão;
- Necessidade de utilizar equipamento auxiliar para manter a combustão;
- Metais perigosos podem ficar concentrados nas cinzas;
- Possibilidade de emissão de dioxinas e furanos, carcinogênicos; e,
- Alto custo de investimento, operação e manutenção, em relação aos aterros.

Várias técnicas podem ser usadas para inertizar os rejeitos do processo, como o uso em cimento, tratamento químico úmido, tratamento térmico e a vitrificação, esta última considerada a última bastante efetiva. As cinzas que contém uma grande quantidade de metais pesados podem ser vitrificadas com a adição de 5% em peso de SiO₂. Vidros feitos de cinzas

aditivadas de SiO_2 e MgO_2 são efetivos em confinar metais pesados, apresentando boa dureza, resistência a dobradura, dureza e coeficiente de expansão térmica equivalente aos vidros normais.

Connett (1998) afirma que a incineração, longe de ser uma tecnologia provada universalmente, deixa um legado de níveis inaceitáveis de dioxinas e compostos relacionados aos alimentos, tecidos e à vida silvestre. Alerta ainda quanto ao uso de incineradores nos países em desenvolvimento onde faltam recursos para construir, operar ou monitorar o correto funcionamento. Considera que a tarefa da sociedade não é aperfeiçoar a destruição do lixo, mas encontrar formas de evitar sua produção.

Sakata, Kurata e Tanaka (2000) demonstram a mesma preocupação quanto aos níveis de componentes tóxicos próximos aos incineradores, ao apresentar estudo sobre a concentração de metais na atmosfera urbana do Japão, usando o chumbo como elemento de referência. O experimento ocorreu em Tóquio, no centro de um círculo de 10 km de raio, onde operam continuamente nove incineradores de capacidades variadas de 195 t/d a 900 t/d, perfazendo um total de 4650 t/d de capacidade para processamento. Os resultados apontaram que a incineração é a fonte predominante de chumbo na atmosfera nas regiões urbanas do Japão.

Calderoni (2003) concorda com a questão da toxicidade do processo de incineração, ao afirmar a existência de percalços desagradáveis e nocivas emissões (particulados, dioxinas, furanos, etc.).

Por outro lado há um potencial de geração de energia elétrica que leva em consideração a oferta de material indicado para esse processo, calculada em 13 milhões de toneladas anuais, com poder calorífico do material estimado em 1.500 kcal/kg, em virtude da presença de umidade (NOGUEIRA; WALTER, 1997).

O resultado é uma energia disponível de 22,7 TWh sobre a qual deve ser aplicada a eficiência de conversão deste calor em energia elétrica, considerado como 30%, com o que se obtém o valor de 6,8 TWh/ano. No processo são gerados, basicamente, os seguintes poluentes:

- escória oriunda do forno de incineração composta normalmente de materiais inertes, inorgânicos e metais;

- cinzas geradas nos equipamentos de remoção de particulados as quais contêm material inerte de granulometria pequena, inorgânicos e metais pesados;
- resíduos líquidos ou sólidos, a depender do tipo de processo, provenientes dos equipamentos do tratamento dos gases ácidos e;
- emissões atmosféricas que são constituídas de gases como gás carbônico (CO₂), óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x), oxigênio (O₂), nitrogênio (N₂) e material particulado (MP). Em menor concentrações têm-se o ácido clorídrico (HCl) e o ácido fluorídrico (HF), chamados de gases ácidos, além de os metais pesados e os produtos da combustão incompleta como monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos, dioxinas, furanos, etc. (GRIPPI, 2001).

O Projeto Usina Verde está em funcionamento no Rio de Janeiro desde maio de 2005. O protótipo está transformando 30 toneladas diárias de lixo em 440 kW de energia. Para chegar a este estágio foram necessários seis anos de pesquisa e desenvolvimento em equipamentos e técnicas até chegar à criação do módulo, capaz de transformar 150 toneladas diárias de lixo em 2,6 MW, que está disponível no mercado. A Usina Verde investiu R\$ 19,5 milhões no projeto. É uma empresa brasileira, de capital privado, formada pelo grupo Arbi e quatro gestores privados em 2001, e está Instalada no campus da Ilha do Fundão, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). A instalação de um módulo pode levar dois anos, a um custo de R\$ 23 milhões, ocupando área equivalente a um campo de futebol e o retorno previsto do negócio se dá em seis ou sete anos após o início da produção da energia. As prefeituras podem recorrer a linhas de financiamento a longo prazo para as áreas de saneamento e energia elétrica do BNDES para garantir recursos para o projeto (USINA VERDE, 2005).

Um módulo da Usina Verde, segundo seus idealizadores, deve sair 50% mais barato que similares internacionais, já que não há o pagamento de *royalties* ao exterior porque a tecnologia foi toda desenvolvida no Brasil. As patentes estão em nome da Usina Verde, que trabalhou junto a um fabricante nacional de fornos para desenvolver a caldeira de recuperação de calor. A comercialização da energia, que no exterior é um subproduto de uma usina, no Brasil, será a atividade fim do empreendimento, diante da capacidade limitada das prefeituras de financiar a destinação final do lixo, o que torna a produção de energia um meio de se obter retorno financeiro. Segundo os idealizadores, a vantagem do módulo é a possibilidade de localizá-lo próximo a áreas povoadas, pois os exaustores eliminam os odores exalados pelo

lixo e reduz significativamente a produção de resíduos não processados. Após a aplicação do processo de queima, 100 toneladas de lixo resultam 8 toneladas de material inerte, que pode ser reutilizada como aditivo para pisos e outras utilizações, dependendo da intenção do empreendedor. Na proposta formulada pelos pesquisadores da UFRJ, os rejeitos do processo são tratados e convertidos em rocha, procurando mitigar o dano ambiental preconizado por Calderoni (2003). O Projeto Usina Verde já obteve classificação MDL e certificado de redução de emissões emitido. A Tabela 3 apresenta os resultados para que se possa avaliar a eficiência dessa solução.

Tabela 3 – Dados do Projeto Usina Verde

Cálculo das Emissões Mensais do Projeto	
<i>Emissões de CH₄ e N₂O do Projeto</i>	
Quantidade Mensal de RDF consumida	900 t
Percentual de biomassa no RDF	38,60%
Quantidade de biomassa tratada no projeto / mês	347,76 t
Conteúdo energético da biomassa (TJ/ton)	0,008
Fator de emissão de CH ₄ para combustão (tCH ₄ /TJ)	0,30
GWP para CH ₄ – (tCO ₂ eq/tCH ₄)	21
Fator de emissão de N ₂ O para combustão (t/TJ)	0,004
GWP para N ₂ O – (tCO ₂ eq/tN ₂ O)	296
Emissões de CO ₂ (tCO ₂ /mês)	21,22
<i>Emissões em virtude da Incineração</i>	
Percentual de Plásticos e borracha no RDF (tCH ₂ /t de lixo)	17,6%
Eficiência na combustão	90%
Emissões de CO ₂ (tCO ₂ /mês)	21,22
<i>Emissões em virtude do consumo de GLP</i>	
Quantidade Mensal consumida de GLP (t)	21,60
Coefficiente de emissão do GLP (tCO ₂ /tGLP)	3,02
Emissões de CO ₂ (tCO ₂ /mês)	65,20
Emissões do Projeto (tCO ₂ /mês)	534,50
Cálculo das Emissões de Linha de Base	
<i>Emissões em virtude do Lixo depositado em Aterro</i>	
Fração de metano contida no RDF (tCH ₄ /t de lixo)	4,61%
Emissões de CO ₂ da linha de base (tCO ₂ eq/mês)	872,01
Redução das Emissões Mensais da Usina Verde (tCO₂eq/mês)	337,50

Fonte: Usina Verde, 2005.

3.3.4 Processo Térmico por Plasma

Otani et al. (2007) expõem que o termo plasma é utilizado para designar um meio gasoso formado por cargas elétricas que permitem a condução de energia. Para que ocorra a ionização das moléculas ou átomos presentes em um gás é necessário fornecer energia a esse

meio. Segundo os autores foi observado que este fenômeno ocorre nas estrelas como o sol, causado por energias provenientes de reações químicas e nucleares a alta temperatura. Consideram ainda que a forma mais simples de obter um plasma artificialmente é a utilização de uma câmara contendo o gás a ser ionizado mantido em baixa pressão. A energia elétrica é transferida por meio de dois eletrodos ligados a uma fonte de corrente contínua.

Equipamentos de plasma térmico vêm sendo usados mundialmente desde o século XIX em diferentes aplicações, quais sejam: na indústria química, metalúrgica, no tratamento ambiental do lixo industrial e em projetos experimentais de tratamento do lixo urbano. A tecnologia provê um calor extremamente alto proveniente de um equipamento elétrico denominado tocha de plasma. No começo do século XX aquecedores de plasma foram usados na indústria química para manufaturar combustível de acetileno a partir de gás natural. Protótipos de pequenos aquecedores de plasma foram construídos durante a década de 1970 e plantas industriais de grande porte foram construídas e comissionadas durante a década de 1980.

Cheremisinoff (2005) expõe que os métodos de processamento térmico dos resíduos têm inúmeras desvantagens. Primeiramente a formação e a emissão na atmosfera de uma grande quantidade de substâncias tóxicas: partículas de arrasto com metais pesados, monóxido de carbono, óxidos sulfurados e de nitrogênio, componentes clorídricos, dioxinas e furanos. As cinzas contêm carbono não queimado e substâncias poliaromáticas. As técnicas usuais produzem uma grande quantidade de substâncias tóxicas. A pobreza ecológica das soluções e o seu desempenho econômico levaram os pesquisadores a buscar novos métodos de tratamento. O processo de mineralização a alta temperatura, sob a ação de um plasma isotérmico, obtido pela passagem de um gás através de um arco elétrico, variando de 1700° C a 10.000° C é um desses novos métodos. O tempo necessário para a transformação dos resíduos num processo plasmático-químico é de 0,01 a 0,5 segundos, dependendo da sua natureza e da temperatura do processo.

Tendler, Rutberg e Van Oost (2005) expõem que a força diretiva atrás da tarefa ambiental é obter qualidade a custo acessível, sendo o plasma a única tecnologia que previne a poluição indesejável e fornece produto como o gás de síntese. O problema se desdobra, portanto, em recuperar energia do lixo e fontes renováveis sem poluição e a custos acessíveis. O custo da energia gasta pela tocha ainda é um problema, mas tem sido equacionado com a melhoria de

desempenho. Um cenário otimista apontaria que esse sistema poderia fornecer de 10 a 15% da energia necessária para abastecer a União Européia, ressaltando a busca pela eficiência.

O tema da tecnologia de plasma, embora inovador, não é recente no Brasil. No Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) os estudos se iniciaram, em 1991, a partir de uma avaliação estratégica que possibilitou investimentos nos laboratórios que podem ser agora utilizados para esta pesquisa (YU; ABREU; CAMPANÁRIO, 1991).

Segundo Cruz (2006), o IPT dispõe de uma unidade experimental de processamento de resíduo a base de plasma térmico com capacidade de tratamento de até 100 kg/h de resíduos de materiais sólidos e secos do tipo RDF, com o objetivo de estudar os processos de gaseificação de resíduos, visando a sua conversão em energia elétrica.

O material objeto desse processamento pode ser tanto um produto uniforme simplesmente picado quanto um produto densificado na forma de briquetes, constituído predominantemente de plásticos e borrachas, madeira, papel e tecido, na forma de RDF.

O projeto do IPT parte da experiência do IPT e do ITA na área de plasma térmico, e conta com a experiência da empresa Multivácuo no projeto de construção e comercialização de tecnologias de vácuo e tecnologias assistidas por plasma, aplicadas em biotecnologia e na área do gás e energia (MULTIVÁCUO, 2006). Um reator plasma já existente foi redesenhado a partir de um forno já utilizado em pesquisa anterior de tratamento de resíduos da indústria de galvanoplastia (lodo galvânico), e nele são empregadas tochas de plasma do tipo arco transferido e não transferido.

Na indústria do alumínio, do papel e do plástico, os processos tradicionais de reciclagem não vêm sendo satisfatórios, pois se baseiam na incineração ou combustão, com alto consumo de oxigênio, produzindo gases e cinzas nocivos ao meio ambiente. Processos alternativos, como os baseados em equipamentos de tocha de plasma, utilizam o processamento térmico numa câmara com gases não reagentes, como o argônio, possibilitando uma melhor recuperação da matéria-prima. Já existe, no município de Piracicaba (SP), uma usina em produção para separação do alumínio, do papel e do plástico, com alto grau de reaproveitamento da matéria-prima e baixo impacto ambiental, pertencente à empresa Tetrapak.

A empresa Ecochamas iniciou, em junho de 2006, a operação comercial do primeiro forno de plasma do Brasil para o tratamento de resíduos industriais poluidores. Instalado em um condomínio industrial em Resende (RJ), com investimentos privados da ordem de US\$ 3 milhões, pretende tratar cerca de 400 toneladas de lixo industrial por mês, transformando os resíduos em pedras que substituem a brita na área de construção civil e ligas metálicas utilizáveis na indústria siderúrgica (ECOCHAMAS, 2007).

Os resíduos de pedras e liga metálica, formados no processo de aquecimento do forno, são destinados a empresas siderúrgicas e da área de construção civil que produzem asfalto. A escolha de Resende foi justificada pela posição estratégica da cidade às margens da rodovia Presidente Dutra, eixo entre Rio e São Paulo, pelo fato de o município possuir histórico empresarial, com uma legislação voltada para a facilidade de instalação de indústrias.

Circeo, Martin e Smith (2005) projetam que, em 2020, o processamento de resíduos por plasma térmico gerará energia suficiente para abastecer 5% da eletricidade consumida no mercado americano, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Fontes de Energia Renovável em 2020 nos EUA - Previsão

Tecnologia	Unidade (10¹⁵ BTU)
Plasma Processed MSW (1)	0.90
Geotérmica (2)	0.47
Gás de aterro (2)	0.12
Solar (2)	0.09
Eólica (2)	0.04

(1) Assumindo 1 milhão TPD processada.

(2) Extrapolado de estatísticas de 1999

Fonte: Circeo, Martin e Smith, 2005.

Esses autores apresentam uma comparação de custos para processamento de resíduos por incineração e plasma considerando-se a recuperação energética, conforme Figura 4. A curva ainda mostra que hoje os sistemas a plasma com recuperação energética já seriam mais vantajosos que os sistemas tradicionais de incineração, considerando apenas a variável custo, para o mercado americano. A diferença se abre significativamente para maiores capacidades de processamento, acima de 2.000 t/d.

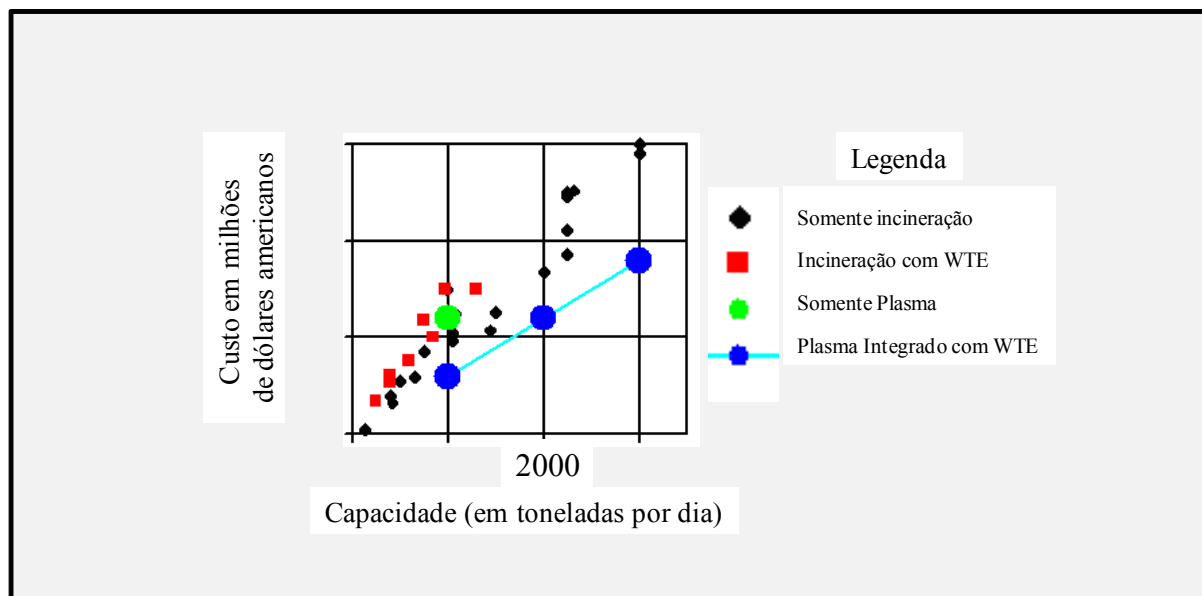


Figura 4 – Comparação de Custos entre Sistemas de Incineração e Plasma

Fonte: Circeo, Martin e Smith, 2005.

Cheremisinoff (2005, p.171) afirma que a tecnologia de plasma parece ser economicamente mais atrativa, em comparação com outros métodos, para o tratamento de uma vasta faixa de resíduos. O uso da tecnologia de plasma permite a realização de mais de um propósito e o processo pode alcançar os seguintes resultados:

- Na geração do gás de síntese, tem muito mais conversão de carbono em CO e CO₂ (permitido pela alta temperatura do processo), e conseqüentemente maior efetividade na produção de gás de síntese de matéria básica;
- Maior velocidade do processo químico no reator por razão da atividade química, da alta temperatura do plasma e da alta densidade de energia;
- A possibilidade de um decréscimo de substâncias tóxicas por razão da singularidade do procedimento físico-químico, e de maior possibilidade de controle do processo.

Como um processo físico-químico requer a entrada de uma quantidade significativa de energia em alta densidade no reator, a realização deste processo se tornou possível pela criação de geradores baratos e confiáveis de plasma denso, com a unidade necessária para o processo tecnológico. Continuando o autor apresenta expectativas de custos para o mercado europeu, em que a solução de plasma com geração de gás de síntese já aparece como a mais econômica, em relação a outras tecnologias usuais de tratamento de resíduos, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Índices Econômicos de Vários Métodos de Tratamento de Resíduos

Método de Tratamento	Custo do tratamento (Euro/t.)	
	Mínimo	Máximo
Disposição em áreas de disposição (aterros)	105	160
Combustão tradicional	100	140
Pirólise, termólise	90	150
Método de plasma sem produção de gás de síntese	100	120
Método de plasma com produção de gás de síntese	70	80

Fonte: Rutberg (2003) apud Cheremisinoff, 2005, p. 172.

Dayal et al. (2004) apresentaram um estudo sobre a destruição de lixo químico, usando o reator a plasma, baseado na tecnologia PLASCON (PLASma-CONversion), que é usado comercialmente para destruir herbicidas, CFC e PCB. O resíduo químico foi injetado num reator a arco de plasma por corrente contínua, adicionado de gás argônio, com objeto de encontrar o melhor formato de reator para máxima DRE (*destruction and removal efficiency*). O estudo encontrou um ponto ótimo de funcionamento num reator entre 150 mm de diâmetro x 0,9 m de altura e 200 mm de diâmetro x 0,75 m de altura, com vazão de 42 kg/h e consumo de 150 kW, apresentando um gás de saída a 2000° C. Os volumes trabalhados podem ser úteis para resíduos industriais, mas são de pequena monta para uso em resíduo sólido municipal.

Aquecedores a base de arco de plasma receberam renovada atenção quando a Agência Espacial Norte Americana (NASA), no início dos anos 1960, avaliou e selecionou essa tecnologia para simular e recriar as condições de altas temperaturas que os veículos espaciais encontram ao adentrar na atmosfera terrestre. Processos térmicos baseados na tecnologia de plasma têm sido usados com sucesso em várias partes do mundo nas seguintes aplicações:

- Tratamento de Resíduo Sólido Urbano (*Municipal Solid Waste* - MSW);
- Descarte de pneus de automóveis;
- Processamento e eliminação de resíduos de carvão;
- Eliminação de lodo contaminado e de porto;
- Eliminação de cinzas perigosas / nocivas;
- Eliminação de limalhas de aço;
- Eliminação de lixo patológico e hospitalar;
- Pirólise de óleo PCB (contaminante);
- Lixo contendo ferrocromado;
- Lixo de Cimento Portland;
- Redução de ferro manganês;
- Limalhas derretidas de titânio;
- Fibras e material contendo amianto;
- Revestimento de nióbio;
- Eliminação de lixo de vidro e de lixo cerâmico;
- Gás natural para produção de acetileno;
- Eliminação de solventes e de tintas;
- Eliminação de lixo contendo baixa radiação;
- Eliminação de material contaminado de aterro sanitário;
- Eliminação de lixo misto (combinação de diferentes fontes com lixo urbano, cinza, carvão, pneus, etc.);
- Tratamento de solos contaminados.

As empresas a seguir já usam a tecnologia com sucesso:

- Kawasaki Steel Company – descarte de cinza tóxica;
- IHI (Japan) MSW – descarte de cinzas;
- Inertam - Bordeaux/EDF – descarte de materiais contendo amianto;
- Ravenswood - ALCOA – descarte e recuperação de resíduos de alumínio
- Love Canal, Niagara Falls – descarte de lama tóxica;
- Westinghouse Hanford – vitrificação de resíduos de baixa radiação;
- Westinghouse/PSI – descarte de aterro sanitário contaminado;
- ALCAN (Canadá) – recuperação de alumínio;
- British Nuclear Fuels (at Ukiyah) Plasma – destruição de lixo radioativo;
- New York City Harbor New York – descarte de lama do porto;

- Canadian Environment Agency (Raleigh) – descarte de lixo municipal, em demonstração.

Ecke et al. (2000) afirmam que os processos de tratamento de resíduos por incineração no Japão resultam na combustão de 65,8% de volume do material incinerado, 30,5% em cinzas que requerem tratamento posterior e 3,2% transformam-se em gases, necessitando controle de poluição. Tipicamente o Japão adota a tecnologia de plasma para processar essas cinzas e vitrificá-las para inertização, uma vez que essas cinzas têm alto percentual de metais pesados.

A Tabela 6 apresenta dados de plantas de tratamento térmico de RSU no Japão. Além dos fabricantes Kubota, Daido e Kawasaki citados, também atuam nessa área Hitachi, Sumitomo, Nippon Steel, entre outras grandes companhias japonesas.

Tabela 6 – Plantas de Tratamento Térmico de Resíduos no Japão

Sistema	Tipo de forno	Fornecedores	Quantidade (1)	Capacidade t/dia	Energia Consumida kWh/t	Custo operacional por tonelada
Decomposição elétrica	Arco elétrico	Daido Steel	0+4+2	655	675	Não informado
Tocha de plasma	Arco de plasma	Kawasaki Heavy Ind.	1+0+1	54	1250	19-24 mil yens (2)
Incinerador	Superfície Rotativa	Kubota	3+5+0	84	3900 +/-900	10-20 mil yens

(1) Plantas: desativadas + em operação + planejadas.

(2) Cotação 100 yens = US\$ 0,83.

Fonte: Ecke et al., 2000.

Hetland e Lynun (2001) afirmam que o lixo pode ser encarado como uma fonte de valor, em vez de problema, pois, a partir de uma imagem negativa da incineração, abrem-se possibilidades de uso de novas tecnologias. Enquanto que a incineração almeja a completa redução dos hidrocarbonos para basicamente CO₂ e água, sem valor calorífico, a gaseificação almeja a *break-down* parcial das moléculas orgânicas, gerando o gás de síntese. Embora o valor calorífico desse gás seja baixo, é combustível e pode, em princípio, ser usado como combustível. Em contraste com a incineração que tem o calor como único produto, os processos de gaseificação oferecem melhores possibilidades de recuperação de valor. O

mercado para tecnologias que empregam gaseificação cresceu de três novas plantas por ano, no início dos anos 1990, para cerca de 10 plantas por ano, no fim dos anos 1990, com prognósticos de mais de 200 plantas a serem construídas nos próximos dez anos.

A empresa Inaccess, sediada em Curitiba (PR), representa no Brasil uma solução de uso da tocha de plasma para tratamento integral do lixo sem etapas detalhadas de separação e geração do RDF (LASTROCOM, 2006). A solução foi desenvolvida pela empresa americana Startech Environmental que já tem uma planta operacional de processamento de 10 t/dia, na Austrália, implantada por sua representante local, a PlasTech Solutions. O processo de gaseificação a plasma converte todos os tipos de lixo em um gás combustível composto primariamente de monóxido de carbono, hidrogênio, nitrogênio e água. Este combustível é então utilizado para gerar energia elétrica. Segundo a empresa, o processo é altamente eficiente, pois 99,9% do material alimentado no sistema são transformados em energia e em outros produtos vendáveis. O gás combustível resultante é rico em energia com um valor em BTU de cerca de 1/3 do gás natural. Essa solução é composta de equipamentos de fornecedores internacionais como Westinghouse Plasma Corporation (tocha de plasma); GE Power Systems (aproveitamento elétrico); Turbosonic (controle de poluição atmosférica); Power Engineers (consultoria).

A sua proposição consiste de:

- Pré-separar as peças muito grandes e lixo hospitalar;
- Temperatura da chama de 2.760 a 4.426 °C;
- Transformar o material orgânico basicamente em CO, H₂ e N₂;
- Resfriar os gases – vapor de alta pressão para alimentar a turbina;
- Separar metais e material vitrificado após a imersão em tanque de água/processo magnético;
- Separar 85% das partículas em um ciclone junto com metal e adicionar à massa vítrea, para evitar dispersão de poluentes;
- Poder vender o HCl formado pelos cloretos presentes no gás;
- Poder remover ou transformar o enxofre presente no gás em bissulfeto;
- Mandar o gás combustível para a turbina a gás para gerar eletricidade. Vapores de baixa pressão podem ser condensados para gerar água destilada.

O principal produto do processo é a energia elétrica, sendo subprodutos o coque vitrificado; metais fundidos; enxofre (grade fertilizante); ácido clorídrico (baixa concentração); água destilada; e, eventualmente, álcool. A empresa destaca as principais vantagens de seu processo, além do tratamento de todo tipo de lixo, a saber:

- Elimina os custos e riscos associados aos aterros e lixões;
- Auto-sustentação energética, excedente de energia da ordem de 85%;
- Elimina os riscos de contaminação do lençol freático;
- Emissões de partículas no ar abaixo dos padrões do Instituto Ambiental do Paraná (IAP), estado onde a empresa está sediada;
- Recuperação de energia elétrica pela gaseificação;
- Gera produtos de valor comercial – rocha vítrea, metais e gases;
- Contribui para a diversificação da matriz energética.

3.4 Tendências Tecnológicas

Thorneloe et al. (2002) apontam que os avanços tecnológicos, a regulamentação ambiental e a ênfase na conservação de recursos reduziram fortemente os impactos ambientais do gerenciamento de resíduos urbanos, incluindo as emissões de GEE. Estimam que as emissões nos EUA poderiam ter atingido, no ano de 1997, aproximadamente 52 milhões de toneladas de carbono-equivalente, se tivessem sido mantidas as velhas estratégias e tecnologias. No entanto, o gerenciamento integrado, composto pela reciclagem, compostagem, geração de energia, e coleta de gás em aterro exerceram um importante papel nas reduções de emissões, pela recuperação dos materiais e da energia anteriormente desperdiçada.

Entre as tecnologias que mais contribuíram para a redução de carbono-equivalente emitido estão os processos de reciclagem e compostagem com 3,2 milhões de toneladas; a combustão de lixo com 5,5 milhões de toneladas; e como fator principal as novas formas de aterro e coleta de gases que evitaram a emissão de 44 milhões de toneladas. Diante dessas questões de contorno, detalham-se a seguir aspectos relevantes ao gerenciamento de resíduos.

3.4.1 Tratamento de resíduos urbanos nas megalópoles

Em 2004, o New York City Economic Development Corporation e o New York City Department of Sanitation (2004) apresentaram uma avaliação das tecnologias emergentes para reciclagem e tratamento de resíduos sólidos urbanos, visando o planejamento do setor. Foram analisadas 44 soluções obtidas por meio de dados pré-cadastrados ou de um questionário tipo “request for information - RFI”, que foi encaminhado a diferentes empresas. A classificação das 44 soluções obtidas revelou 23 soluções térmicas; 8 soluções de digestão anaeróbia; 2 soluções de digestão aeróbia; 3 soluções de hidrólise; 1 de processamento químico; 2 de processamentos mecânicos, além de 5 outras soluções sem uma classificação clara. A avaliação foi efetuada em três etapas. A primeira procurou responder a duas questões:

- a) A tecnologia proposta atende ao requisito de ser “nova e emergente”?;
- b) O patrocinador da solução ofereceu suficientes informações para a análise?

Respondidas as questões resultaram 33 tecnologias. Na segunda etapa foram avaliados os requisitos a seguir:

- a) prontidão para uso comercial em 10 anos;
- b) tamanho e capacidade da planta (processar ao menos 50 mil t/ano);
- c) confiabilidade (deve haver uma planta piloto ou em operação comercial);
- d) deve atender aos requisitos ambientais do município de Nova Iorque;
- e) deve produzir benefícios no lixo, como energia ou outros produtos comerciais; e
- f) o resíduo final deve ter no máximo, 35% do volume inicial processado, em peso.

Na terceira etapa foi feita uma avaliação detalhada de cada solução, incluindo a adequação aos processos já existentes, investimento inicial, custo de operação e manutenção, exigência de insumos e combustíveis, venda de subprodutos, aceitação pelo público, perfil de risco, impactos ambientais como nível de emissão de gases poluentes, ruído, malcheiro, etc. Dessa etapa resultaram 14 tecnologias, sendo 8 térmicas, 4 anaeróbias, 1 aeróbia, e 1 por hidrólise.

Como os créditos de carbono são relevantes para a pesquisa desta tese, efetuou-se um filtro complementar para apresentar somente as soluções que possibilitam a obtenção de créditos de carbono, mesmo sem ter uma quantificação clara. Sumarizadas todas as informações uma

tecnologia de compostagem e cinco tecnologias térmicas obedeciam todos os critérios que se pretende analisar nesta pesquisa.

Os resultados são mostrados na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 – Tecnologias Inovadoras para Tratamento de RSU

Proponente	Tecnologia	Capacidade (t/dia)	Custo Inicial (US\$/t/d)	Custo de Operação e Manutenção (mil US\$/ ano)	Custo Total (US\$/ ton.)	Eletricidade exportada (kwh/t)	Outros produtos
Canadá Composting	Compostagem	274	118.100	5,5	55	100	Recicláveis
Dynecology	Gaseificação por queima de briquetes de RDF	5000	207.000	134	73	2607	Enxofre, amônia
Interstate Waste Technologies	Gaseificação a 1200° C	3051	149.800	55,3	50	560	Agregados e outros
Pan American Resources	Destilação destrutiva da matéria orgânica pós-separação	1000	100.000	n/a	<20	314	Recicláveis
Rigel Resources Recovery	Plasma Térmico da Westinghouse	3350	283.800	58,5	160	900	Metais, resíduo vitrificado
Taylor Recycling Facility	Gaseificação de biomassa pós-separação.	300	77.700	2	18	358	Recicláveis e cinzas

Fonte: New York, 2004.

3.4.2 Tratamento de lodo de esgoto

Já se pode detectar uma tendência em se constituir centros de tratamentos de resíduos unificados, tanto para o resíduo sólido quanto para o lodo de esgoto, ou mesmo o lodo resultante do desassoreamento de portos. Afinal, no Brasil, já se realiza essa convergência, pois existe uma prática de dispor o lodo de esgoto nos aterros sanitários, após tratamentos de desaguamento, vindo a se constituir em um resíduo único ao final do processo.

Herrbach e Bacon (2005) relatam sobre um método inovador que usa uma “pluma”, gerada por uma tocha de plasma, para catalisar a oxidação de lodo úmido a temperaturas relativamente baixas (quando comparado com outros processos baseados em equipamentos de plasma). A energia produzida pode ser até dez vezes a energia consumida pelo plasma para a catálise, portanto é um processo potencialmente gerador de energia elétrica, vapor e água quente. A tecnologia denominada Plasma Assisted Sludge Oxidation (PASO), é canadense e patenteada pela Hydro Quebec, licenciada para a Fabgroups Technologies, baseada num forno rotativo trabalhando a temperatura de 600° C – 700° C. A abrangência da patente inclui o Brasil. O arco de plasma é usado para sustentar o processo de oxidação pela geração de radiação ultravioleta e radicais iônicos, os quais catalisam em diferentes graus a oxidação e reações de craqueamento. O sistema PASO pode ser utilizado para oxidação de lodos municipais, agrícolas e industriais.

Os autores do estudo consideram seus custos operacionais menores do que o dos outros processos de disposição de lodo. Há necessidade de um pós-tratamento de gases por um sistema proprietário de remoção de partículas, limpeza e interação gás/vapor. Quando o gás é finalmente exalado para a atmosfera, quase não há partículas e os gases poluentes foram adsorvidos na água para futuro tratamento, e o gás para uso combustível resfriado a 80° C. O sistema não elimina totalmente o resíduo (reduz na relação 20:1), obrigando ao tratamento e disposição de cinzas remanescentes que possuem as seguintes aplicações: a) material geotécnico de construção para barragens, represas, cobertura de aterros; b) agregado em cimento; c) fertilizante na agricultura; e d) corretor para acidez do solo.

McLaughlin et al. (2005) relatam a montagem de uma planta piloto para demonstração do processo de tratamento do lodo dragado dos portos de Nova York e Nova Jersey, contando com tecnologia da Westinghouse. O processo prevê uma destruição do material microbiológico e tóxico-orgânico (com eficiência de 99,9999%), além do tratamento de sedimentos minerais não tóxicos. O projeto foi patrocinado pela Environmental Protection Agency (EPA) dos Estados Unidos da América, e administrado pelo Brookhaven National Laboratory (BNL). É baseado na tocha de plasma da Westinghouse (atualmente sob controle da Hitachi) onde o ar que passa por eletrodos é superaquecido a 5000° C. Os autores afirmam que o sistema pode tratar qualquer tipo de resíduo aquoso, porém dados apresentados referem-se aos interesses do contratante da pesquisa, ou seja, o lodo do porto.

Bulgaranova (2003) relata uma experiência desenvolvida pela Universidade de Tecnologia Química e Metalúrgica de Sofia, Bulgária, para Sofia Waste Water Treatment Plant (WWTP), que usa tocha de plasma a 2600° C, usando gás de vapor, e realimentando a tocha. Resulta em gás de síntese de alto poder calorífico (monóxido de carbono – 48% do volume e hidrogênio – 46% do volume). O sistema libera gás de síntese de alto valor comercial para geração de energia, pelo seu poder calorífico.

3.5 Tendências no Tratamento de Resíduos

Uma das formas de recuperação de recursos é encontrada nas plantas tipo *waste-to-energy* (WTE), que queimam resíduos para produção de eletricidade, permitindo que a energia do resíduo sólido seja recuperada na forma de energia elétrica. Um *pound* (453,59 g) de resíduo pode manter acesa uma lâmpada incandescente de 60 W por 5 horas, ou uma lâmpada de baixo consumo por 24 horas. As plantas do tipo WTE são caracterizadas por uma combustão altamente controlada suportada por um extensivo controle da poluição do ar e um sistema de gerenciamento das cinzas resultantes. Num processo típico, primeiro o resíduo é separado para remoção do material não combustível.

A partir disso, entra na área de combustão, em que é queimado a uma temperatura de cerca de 1.800° F (980° C). Os gases aquecidos da combustão são usados para gerar vapor, que, por sua vez, é usado para gerar eletricidade. Os gases então passam por um processo de lavagem, o qual os refrigera, de neutralização a quaisquer ácidos, e de remoção de partículas. Nos EUA existiam em 2003, 89 plantas WTE operando em 27 estados, processando cerca de 95 mil t/dia de resíduo sólido produzido por 41 milhões de pessoas. Essas plantas geram cerca de 2.500 MW de eletricidade para atender a cerca de 2 milhões de residências.

Gaseificação e pirólise são duas tecnologias emergentes. Na gaseificação, o processo termo-químico aquece a biomassa em uma atmosfera deficiente de oxigênio, para produzir um gás de baixa energia que contém hidrogênio, monóxido de carbono e metano. O gás pode então ser usado como combustível numa turbina ou num motor a combustão para gerar eletricidade. A pirólise é similar, mas a biomassa é aquecida na ausência de oxigênio. Gás, olefina líquida e carvão são produzidos em várias quantidades. O gás e o óleo podem ser processados, armazenados e transportados, se necessário, e então queimados num motor, numa turbina de

gás, ou *boiler*. O carvão pode ser recuperado e usado como combustível, ou gaseificado para uso futuro (PDH ENGINEER, 2007).

Skovgaard, Villanueva e Vrgoc (2006) apresentam os esforços de quinze países que inicialmente constituíram a União Européia, para reduzir os aterros e incrementar a recuperação do metano. Estimam que a emissão líquida do metano atingiu o seu pico nos anos 1990, começando a declinar a partir do ano 2000. Mesmo com a geração de mais resíduos, a parcela destinada aos aterros deve cair, reduzindo também o montante de metano emitido.

A Figura 5 apresenta uma linha de tempo das principais tecnologias de tratamento de resíduos urbanos em larga escala.

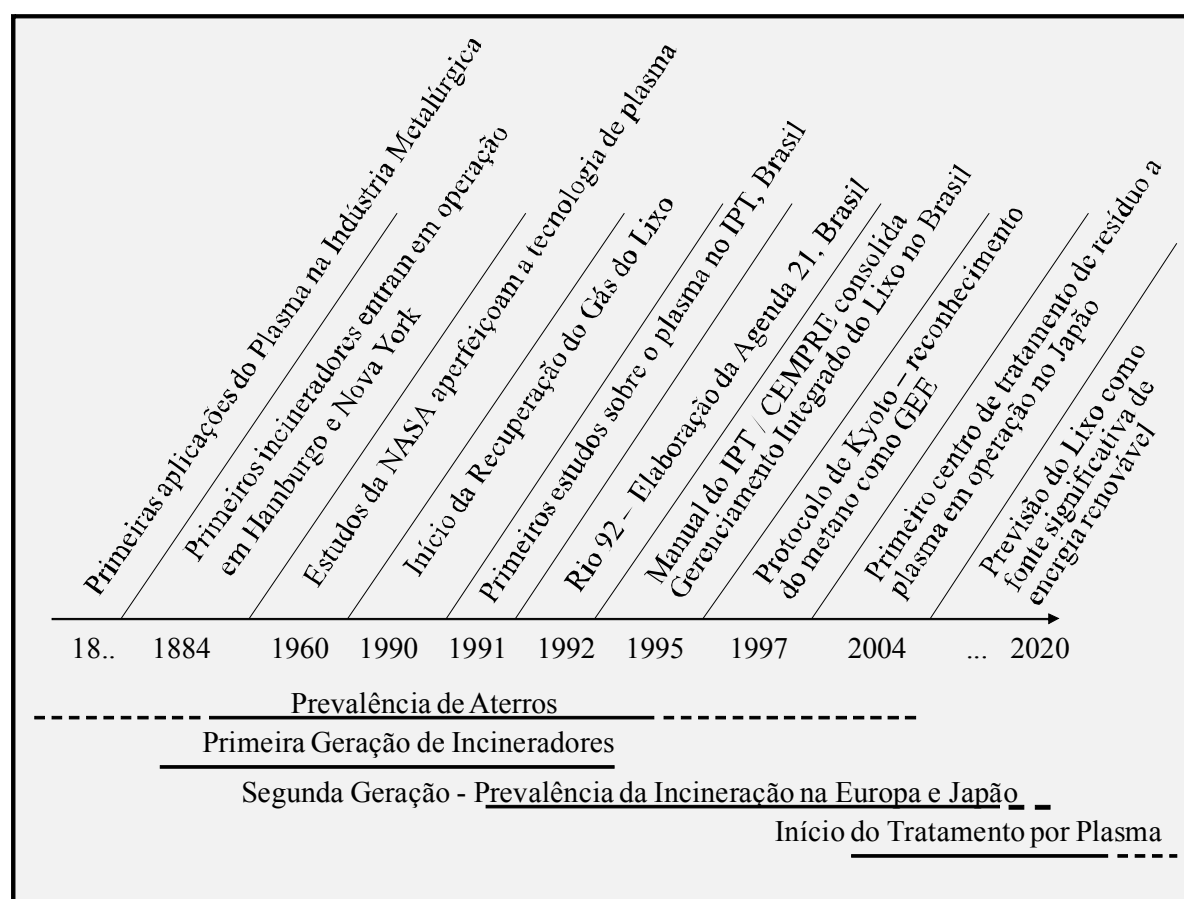


Figura 5 – Linha do Tempo do Tratamento de Resíduos Municipais

Obs. Consolidado de fontes diversas.

Themelis e Millrath (2004), ao analisar os prós e contras do lixo como fonte de energia, concluíram que, embora a redução do volume de lixo e a reciclagem sejam opções mais desejáveis, a geração de energia do lixo (*waste-to-energy* - WTE) não compete com elas, mas

sim com os aterros, que são atualmente ambientalmente pressionados. Afirmam que as plantas de WTE não reduzem os esforços de reciclagem, embora boa parte do lixo incinerado pudesse ser reciclada (cerca de 64%), mas que esse material incinerado para produzir energia teria o destino do aterro e seria igualmente inaproveitado. Afirmam ainda que especialmente nos EUA essa técnica avançou muito com a redução de emissão em vista da regulação da EPA, levando a WTE a ser considerada uma das fontes mais limpas de energia renovável, que evita o uso de combustíveis fósseis e aterros, opções menos desejáveis de tratamento de RSU.

3.6 Conceitos Ambientais aplicados aos Produtos e seus Descartes

Callan e Thomas (2004) apresentam um modelo dinâmico que mostra as relações entre a atividade econômica e a natureza, conforme apresentado na Figura 6. Os recursos fluem da natureza para o sistema econômico, e os resíduos da atividade econômica representam o fluxo de retorno de volta à natureza. Os autores sugerem que a sociedade deve reconciliar o crescimento econômico com a qualidade ambiental, premissa básica para o desenvolvimento sustentável.

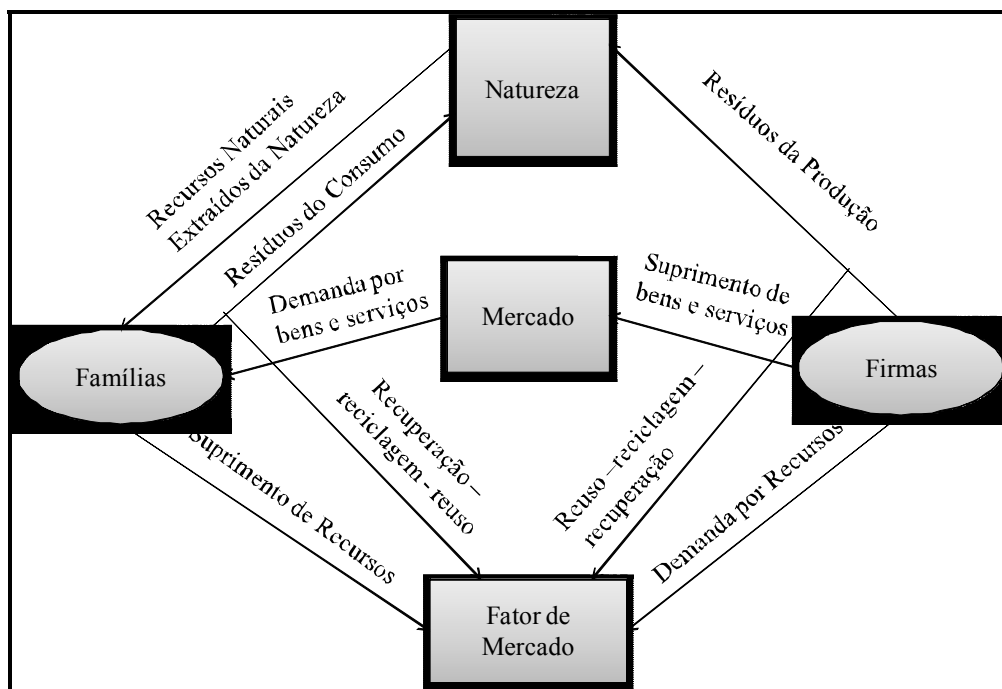


Figura 6 – Ciclo dos Materiais, Consumo e Resíduos

Fonte: Callan e Thomas, 2004 (Adaptado de Kneese, Ayres e D'Arge, 1970).

Apresentam-se a seguir dois conceitos derivados dessa premissa que ajudam a sustentar conceitualmente a tese, a teoria de ciclo de vida do produto e o conceito de eco-eficiência.

3.6.1 Análise do ciclo de vida

A abordagem conceitual de sustentabilidade para tratamento dos RSU se desenvolve nesta pesquisa a partir da análise do ciclo de vida (ACV) ou *Life Cycle Analysis* (LCA). O método consiste no inventário quantitativo e qualitativo dos insumos consumidos, dos resíduos e demais poluentes liberados no ambiente, durante todo o ciclo de vida do produto ou serviço, incluindo as fases de uso, demolição e destinação dos resíduos. (HEIJUNGS et al., 1992).

Heijungs et al. (1992), Graedel (1998), Chang e Bindiganaville (2005) concordam em seus conceitos sobre LCA como uma abordagem sistêmica para determinar o impacto ambiental de processos e produtos. A força do conceito de LCA está na inclusão dos impactos ambientais resultantes da produção de materiais básicos até o último descarte do produto ou processo analisado. Essa pesquisa limita-se na análise do inventário, isto é, a determinação e o cálculo das intervenções ambientais que, por sua vez, dentro da metodologia de LCA, significa as trocas entre a antroposfera (“a economia”) e o meio ambiente, incluindo o uso de recursos, a emissão para o ar, a água e o solo.

A LCA compreende quatro estágios principais: a) definição de objetivos, propósito, escopo e fronteiras do estudo com as necessárias suposições; b) inventário detalhado de todas as entradas e saídas do ambiente, incluindo matéria-prima e energia consumida, emissões para o ar e água e resíduo sólido produzido; c) auditoria do impacto ambiental desde o inventário até o desempenho ambiental do produto; e d) auditoria de avaliação atendo-se a comparar e classificar os impactos das diferentes categorias, para simplificar o acesso a uma base comum.

A LCA, de maneira abrangente, é uma técnica para avaliar os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares, que entram no sistema produtivo, à disposição final do produto. Essa ferramenta permite ainda estabelecer uma base de informações sobre as necessidades totais de recursos, de consumo de energia e emissões; identificar aspectos em algum processo ou produto em que sejam possíveis reduções das necessidades de recursos e emissões; além de auxiliar no desenvolvimento de novos produtos, processos ou atividades que reduzam efetivamente as necessidades de recursos e/ou emissões. Também pode ser considerada uma ferramenta para os fabricantes refletirem sobre os impactos no ambiente acarretados por seus produtos. Para quantificá-los, a empresa deve analisar todo o ciclo de

vida do produto — desde a forma como obtém a matéria-prima para sua fabricação até o descarte ou a reciclagem depois do consumo. Entram na LCA informações sobre o gasto de energia ou água; sobre a emissão de gases do efeito estufa, do transporte da matéria-prima até a fábrica e do produto até os centros de distribuição ou exportação; sobre o tempo de degradação dos materiais que formam aquele produto; sobre como e quanto custa a reciclagem dos materiais, entre inúmeros outros dados. Consiste, portanto, num inventário quantitativo e qualitativo de todos os insumos consumidos e dos resíduos sólidos e demais poluentes liberados no ambiente, durante todo o ciclo de vida do produto ou serviço, incluindo as fases de uso, demolição e destinação dos resíduos.

3.6.2 Conceito de eco-eficiência

Huppés e Ishikawa (2005) apresentam um modelo para analisar a quantificação do conceito de eco-eficiência, ressaltando que essa teoria é muito diversa ou muito “rica”, ao olhar pelo seu lado positivo. Expõem que esse conceito é atualmente necessário para reunir a tendência de crescimento global da população, atendo-se também à razoável qualidade ambiental. Os autores conceituam quatro tipos principais de eco-eficiência, as duas primeiras são relativas à produtividade ambiental e ao seu inverso, a intensidade de produção ambiental, ambas no domínio da produção. O segundo par é relativo ao custo da melhoria ambiental e ao seu inverso, a efetividade dos custos ambientais, ambas definidas do ponto de vista, ou do domínio, da medição de melhorias ambientais. Resumem que a questão principal é a relação entre esses dois domínios, cada qual com uma série de implicações. Para isso trabalham o critério de avaliação dinâmica que, ao se optar por uma tecnologia, hoje tem-se que pensar no seu valor futuro, o que, do ponto de vista ambiental, ainda não está presente nos atuais métodos tradicionais de *trade-off* de avaliação econômica. Deve-se, portanto, na análise de decisão sobre tecnologias incluir uma pontuação ambiental ao lado das tradicionais pontuações econômicas, buscando uma pontuação combinada.

3.7 Influência da Tarifa de Coleta na Geração do Resíduo

Callan e Thomas (2004) estudaram o efeito da política de cobrança de tarifas pela disposição dos resíduos, por parte da administração pública, e apontam que a questão dos serviços de disposição de lixo pode ser vista como uma questão típica de mercado.

A Figura 7 apresenta uma demanda hipotética (curva MPB – benefício marginal privado) e um suprimento (curva MPC – custo marginal privado) que determinam o preço de equilíbrio dos serviços de RSU (P_c) em uma quantidade de equilíbrio (Q_c).

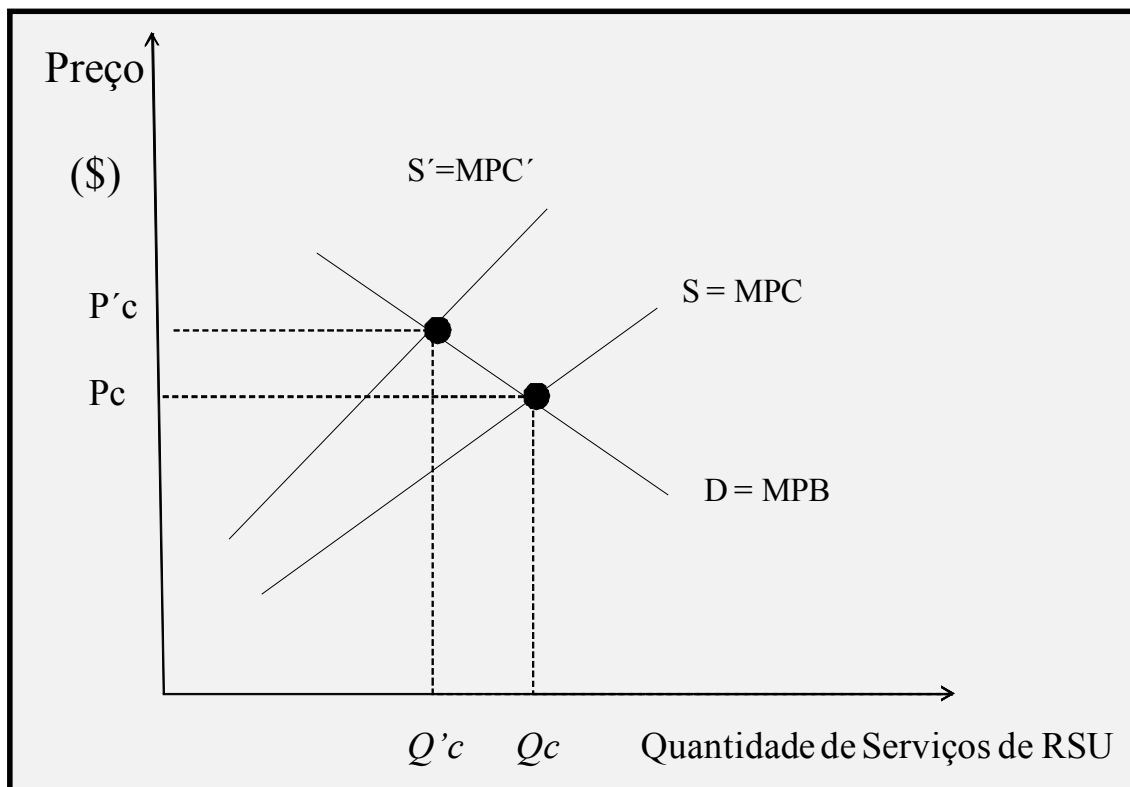


Figura 7 – Influência do Valor da Tarifa no Volume de Resíduo Gerado

Fonte: Callan e Thomas, 2004.

Segundo esses autores, após a decisão sobre o aperto no controle da disposição em aterros do Congresso norte-americano em 1994, a curva MPC se elevou para MPC' , elevando o preço de equilíbrio para P_c' e causando um declínio na quantidade Q_c' . O decréscimo da quantidade de serviços de RSU pode significar que os geradores passaram a usar uma estratégia de redução na fonte. Pode também significar que a taxa de geração é a mesma, mas os geradores passaram a reciclar mais seus resíduos. Finalmente, eles podem ter mantido a mesma taxa de geração e a mesma taxa de reciclagem, mas se engajado numa disposição ilegal de alguns de seus resíduos.

4 ABORDAGEM SISTÊMICA E TEORIA DA DECISÃO

A necessidade de preservar os bens naturais, que hoje permeia a questão do tratamento dos resíduos sólidos urbanos, configura um problema de decisão pública complexo em que se sobrepõem recursos finitos e objetivos múltiplos cuja relação nem sempre é fácil de quantificar. Esse é um típico processo de decisão de natureza interdisciplinar, que envolve uma abordagem sistêmica.

A dificuldade de atender simultaneamente aos vários interesses, alguns explícitos, como o dos empresários, e outros mais difusos, como o dos ambientalistas, em que as visões são variadas e nem sempre há consenso, deixa a decisão mais problemática. O impacto ambiental da intervenção humana e a sua percepção pública configuram um quadro de conflito entre interesses públicos e privados que pode tornar complexo o problema de decisão.

É condicionante neste processo a fraca acessibilidade ao conhecimento dos administradores públicos, pela natureza atomizada desse conhecimento, de caráter multidisciplinar e de extensa documentação. Por isso nesta tese aplicam-se inicialmente os conceitos de *system analysis*, que levanta os principais fatores condicionantes do problema.

Estes fatores são estruturados sistemicamente, reconhecem-se as variáveis embutidas no processo de escolha que são então parametrizadas e decodificadas, oferecendo um roteiro explícito para em seguida captar dos *stakeholders* os seus conhecimentos tácitos. A partir de suas visões de valor, o modelo é matematicamente calculado para ser somado à experiência do administrador, de maneira a ajudá-lo a tomar decisão de maneira coerente e socialmente bem defensável.

A seguir apresentam-se as bases teóricas de abordagem sistêmica (*system analysis*) e de análise de decisão que sustentam as considerações acima.

4.1 Abordagem Sistêmica

A abordagem sistêmica aplicada nesta tese foi primeiramente concebida no projeto RAND, contração dos termos em inglês *research and development* iniciado em 14 de maio de 1948,

logo após a Segunda Guerra Mundial. O projeto tornou-se uma divisão da empresa de aviação Douglas Aircraft Company, baseada em Santa Monica, Califórnia, com o objetivo de prospectar tendências da indústria aeronáutica para a Força Aérea Americana. Atualmente é uma organização independente, não-lucrativa, que se dedica a promover e incentivar propósitos científicos, educacionais e beneficentes de bem-estar e segurança nos Estados Unidos da América (RAND CORPORATION, 2007).

A história registra alguns excessos ou erros de previsão pela Rand Corporation na área militar, como a inevitabilidade de uma guerra nuclear, ou sobre o desenrolar da Guerra do Vietnã. No entanto também são inúmeros os seus acertos. Em 1996 uma tese de doutorado do historiador David Jardini da Carnegie Mellon University examinou a agenda de pesquisa da Rand Corporation. Essa pesquisa compilou uma exaustiva lista de contribuições de seus pesquisadores para assistência em decisões militares, o que inclui conquistas significativas em sistemas espaciais, o que proveu os fundamentos do programa espacial norte-americano, e importantes contribuições para a computação digital e a inteligência artificial (RAND CORPORATION, 2007).

O propósito central da técnica de *systems analysis* é ajudar as partes com interesse no problema a entender e responder efetivamente à situação-problema. Para conseguir esse propósito, o time de analistas deve lidar com imaginação com vários perfis de conhecimento técnico. Existem, entretanto, algumas implicações não-técnicas que devem ser manuseadas para a análise ser efetiva: a) identificar as partes interessadas na situação-problema e desenvolver uma relação apropriada entre elas; e b) entender os tipos de sucesso que podem ser obtido e ajudar as partes no que for possível para que seja atingido (GOELLER, 1988).

Na Europa, o International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) é atualmente uma das mais importantes instituições que aplicam a técnica de *system analysis* em pesquisa organizacional. São conduzidos estudos científicos sobre o meioambiente, a economia e questões sociais e tecnológicas, num contexto de dimensões da mudança global.

O IIASA está localizado na Áustria, próximo a Viena, é tem patrocínio de membros da África, Ásia, Europa e América do Norte. Suas pesquisas cobrem uma variedade de disciplinas de estudos naturais e sociais. O trabalho é baseado na metodologia de abordagem analítica do estado da arte da tecnologia, e os métodos gerados são úteis para a tomada de

decisão e para a comunidade científica internacional (INTERNATIONAL INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEMS ANALYSIS, 2007).

No Brasil essa técnica é aplicada no Observatório da Tecnologia e da Inovação (OTI) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Este observatório promove a interação de pesquisadores, executivos e empresários (dos setores privado e público), visando incrementar a competitividade da economia paulista e brasileira no ambiente global. O esforço do Observatório baseia-se em *system analysis*, abordagem sistêmica difundida entre as agências governamentais dos EUA a partir da década de 1950. A técnica é utilizada nos dias atuais para inúmeros temas como combate à pobreza, melhoria de sistemas de saúde e tratamento de problemas urbanos, entre outros. (YU et al., apud RUIZ; MACHADO, 2006).

Desde sua criação em 2002 o OTI oferece subsídios à tomada de decisão estratégica, otimizando o aproveitamento das competências técnicas e gerenciais existentes no estado, no país e no mundo. Sua missão é subsidiar processos relevantes de tomada de decisão públicos e privados, por meio de três particularidades:

- Abordagem baseada em "evidências";
- Articulação e participação efetiva dos principais interessados;
- Visão a longo prazo em temas nos quais a tecnologia e a inovação são aspectos centrais.

O trabalho do OTI se dá segundo as seguintes diretrizes: a) visão a longo prazo; b) trabalho em redes/parcerias; c) acesso às competências existentes; d) não duplicação de esforços; "Observação": análise + recomendações; e) perspectiva da demanda de tecnologia; f) isenção; g) customização metodológica; e h) "múltiplas escolas".

4.2 Teoria da Utilidade

Daniel Bernoulli em *Specimen Theoriae Novae de Mensure Sortis*, publicado em 1738, tratou da necessidade de se mensurar as utilidades que o indivíduo obtém ao adquirir um bem. O tema central da obra destaca que o valor de um item não deve se basear em seu preço, mas na utilidade que ele produz. Esse matemático suíço percebeu que quanto mais temos, menos estamos dispostos a pagar para obter mais. O autor propunha que as pessoas podiam obter diferentes utilidades de um determinado bem, sendo que havia uma maneira de se mensurar

tal utilidade, pois, na situação usual, uma mesma quantia ou bem para uma pessoa pobre e outra rica representaria maior e menor utilidade, respectivamente (BERNOULLI, 1954).

Assim sendo, teoria da utilidade é considerada como a representação das preferências relativas de um indivíduo entre os elementos de um conjunto, usando-se números reais para representá-los. A utilidade é uma expressão quantitativa do valor de satisfação associado a um resultado. Uma função de utilidade associa os possíveis níveis, que uma alternativa pode assumir, com utilidades para os níveis considerados. Uma função de utilidade numérica possui informação sobre a intensidade das preferências, enquanto uma função de utilidade ordinal apresenta uma lista de classificação das preferências.

A microeconomia convencional tem usado a função utilidade como instrumento para a construção da teoria do consumidor. Neste sentido, a função utilidade de um bem revela a preferência do consumidor. O argumento é apresentado da seguinte forma: quando a cesta de consumo A é preferida à cesta B significa dizer que a utilidade de A (gerada por sua função utilidade $U(A)$) é maior que a utilidade de B (gerada por sua função utilidade $U(B)$). Se houver indiferença entre as cestas de consumo A e B, então podemos dizer que $U(A) = U(B)$.

Esta teoria permite a definição de uma função que busca agregar os valores de cada alternativa “a” classificada em cada atributo “i”, sendo o único método que pretende analisar as interações entre os atributos e as alternativas numa única função. Isto representa que a importância relativa de cada atributo advém do conceito de “taxa de substituição” (*trade-off*). Assim, o tomador de decisão deve identificar uma taxa de substituição de um atributo em relação ao outro.

Gregory e Wellman (2001) afirmam que os *trade-offs* são o coração do desenvolvimento de uma estratégia de gerenciamento de recursos. O constructo fundamental de um projeto com essas características está na crença de que um benefício importante para o público é a identificação das diferentes perspectivas dos *stakeholders*, e esta informação – uma vez evidenciada para todos os participantes – é a chave para ações amplamente aceitáveis.

A teoria baseada em valor é relativamente próxima da teoria baseada em utilidade. É uma técnica compensatória que considera aceitável um *trade-off* entre critérios diferentes, de maneira que baixas pontuações em um critério podem ser compensadas por altas pontuações

em outros critérios. A performance das opções, por meio de todos os critérios, pode ser agregada para formar uma avaliação geral. Assume uma independência mútua das preferências entre alternativas (KEENEY; RAIFFA, 1976).

Isto significa um julgamento direto da preferência por uma opção em relação à outra. Pode ser usado nos casos em que duas ou mais políticas alternativas têm que ser avaliadas, e também onde há conflito de objetivos. Dois objetivos são conflitantes quando a maior proximidade a um objetivo implicar a performance pior do outro objetivo.

Um ou mais atributos ou critérios são usados para medir a performance de um objetivo em relação a outros objetivos. Faz-se isso assumindo que todo problema de decisão tem uma função de valor real U que representa a preferência do tomador de decisão. Essa função agrega para cada alternativa um critério que está sob consideração do tomador de decisão. A melhor alternativa é então a maximização da função que reúne o conjunto de valores.

4.3 Análise de Decisão Multiatributo (MAUT)

A análise de decisão multiatributo, decorrente da teoria da utilidade, provê uma base matemática sólida para resolver o desafio de tomar as melhores decisões, pelos seguintes fatos:

- É baseada no senso comum, isto é, pensamento baseado em objetivos, alternativas, conseqüências e compensações (*trade-offs*) inteligíveis para muitas pessoas;
- Tem um fundamento formal em axiomas lógicos e seus resultados subentendidos;
- Inclui procedimentos usáveis para implementar os conceitos;
- Simplifica decisões, quebrando-as em partes, sem super-simplificá-las, o que poderia levar a negligenciar a complexidade de decisões específicas; e aplica-se a todo tipo de decisões (KEENEY, 2004).

Análise de decisão não vai resolver um problema, não é essa a intenção. Seu propósito é produzir *insights* e promover a criatividade para ajudar a tomar as melhores decisões. O axioma da análise de decisão indica como analisar o problema da decisão e não de onde a informação vem para ser analisada. Se o problema da decisão é enfrentado por um indivíduo,

ou por um grupo, os elementos de decisão serão os mesmos. Por isso, a análise de decisão tem o potencial de produzir *insight*, tanto para a tomada de decisão em grupo quanto individual (KEENEY, 1982, 2004).

Para Clemen e Reilly (2001), que atuam com modelos prescritivos, existem quatro fontes básicas de dificuldades e a abordagem da análise de decisão pode ajudar a resolver essas dificuldades. O Quadro 6 mostra as vantagens de se utilizar esta abordagem para superar os problemas na tomada de decisão.

Quadro 6 – Vantagens da Utilização da Abordagem da Análise de Decisão

Dificuldades na Tomada de Decisão	Auxílio dado pela Abordagem da Análise de Decisão
Complexidade	Provê métodos eficazes para organizar problemas complexos dentro de uma estrutura que pode ser analisada.
Incerteza	Identifica importantes fontes de incerteza e representa essa incerteza de uma forma sistemática e útil.
Múltiplos Objetivos	Provê um quadro de referência e ferramentas específicas para lidar com múltiplos objetivos.
Diferentes Perspectivas	Ordena e resolve as diferenças considerando o tomador de decisão como um indivíduo ou grupo de interesse com diversas opiniões.

Fonte: Adaptado de Clemen e Reilly, 2001.

Yu e Prado (2003) expõem que a literatura apresenta diversos modelos para a tomada de decisão, e que boa parte desses modelos apresenta grande semelhança. Apontam que o campo da análise de decisão pode ser classificado, de uma maneira simples, em duas partes:

- Modelos prescritivos: os pesquisadores que atuam neste campo estão preocupados em prescrever métodos para se tomar a melhor decisão;
- Modelos descritivos: os pesquisadores que atuam neste campo estão preocupados com as limitações sob as quais as decisões são tomadas.

Segundo Howard (1988), análise de decisão é uma disciplina que compreende a filosofia, a teoria, a metodologia e a prática profissional para formalizar importantes decisões.

Por outro lado, Keeney (1982) define-a de forma mais intuitiva, como a formalização do senso comum para problemas de decisão, os quais são muito complexos para o uso informal do senso comum.

Multi-Attribute Utility Analysis (MAUT) abraça um corpo de teoria matemática com uma faixa de técnicas de avaliação. Conforme delineado por Keeney e Raiffa (1976), as informações das avaliações são usadas para parametrizar a função valor, classificar as alternativas e fazer a escolha; e por outro lado, provê um profundo *insigth* do problema. Essa teoria matemática pode ser implementada por meio de diversas técnicas tais como AHP, MACBETH ou VFT, todas com uso do método aditivo linear, porém diferenciando na forma de entrada dos dados, e apresentação dos dados de saída.

4.3.1 Processo analítico de decisão (AHP)

Uma das formas de implementar a teoria multiatributo é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) desenvolvido por Thomas L. Saaty e inicialmente apresentado em detalhes em Saaty (1980). É uma abordagem para o endereçamento e análise discreta de alternativas de problemas com múltiplos critérios conflitantes. AHP começa, de maneira não usual, pela subdivisão de um problema numa hierarquia de objetivos gerais, critérios, subcritérios, etc., até que se tenha o nível de fundo de alternativas discretas.

4.3.2 MACBETH

A escola européia implementa a base matemática da teoria multiutilidade com a denominação de *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA). Destaca-se entre os europeus o uso da técnica MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), desenvolvido pelo professor português Bana e Costa. Trata-se de uma abordagem de análise multicritérios de decisão que requer somente julgamentos qualitativos sobre diferenças de valor, para ajudar um indivíduo ou um grupo quantificar a atratividade relativa das opções. Mede o grau de preferência de um tomador de decisão sobre um conjunto de alternativas e, dessa forma, permite que se verifique inconsistência nos juízos de valores, possibilitando a revisão, caracterizando-se, portanto, como uma técnica de interatividade.

4.3.3 Value-focused thinking

A teoria da decisão por meio da abordagem matemática desenvolvida em *Multi-attribute Utility Theory* (MAUT) pode ser aplicada com a técnica *Value-Focused Thinking* (VFT). Essa técnica é recomendada para problemas que envolvam aplicações complexas com várias

alternativas, múltiplos objetivos, e múltiplos *stakeholders*. VFT consiste de cinco passos dependentes:

- Reconhecer o problema de decisão;
- Especificar valores e objetivos;
- Criar alternativas;
- Avaliar alternativas; e
- Selecionar uma alternativa do conjunto de alternativas avaliadas.

VFT converte um problema de decisão multiobjetivo com aspectos qualitativos em uma hierarquia quantitativa descritiva de valor. Uma vez completadas, as alternativas são avaliadas contra essa hierarquia (KEENEY, 1992).

Keeney desenvolveu a abordagem VFT e afirma que cada decisão de problema leva a uma oportunidade de criar alternativas baseadas em nossos valores. Valor deve ser a força que dirige a nossa tomada de decisão. A abordagem *Value Focused Thinking* (VFT) é útil, criativa é mais abrangente que sua similar o *Alternative Focused Thinking* (AFT), uma vez que dá ao decisor o poder de empenhar-se no sentido de obter o melhor resultado possível em relação aos seus valores (KEENEY, 1992).

Arvai, Gregory e McDaniels (2001) efetuaram uma comparação numa tomada de decisão sobre os riscos ao hábitat do salmão ribeirinho numa usina hidrelétrica. Seis grupos compostos de 7 a 10 membros participaram do método convencional “focalizado nas alternativas”, e oito grupos de igual tamanho participaram em workshop similar focalizado no valor. Segundo os mesmos autores os resultados demonstraram que a decisão estruturada em valor conduziu a decisões mais criativas e com melhores informações sobre os riscos envolvidos nas decisões. Os autores reclamam que infelizmente poucos estudos foram conduzidos para ajudar a identificar os componentes requeridos no processo de participação pública, para abrigar decisões de risco bem sustentadas em informação.

4.4 Condições de Aplicação da Teoria Multiatributo e VFT

São detalhadas a seguir condições para aplicação da abordagem matemática da teoria multiatributo sob o conceito de VFT.

4.4.1 Hierarquia de objetivos e de valor

Deve-se desenhar uma hierarquia de valores para compreender algumas poucas propriedades-chaves. Essas propriedades incluem completeza, operacionalidade, decomponibilidade, não-redundância e concisão. (KEENEY; RAIFFA, 1976).

- Completeza

É importante para um problema de decisão que o conjunto de atributos seja completo, cobrindo todos os aspectos importantes do problema. Essa condição é satisfeita quando os objetivos de nível inferior da hierarquia incluem todas as áreas de preocupação e que satisfazem a critérios de abrangência. Se a árvore de decisão está completa, então todos os critérios que interessam ao decisor estarão incluídos nela (KEENEY; RAIFFA, 1976).

- Operacionalidade

É atingida quando todos os critérios do nível inferior da hierarquia são suficientemente específicos para que o tomador de decisão possa compará-los nas diferentes alternativas. O uso de termos e medidas complexas desnecessárias deve ser evitado, se a hierarquia de valor for apresentada e utilizada para pessoas não familiarizadas com a terminologia. É importante que a hierarquia de valores seja desenvolvida com os tomadores de decisão em mente (KEENEY; RAIFFA, 1976).

- Decomponibilidade

O desempenho de uma alternativa em relação à um critério deve ser avaliado independentemente de seu desempenho em relação a outros critérios. Para que uma hierarquia de valores seja considerada decomponível, o valor ligado às variações na pontuação de objetivos em cada camada deve ser independente da pontuação dos objetivos em outra camada. Se um problema envolver cinco atributos, sugere-se, se

possível, quebrá-lo em duas partes, uma envolvendo dois atributos, e a outra envolvendo os outros três atributos (KEENEY; RAIFFA, 1976).

- Não-redundância

Se dois critérios representam a mesma coisa, então um deles é redundante. Não é desejável redundância no conjunto final dos atributos, pois pode levar a uma contabilização. Estes devem ser definidos para evitar uma dupla contagem de conseqüências (KEENEY; RAIFFA, 1976).

- Concisão

Para uma hierarquia de valor ser concisa, faz-se necessária a comunicação fácil e com poucos recursos para estimar a performance das alternativas, em vez de uma hierarquia com um grande número de objetivos, e de difícil entendimento. Pode ser difícil balancear entre se assegurar que a hierarquia está completa e terminar a análise num período de tempo finito. A questão da completeza pode conduzir a uma hierarquia muito complexa que deixa de ser operacional (KEENEY; RAIFFA, 1976).

Ellis apud Keeney e Raiffa (1976, p. 19) sugere executar o “teste da importância” para assegurar que os objetivos estejam incluídos. Este teste afirma que um objetivo deve estar incluído na hierarquia se “possíveis variações entre alternativas com respeito ao objetivo proposto pode mudar a alternativa preferida”. Além disso, o teste de importância assegura os esforços que a hierarquia de valores seja a menor possível.

4.4.2 Função utilidade

Keeney (1992, p. 132) considera que, para obter uma função de utilidade u de um indivíduo ou de um grupo cujos valores são de interesse, a melhor abordagem é dividir a verificação em partes de u , trabalhar com essas partes e então integrá-las. Isto requer que o julgamento qualitativo de valor seja declarado e, então, quantificado.

A formulação matemática correspondente é:

$$u(x_1, x_2) = k_1(u_1(x_1) + k_2 u_2(x_2) + k_3 u_1(x_1) u_2(x_2))$$

onde:

u_i são funções de utilidade de simples atributos,

k_i são constantes escalares (multiplicadores) que indicam as taxas de substituição (valores de *trade-off*).

O conceito de *trade-off* deriva da conceituação de Pareto em que um consumidor diante da possibilidade de certas quantidades de produtos trabalhará com uma taxa de substituição de um produto em relação ao outro, o que gera uma curva de indiferença. Ou seja, diante de uma capacidade de consumo predeterminada, ele preferirá quantidades compensatórias dos dois tipos de produto, de tal maneira que gere uma curva de indiferença que abriga os conjuntos eficientes. A alternativa preferida estará, sem dúvida, dentro deste conjunto eficiente.

4.4.3 Conceito de independência

A principal exigência para a aplicação da teoria multiatributo reside em atender ao conceito de condição de independência. Existem quatro principais tipos de condição de independência. Para esta tese é crítica a adequação ao conceito independência preferencial mútua.

A independência preferencial mútua (para dois atributos) parte da seguinte premissa. Um atributo X_1 é considerado preferencialmente independente de X_2 se as preferências para resultados específicos de X_2 não dependem do nível do atributo X_1 . Se o mesmo acontece quando as posições de X_1 e X_2 são invertidas temos o conceito de independência preferencial mútua. É uma idéia relativamente interessante, principalmente em situações onde "tempo" e "custo" são os atributos em questão.

Keeney e Raiffa (1976, p.104) afirmam que para o caso de três variáveis a independência preferencial mútua se dá quando dado $v(x, y, z) = v_x(x) + v_y(y) + v_z(z)$, se:

- a) $\{X, Y\}$ é preferencialmente independente de Z ,
- b) $\{X, Z\}$ é preferencialmente independente de Y ,
- c) $\{Y, Z\}$ é preferencialmente independente de X .

Continuando, para um par de atributos $\{X_1, X_2\}$, este é preferencialmente independente de outros atributos X_3, \dots, X_n , se a ordem de preferência para conseqüências, envolvendo somente mudanças no nível de X_1 e X_2 , não depende do nível em que os outros atributos X_3, \dots, X_n são fixados. A independência preferencial implica que as curvas de indiferença sobre X_1 e X_2 não dependem de outros atributos. Esta condição de independência envolve preferências para conseqüências diferindo em termos de dois atributos sem incerteza envolvida (KEENEY, 1992, p.133).

4.4.4 Verificação das condições de independência

Para examinar se quaisquer condições de independência são atendidas, devem-se considerar os casos específicos em que se pode observar se há violação das condições de independência. Por exemplo, para examinar se o par de atributos X_1 e X_2 é preferencialmente independente de outros atributos, primeiramente deve-se identificar se os níveis de X_1 e X_2 , isto é, (x_1, x_2) são indiferentes de cada outro dado, no nível em que são afixados outros atributos de X_3 até X_n . Se a indiferença é mantida, independente do nível de contribuição de outros atributos, então a condição de independência está assegurada (KEENEY, 1992, p.140-141).

A independência preferencial mútua é necessária para se ter o tipo de separação desejado das variáveis. Um atributo Y é dito preferencialmente independente de X se as preferências para específicos resultados de Y não dependam do nível do atributo X . Por exemplo, defina Y como o tempo para finalizar um projeto e X como seu custo. Se preferirmos um tempo de projeto de cinco dias a um de dez dias, assumindo que o custo é 100 unidades em cada caso, e se também preferimos o tempo de projeto de cinco dias a um de dez dias, se o custo é de 200 unidades em ambos os casos, então, Y é preferencialmente independente de X . Não importa qual seja o custo, ainda se prefere o tempo de termino mais curto. Também precisamos de independência preferencial mútua, então, necessita-se que o custo seja preferencialmente independente do tempo de finalização. Se o decisor preferir um custo baixo, sem se importar com o tempo de finalização, então X é preferencialmente independente de Y . Então, pode-se dizer que os dois atributos são mutuamente independentes (CLEMEN; REILLY, 2001, p. 647).

A independência preferencial parece ser condição razoável para se assumir especialmente em casos envolvendo as variáveis de custos e tempo de execução. Mas é fácil imaginar situações

em que a independência preferencial não ocorre. Por exemplo, considere a decisão com resultados que afetam ambos, o lugar onde você vive e o automóvel que você dirige. Considere X a variável de resultado que denota ambos viver em Los Angeles ou numa fazenda africana, e Y a variável de resultado que denota possuir um veículo Cadillac ou um Land Rover. O valor de X (se você vive em Los Angeles ou numa fazenda africana) pode afetar sua preferência por um ter Cadillac ou um Land Rover. Além disso, Y pode não ser preferencialmente independente de X . Considere o reverso: você pode preferir viver em Los Angeles a uma fazenda africana, independente do carro que possua. Então, um atributo pode ser preferencialmente independente do outro, mas os dois não são mutuamente preferencialmente independentes. É provavelmente justo dizer que a independência preferencial mútua acontece para várias pessoas em várias situações, ou, ao menos, é uma aproximação razoável. Independência preferencial mútua é como a decomponibilidade da hierarquia de propriedades para se atingir um objetivo. Se um tomador de decisão fez um bom trabalho construindo uma hierarquia decomponível, a independência preferencial mútua é uma premissa razoável. Mas isso nunca pode ser dado como certo, pois precisa ser verificado (CLEMEN; REILLY, 2001, p. 647).

4.4.5 Análise dos atributos

Keeney (1992, p. 3) afirma que “valores são as coisas com as quais nos importamos...[elas] devem ser a força que nos dirige para a nossa decisão...[e] a base para o tempo e o esforço que nós despendemos sobre as decisões.”.

Continuando afirma que a análise de decisão pode oferecer técnicas que permitam aos participantes expressar suas preocupações com uma variedade de métricas. Considera que as pessoas que vivem na vizinhança de um centro de incineração de resíduos, podem estar preocupadas com a sua saúde, de sua família e da comunidade. Para quantificar, um atributo natural seria a contagem de pessoas amedrontadas. Um atributo de aproximação para medir indiretamente o medo seria quantificar o número de pessoas que solicitam aconselhamento profissional sobre suas preocupações ou sobre a sua saúde. Um índice construído pode capturar a intensidade desse medo pela contagem social (por exemplo, as pessoas que se juntam aos grupos de protesto), pelo comportamento (por exemplo, a tendência de beber água engarrafada ao invés da torneira), e físico (por exemplo, medir a pressão sanguínea).

A teoria da utilidade assume que um indivíduo pode escolher entre as alternativas aquele em que sua satisfação pode ser maximizada. A função utilidade do indivíduo, que é normalmente definida sobre um determinado número de atributos, é usada para capturar todas as informações pertencentes aos vários níveis de objetivos. É um mapeamento dos valores numa faixa de um atributo, isto é, uma escala de valor cardinal.

O domínio do atributo pode conter um ou mais atributos. Se tiver apenas um atributo a função de utilidade é chamada *single-utility function* (SUF). Se existirem múltiplos atributos, o que pode ser visto em vários casos, a função de utilidade é chamada *multi-attribute utility function* ou *multi-variate utility function* (MUF). A avaliação MUF é uma das mais populares técnicas de análise de decisão multicritério correntemente utilizadas. Em resumo, a avaliação da utilidade permite aos tomadores de decisão pensar mais em termos das conseqüências do que das formas, liberando os vieses cognitivos. Entretanto, dificuldades com a avaliação de utilidade pode existir na falta de um modelo objetivo capaz de lidar com os múltiplos critérios. Em outras palavras, tomadores de decisão devem afirmar claras preferências entre critérios ou alternativas.

Adicionalmente, quando existirem múltiplos tomadores de decisão ou *stakeholders* envolvidos no processo de planejamento, as preferências individuais devem ser agregadas num grupo simples de preferências. Se os membros do grupo têm objetivos conflitantes, o que ocorre comumente em várias situações, somente compromissos condicionados provavelmente aparecerão. Membros do grupo devem fazer concessões para alcançar uma declaração final de preferência. Isto pode conduzir a uma situação em que os membros do grupo de decisão se recusam a aceitar a solução, em razão de somente considerar a preocupação de alguns membros e não de todos os membros do grupo. O grupo poderá possivelmente selecionar a solução de maior compromisso em vez da solução dominante.

Keeney e Raiffa (1976, p. 53) afirmam que um conjunto de atributos não é único para um problema específico, nem mesmo para uma hierarquia específica de objetivos. Para ilustrar isso os autores propuseram como objetivo para uma companhia aérea “prover serviço freqüente entre Los Angeles e San Francisco”. Para medir esse objetivo pode-se usar o número de vôos por dia; o tempo máximo entre vôos programados; ou o tempo médio entre vôos programados. Eles consideram que, de fato, os primeiro e a terceiro atributos sugeridos

são deterministicamente relacionados. Se “n” é o número de vôos num dia, e “t” é o tempo médio em horas entre os vôos, então $t=24/n$.

Quando um problema de decisão considera vários objetivos simultaneamente, é necessário transformar os valores de cada um deles em uma mesma unidade de medida, o que é obtido por meio da função utilidade. A função aditiva multiatributo usa várias funções de utilidade para avaliar a maior satisfação possível. Numa análise de decisão aditiva multiatributo, a avaliação de preferência envolve:

- a) especificar um conjunto de atributos, descrevendo propriedades de saída dos valores relevantes;
- b) avaliar a função de cada atributo sobre os níveis de cada um deles;
- c) avaliar os pesos que governam a taxa de substituição de valor através dos atributos.

Em conformidade com o mencionado, definem-se as funções de utilidade de cada objetivo, conforme a fórmula a seguir:

$$U_{\text{total}}(x) = \sum_{i=1}^n K_i \cdot U_i$$

onde:

$U_{\text{total}}(x)$ é a função multiobjetivo, ou seja, aditiva multiatributo;

K_i é o fator multiplicador de cada função utilidade que compõe a função aditiva multiatributo, então:

$$\sum K_i = 1;$$

$U_i(x_i)$ é a função de utilidade do atributo “i”.

Em VFT, ao se descobrir a violação da condição de independência entre objetivos fundamentais, indica-se a revisão dos objetivos.

4.4.6 Condições para uso da aditividade linear

Keeney e Raiffa (1976) apresentam um conjunto de teoremas que condicionam o uso da aditividade linear para uma classificação do valor de soluções em análise. Eles tratam de aspectos de *trade-off* e curva de indiferença; condição de igualdade entre duas soluções em análise; condições de independência; e independência preferencial dos atributos. A partir desses teoremas chegam à conclusão da possibilidade de uso para situações de múltiplos atributos e, sem incertezas associadas, do cálculo do valor de uma solução, da seguinte forma:

$$v(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n v_i(x_i)$$

É mais conveniente usar “v” como função escalar e cada atributo variando de zero a um. Então pode se ter a função aditiva da seguinte forma:

$$v(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \lambda_i v_i(x_i)$$

onde:

v e v_i , $i = 1, 2, \dots, n$, numa escala de zero a um, e

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i v_i = 1, \quad \lambda_i > 0$$

Keeney e Raiffa (1976, p.114) apresentam também o seguinte corolário. “Se cada par de atributos é preferencialmente independente do seu conjunto complementar, então os atributos são mutuamente preferencialmente independentes.”

Bell, Keeney e Raiffa (1977, p. 425-428) apresentam importante discussão sobre a assunção de independência entre os atributos. Neste debate, Michael Wegener, do Battelle-Institut afirma que, ao examinar noventa recentes aplicações do método, quase nenhuma aplicação apresentou procedimentos de verificação do mundo real, e então pergunta: “são essas pessoas ignorantes?” E responde que não sabe dizer, mas o fato é que a maioria está suficientemente satisfeita com o que resultou dos procedimentos.

Nesse debate Raiffa responde que, ao se olhar a maioria dos casos, a teoria está bem aplicada, mas encontrar-se-á pessoas exagerando ao assumir que variáveis randômicas são independentes e que algumas vezes, pretendem verificar, mas verificam de modo errado para justificar sua assunção. Em síntese, quando os pontos de vista são preferencialmente independentes, eles permitem a agregação aditiva dos diversos critérios identificados e um modelo de avaliação, o que possibilita a verificação da performance global a partir da determinação das taxas de substituição (pesos).

Na literatura a forma mais objetiva que se encontra para verificar se existe independência de preferência é por uma entrevista onde se imagina uma série de comparações aos pares que envolvam um dos atributos.

Keeney e Raiffa (1976) sugerem que com um atributo fixado no seu nível mais baixo, o entrevistado decida por qual resultado em cada par é o preferido. Uma vez feito isso, imagine uma mudança de nível desse atributo previamente fixado no seu nível mais baixo, agora para um nível mais alto, e vá aumentando. Seria o resultado o mesmo? Caso ele tenha se modificado não há independência, mas caso seja o resultado seja sempre o mesmo, independente do nível em que foi fixado o primeiro atributo, então a independência preferencial está confirmada. Os autores consideram essa uma verificação delicada, e apresentam uma descrição em como proceder na realização deste tipo de entrevista. O diálogo apresenta que conforme as comparações permanecem as mesmas independentes do valor fixado de X, então Y pode ser considerado de utilidade independente de X. Naturalmente para estabelecer a independência mútua, o processo deve ser confirmado no seu inverso, ou seja, X deve ser considerado de utilidade independente de Y.

4.4.7 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade está incluída no processo para avaliar os efeitos nos resultados de mudança em níveis de medida ou preferências. Pannell (1997, p. 139) explica análise de sensibilidade como “a investigação do potencial de mudanças e erros, e seus impactos nas conclusões a serem desenhadas do modelo”.

Samson (1988, p. 269) afirma que “a análise de sensibilidade geralmente envolve a conferência dos efeitos das premissas do modelo na solução dada pelo modelo”. Decisões são

feitas de acordo com as saídas do modelo dirigidas pelos dados de entrada. Os decisores estão interessados em saber em quanto a decisão é afetada se os dados de entrada mudarem, e a análise de sensibilidade fornece essa dimensão.

Nesta pesquisa, a análise de sensibilidade apresenta particularmente o impacto dos pesos atribuídos pelos especialistas aos atributos das soluções em análise, e também mostra como uma eventual variação do peso pode influenciar a mudança na decisão.

4.5 Participação Pública no Processo de Decisão

Em geral dois papéis podem ser identificados num processo de tomada de decisão: a) tomadores de decisão (*decision-makers*) – aqueles que realmente fazem planos de investimentos; e b) interessados (*stakeholders*) – aqueles que participam inicialmente do processo de tomada de decisão e negociação, mas não tem o poder de decisão; no entanto podem convencer os tomadores de decisão a considerar as suas preocupações. No fim, os *stakeholders* são influenciados pelos tomadores de decisão, uma vez que são os receptores da decisão.

Gregory (2000) afirma que os esforços para democratizar o desenvolvimento de políticas públicas, incluindo as técnicas de grupo de foco, encontros na prefeitura, portas abertas, comitês de aconselhamento e uma variedade de pesquisas econômicas, vêm se tornando úteis. No entanto, frequentemente, o decisor some após ouvir a população e interpreta o que ouviu, levando a conflitos inevitáveis. Considera-se que a melhor forma de ouvir os *stakeholders* é executar os cinco passos seguintes:

- Desenhar o quadro da decisão. Quais são os elementos contextuais-chaves da situação de decisão e qual é o objetivo do processo de consulta?
- Definir os objetivos-chaves. Como as pessoas pensam que serão afetadas pela ação proposta e quais os valores que importam para a maioria dos *stakeholders*?
- Estabelecer alternativas. À luz das restrições relevantes, quais são as alternativas de ação que devem ser tomadas?
- Identificar conseqüências. Quais os impactos mais importantes que podem afetar os objetivos declarados e com qual probabilidade irão acontecer?

- Clarificar os *trade-offs*. Quais são os conflitos importantes que cruzam os objetivos desejados e como esse conhecimento pode ser usado para criar e melhores alternativas?

Gregory e Keeney (1994) afirmam que a escolha de múltiplos *stakeholders* para balancear objetivos conflitantes é hoje umas das mais controversas decisões. Embora existam várias técnicas, que auxiliem os tomadores de decisão, pouca atenção é dada para identificar e melhorar alternativas baseadas em valores claramente articulados dos *stakeholders*. Os autores citam como exemplos as decisões de *trade-off* econômico/ambiental, o gerenciamento de florestas antigas nos EUA, a redução de emissões de CO₂, a perfuração para exploração de petróleo no Alaska e o desenvolvimento econômico na região da floresta amazônica no Brasil.

Gregory, Fischhoff e McDaniels (2005), ao tratar da análise de decisão para guiar as decisões públicas, concluem sobre a conveniência de melhorar as condições de entendimento do problema e na avaliação das opções para criar melhores condições de se atingir os resultados socialmente preferíveis.

4.6 Escolha do Programa para Tratamento da Informação

Yu e Azevedo (2000) tratam da decisão em tecnologia, apontando a existência de inúmeros softwares de processamento das informações como *Analytica*, *Expert Choice*, *Logical Decision*, *@Risk* e *Decision Explorer*. Buede (apud YU; AZEVEDO, 2000) analisou 32 diferentes softwares, concluindo que um grande número de empresas norte-americanas está utilizando este tipo de ferramenta para garantir a qualidade de seus processos de decisão, particularmente quanto ao investimento em tecnologia. Para este trabalho a escolha recaiu sobre o software *Logical Decision*, pela sua disponibilidade na Faculdade de Economia e Administração da USP, bem como a conveniência de aplicação no problema desta pesquisa.

4.7 Teoria da Decisão e o Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos

Verhoef et al. (2006), ao analisarem a questão do tratamento de resíduos sólidos na Holanda, afirmam que a tomada de decisão sobre a infra-estrutura para tratamento de lixo é uma questão complexa, politicamente carregada e emocionalmente pesada, por não ser suficientemente bem-estruturada ou entendida.

Os autores afirmam que ao mesmo tempo em que a sustentabilidade é um objetivo da União Européia, não existem ainda suficientes abordagens ainda para a sua realização. O conceito de ecologia industrial é sugerido como um *roadmap* para a busca dessa sustentabilidade. Uma camada prescritiva poderia prover princípios organizacionais para práticas mais sustentáveis, incluindo os ciclos fechados de materiais, uso de energia em cascata e uso de um sistema de configuração flexível. Quando combinados, a ecologia industrial e engenharia permitiriam corretas especificações, um projeto de infra-estrutura adequado, e as condições para a correta tomada de decisão para a infra-estrutura do tratamento do lixo.

Mels et al. (1999) propuseram uma metodologia para analisar a sustentabilidade de projetos de tratamento de lodo de esgoto, a partir da teoria de ciclo de vida do produto, considerando-se cinco variáveis, as mais significativas para esse tipo de resíduo:

- a) balanço energético;
- b) qualidade do resíduo final, considerando que a quantidade de metais pesados não permite o seu uso como adubo, ou ser incinerado;
- c) qualidade dos efluentes, considerando seu reuso;
- d) consumo de produtos químicos; e
- e) espaço ocupado para instalações, considerando a indisponibilidade de espaço na Holanda.

No caso do tratamento dos resíduos, os diferentes grupos que podem ter importante papel no planejamento do tratamento de resíduos municipais podem ser:

- a) Autoridades administrativas regionais ou municipais, que não a tomadora de decisão;
- b) Companhias já envolvidas no tratamento local do resíduo;
- c) Autoridades regulatórias;
- d) Grupos políticos ativos na arena local;
- e) Geradores de resíduos domiciliares e industriais;
- f) Grupos e organizações não-governamentais como os dos ambientalistas e dos catadores;
- g) Outros grupos interessados como os fornecedores de tecnologias.

Chambal, Shoviak e Thal Junior (2003) tratam da melhor escolha para a destinação dos resíduos numa ilha no Alaska, EUA, base da aeronáutica americana. Para esse tipo de aplicação recomendam particularmente o *Value-focused thinking* (VFT) que provê uma metodologia de comparação mais adequada para esse tipo de estudo de múltiplos critérios.

Os autores afirmam que o método consiste de duas atividades, decidir o quê você quer e, então, calcular isso. Afirmam ainda que o processo pode ser dividido em dez etapas, a saber:

- a) Identificar o problema e determinar o objetivo fundamental;
- b) Desenvolver uma hierarquia de objetivos;
- c) Desenvolver medidas de avaliação (métricas);
- d) Criar uma única dimensão de valor, para poder comparar alternativas (traduzir as métricas para uma escala única de 0 a 1);
- e) Atribuir pesos à hierarquia de objetivos, sendo essa uma atividade crítica onde o analista deve informar o tomador de decisão que esses pesos podem alterar o resultado final;
- f) Gerar alternativas. Nessa etapa o tomador de decisão decide quais alternativas devem efetivamente consideradas;
- g) Atribuir notas às alternativas;
- h) Desempenhar a análise determinística;
- i) Realizar uma análise de sensibilidade;
- j) Apresentar os dados e *insights* obtidos durante o processo (CHAMBAL; SHOVIK; THAL JUNIOR, 2003, p. 26).

5 METODOLOGIA DA PESQUISA

Metodologicamente a pesquisa tem caráter prescritivo, pois visa apresentar um modelo de decisão decorrente do processo de avaliação estratégica proveniente da teoria da administração. A pesquisa é composta de três fases distintas e complementares.

Na primeira fase da pesquisa foram levantados os aspectos teóricos, cuja primeira abordagem foi apresentada nos capítulos 2, 3 e 4, contendo revisão da literatura, complementada com a participação em reuniões com pessoas e entidades envolvidas ou interessadas nesse processo alternativo de tratamento de resíduos sólidos municipais. A primeira fase, exploratória, visou constituir um modelo teórico que balanceasse alternativas existentes e projetadas para tratamento dos RSU.

Na segunda fase foram efetuadas entrevistas com associações empresariais, empreendedores e especialistas, para captar sua percepção do problema. Foram aplicados de formulários fechados, com o intuito de levantar a importância das variáveis para os entrevistados, e questionários abertos, visando captar a sensibilidade e o conhecimento tácito dos indivíduos sobre o problema. Esses entrevistados foram criteriosamente escolhidos para representar opiniões distintas e conflitantes, no papel de *stakeholders*, neste processo de decisão.

Na terceira fase da pesquisa, o modelo foi definido, com a utilização de técnicas que evidenciam as melhores combinações de soluções. Esse modelo foi exposto à análise e crítica de vários gestores públicos para ser referendado. A partir desse modelo são apresentadas as orientações para os gestores públicos e empreendedores trabalharem com as soluções eco-eficientes para tratamento dos resíduos sólidos.

5.1 Aspectos Teóricos

Como método de pesquisa se adotou a abordagem qualitativa, incluindo a coleta de documentos, a observação especialmente na forma participante, ou seja, como observador em eventos e reuniões, e entrevistas focalizadas ou abertas. Mesmo quando usado o método de decisão, com atribuição de valores, este visou quantificar as percepções, mantendo-se o caráter geral qualitativo da pesquisa.

A literatura sobre mudança climática global é bastante ampla e dispersa, reflexo da importância e do interesse da comunidade internacional sobre o assunto. Também são de interesse dados de pesquisas práticas sobre emissão e captura de gases em aterros sanitários e possíveis formas de transformação em energia elétrica, particularmente as experiências do Projeto NovaGerar e da Usina Verde (incineração) que já têm seus projetos MDL aprovados, além dos trabalhos experimentais publicados sobre tecnologia do plasma térmico.

5.2 Procedimentos

A Figura 8 apresenta uma adaptação do modelo de avaliação estratégica de tecnologia, com vistas a auxiliar na avaliação e na tomada de decisão sobre tecnologias de tratamento de RSU. (MARCOVITCH, 1992).

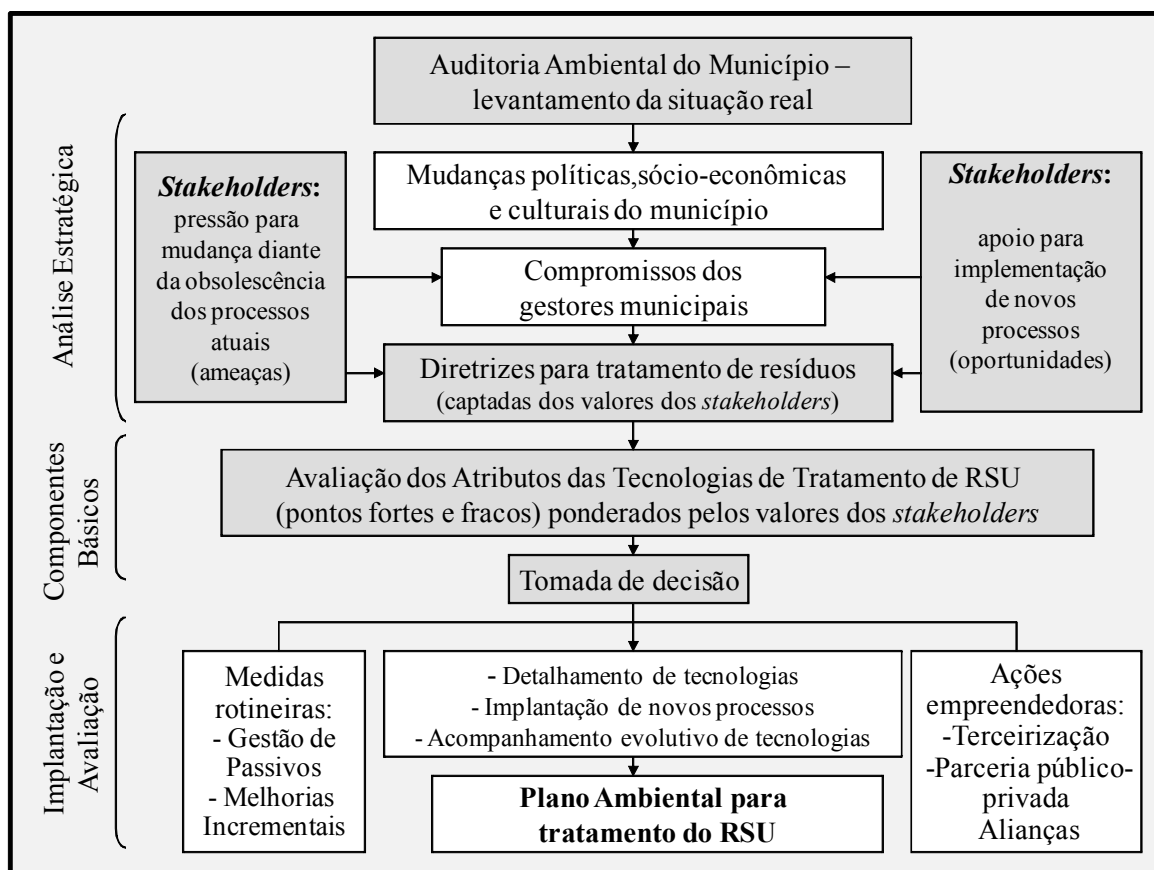


Figura 8 – Etapas do Modelo de Avaliação Estratégica nos RSU

Fonte: Adaptado de Marcovitch, 1992.

O foco da pesquisa está nos campos demarcados em cinza na Figura 8, pois se considera que os demais campos são de caráter específico do município e, portanto, de difícil generalização.

5.2.1 Auditoria ambiental do município

O processo de montagem de um plano de gestão dos resíduos municipais deve começar, portanto, com uma auditoria ambiental do município que considere no mínimo os seguintes itens:

- Avaliação e condição de aterro do montante de lixo já depositado (passivo);
- Instalações atuais para disposição dos resíduos sólidos;
- Cálculo do montante mensal de lixo a depositar;
- Composição e poder calorífico dos resíduos;
- Grau de periculosidade dos resíduos gerados;
- Nível de preocupação ambiental dentro do município; e,
- Pressões externas sobre o município.

Deve ser ressaltado que o resíduo industrial é de responsabilidade do seu gerador e que, em larga escala, este vem fazendo o seu tratamento. Quando se trata de pequenos empreendimentos, muitas vezes alavancados por processos de terceirização, cresce a informalidade, ficando o controle mais tênue; e este resíduo produzido em pequena escala, mas importante no agregado, acaba por se confundir com o resíduo municipal urbano, indo parar nos lixões ou aterros, quando não incinerados de maneira rudimentar e inapropriada. A abordagem aqui, portanto, não é a do modelo ideal preconizado pela lei, mas a da situação real, com certa inevitável mistura e contaminação do resíduo municipal pelo industrial e, até mesmo, pelo de serviços de saúde.

5.2.2 Diretrizes e avaliação de oportunidades e ameaças

A partir da auditoria ambiental inicial, já com dados de volume e composição de resíduos, começa-se a considerar as ameaças e oportunidades, buscando definir diretrizes. Tendo em vista que as soluções não são exclusivas, uma combinação pode ser adotada. Como oportunidade pode-se destacar:

- Financiamento parcial por meio de obtenção de créditos de carbono;
- Outras fontes de financiamento nacional e internacional.

Em termos de ameaça deve ser efetuada uma avaliação de riscos da continuidade de não se tomar uma atitude, considerando fatores como conscientização e clamor da população e a pressão do Ministério Público, como também a ação de proibição de continuidade de operação pela CETESB, por exemplo.

5.2.3 Avaliação de soluções

Nenhuma das soluções em análise é completa, e dificilmente o município teria condições de implantar uma solução integral. Assim sendo, ao começar o processo por uma das alternativas, alguns passivos podem se avolumar, gerando deficiências e insatisfações que devem ser previamente analisadas. Deve haver um processo de comunicação com as demais autoridades e a população para se prevenir de ações contrárias, desde o início do projeto. Para isso deve-se verificar exatamente quais são os valores dos administradores municipais.

5.3 Hierarquia de decisão

A Figura 9 apresenta a hierarquia de decisão, ponto central da tese, para escolher a melhor alternativa balanceada, dentro da visão de análise multiatributo. É apresentado no primeiro nível o objetivo principal, encontrar a melhor alternativa balanceada para o tratamento dos resíduos sólidos numa cidade média do estado de São Paulo por vinte anos.

Este objetivo se abre em cinco subobjetivos apresentados nos quadros de posição intermediária. Esses subobjetivos são: a) escolher um sistema que trate a maior quantidade de classes de resíduos e que obtenha o máximo de aproveitamento destes. Busca-se a solução mais abrangente e mais apta a processar também os resíduos de serviços de saúde e industriais, se esta for a estratégia da prefeitura municipal; b) obter a maior quantidade possível de créditos de carbono, por eliminar ao máximo os gases de efeito estufa; c) gastar o mínimo possível com infra-estrutura; d) obter o menor tempo de instalação; e, e) obter receitas de vendas de subprodutos, como recicláveis ou rochas vítreas que podem ser derivadas do processamento a plasma ou da incineração.

Esses subobjetivos abrem-se numa última camada em medidas, que representam as variáveis que são trabalhadas nesta tese. Ressalte-se que os créditos de carbono e o tempo de instalação são subobjetivos e medidas, pois não se abrem hierarquicamente.

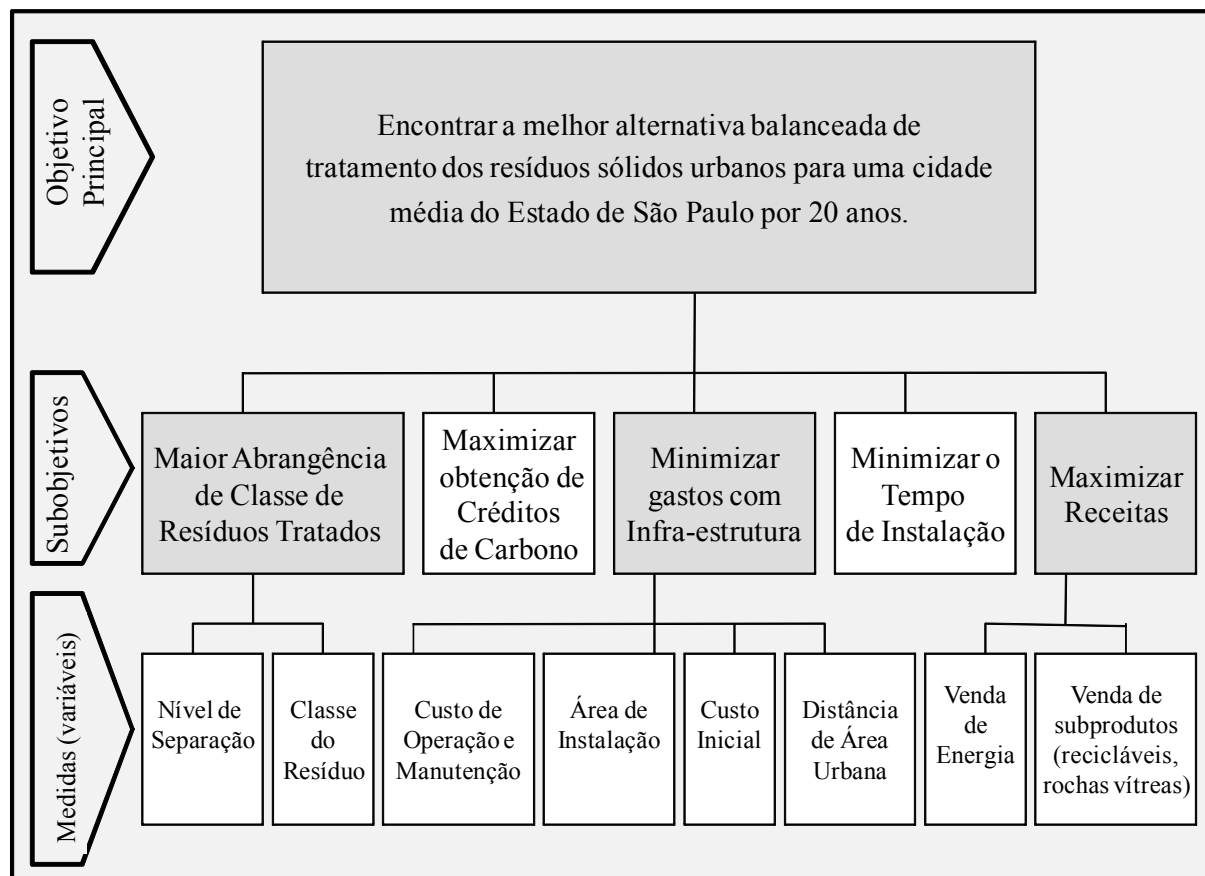


Figura 9 – Diagrama de Hierarquia da Decisão

Os campos de fundo cinza são totalizadores. Os campos de fundo branco representam as dez variáveis trabalhadas nesta tese às quais se devem atribuir valor (medidas).

5.4 Variáveis

As variáveis para composição do modelo de avaliação de alternativas são:

- Variáveis de Entrada:
 - Investimento/custo de equipamentos e instalações, incluindo custos financeiros – reflete a disponibilidade de caixa para investimento;
 - Despesas/custos de operação e manutenção do sistema – reflete a disponibilidade de caixa para custeio;
 - Periculosidade, composição e poder calorífico do resíduo a ser tratado – reflete a abrangência de solução a ser adotada.

- Variáveis de Saída:
 - Venda de Subprodutos resultantes da coleta seletiva, da separação ou a rocha vítrea resultante da incineração ou do processamento a plasma;
 - Venda de Energia Recuperada;
 - Quantidade de Créditos de Carbono obtidos com a solução.

- Variáveis decorrentes do processo
 - Área total necessária para instalações;
 - Distância recomendada de área urbana em função de questões de saúde;
 - Tempo necessário de implantação;
 - Interesse ou necessidade de processo de separação, além da coleta seletiva.

5.4.1 Descrição das variáveis

As variáveis deste processo, que se convencionou a chamar em VFT de atributos de valor das soluções, correspondem a medidas. Essas medidas, de acordo com o método proposto, devem ser independentes, de maneira que se possa utilizar o método aditivo linear, somando a contribuição de cada medida à formação final de valor das soluções, para efeito de obtenção de uma ordem classificatória.

As variáveis são descritas a seguir.

- Área

As soluções de aterro exigem áreas extensas. Na medida em que se modernizam as tecnologias, a necessidade de área se torna menor. Mesmo a solução de aterro vem sendo otimizada com a possibilidade de se promover o processamento mecânico do resíduo e algum tipo de compostagem, o que permite a redução de volume e, conseqüentemente traz a redução de área ou o prolongamento da vida útil dos aterros. Não se enquadram nesta pesquisa soluções de tratamento de RSU que deixem passivos, além daqueles restritos à área ocupada, visando minimizar conseqüências para as gerações futuras;

- Distância

Essa é uma variável completamente discreta e sintetiza a necessidade de se afastar a planta futura de áreas urbanas, em função de normas de proteção à saúde pública. A atual legislação obriga que, por exemplo, os aterros estejam localizados, no mínimo, a 20 km de distância das torres de controle dos aeroportos, para que se evite a propagação de vetores e a presença de aves. Além disso, há o problema de propagação do malcheiro, reduzindo a qualidade de vida das populações próximas. Essa norma resume as condições de convivência das populações com os aterros a céu aberto; e, na medida em que melhoram as soluções de aterro sanitário, ela vem sendo flexibilizada. As soluções modernas de incineração ou plasma não requerem restrição deste tipo, pois tanto os incineradores quanto as tochas de plasma estão localizadas em áreas urbanas, quer seja no Japão quer seja na Europa;

Mesmo sendo uma variável de infra-estrutura, portanto no mesmo bloco de área, não se pode afirmar haver que há uma dependência entre elas, pois as tecnologias atuais permitem que se trabalhe para a sua otimização de maneira independente da área. Portanto, podemos ter hoje aterros sanitários bem operados mais próximos de áreas urbanas, bem como podemos alocar a planta de incineração ou plasma dentro da área do antigo aterro, para minimizar investimentos em infra-estrutura. Por conseguinte, há independência de decisão entre as duas variáveis para as atuais tecnologias;

- Custo Inicial

Custo inicial é variável muito significativa no processo de decisão, principalmente para o gestor público que ainda não encontrou a fórmula adequada de parceria, ou investimento externo para o processamento de seu RSU, e conta apenas com recursos próprios do município;

- Custo de Operação e Manutenção

Essa variável, embora igualmente traduzida em valores monetários como custo inicial, revela um comportamento completamente diferente da anterior. Soluções como o aterro pedem um investimento inicial mais baixo para o município que tenha áreas

disponíveis, ou que consiga desapropriá-las a um custo mais baixo. No entanto, os custos de operação da solução aterro tendem a subir com o tempo, em função do passivo que se acumula. Tipicamente, os custos com aterro se mantêm por, no mínimo, um período igual ao de sua vida útil. Pode-se considerar que as soluções de aterro, principalmente os mal-operados, transferem custos atuais para gerações futuras, tanto da população quanto de gestão de contas públicas. As soluções mais atuais de incineração ou de plasma térmico podem ter um custo operacional momentaneamente mais alto, mas não deixam os mesmos passivos ambientais;

- Tempo

Essa variável embora significativa, pois o gestor público trabalha com a expectativa de um período de quatro anos de sua gestão, tende a ser minimizada no processo de decisão, uma vez que nenhuma das soluções em análise tem processo de maturação inferior a dois anos. Quando o gestor público se dá conta do problema, já foram decorridos um ou dois anos de seu mandato, restando pouco para implementação, considerando que as soluções passam por escolhas de tecnologia, preparação de editais, obtenção de licenças, desenvolvimento de um projeto detalhado, obtenção ou designação de áreas, acompanhamento de obras. Em todas essas etapas há a fiscalização de órgãos ambientais, Tribunal de Contas, população, etc. A preparação de um bom projeto de tratamento de resíduos sólidos para o município é um investimento cujos resultados serão colhidos nas gestões futuras, exigindo uma abnegação do gestor público em tratar de um tema espinhoso, sem verificar resultados imediatos.

- Grau de Periculosidade do Resíduo a ser Tratado

Essa variável revela a estratégia do gestor público em relação à vocação de seu município. A obrigatoriedade legal determina que a prefeitura cuide dos resíduos gerados pelos munícipes e seu próprio, obtidos da poda de árvores e varrição de ruas. A questão dos resíduos dos serviços de saúde acaba por chegar ao administrador público, uma vez que muitos dos hospitais e centros de saúde são ligados à gestão pública. Os resíduos industriais, por sua vez, são obrigação plena de seu gerador. Na prática, verifica-se que a grande indústria acaba por resolver o seu problema, repassando o custo de disposição do resíduo para o preço de seus produtos. Na pequena e média empresas

poderá haver uma tendência a repassar esse custo ao município, ou mesmo recorrer à disposição ilegal. As soluções mais antigas de aterro exigiam uma definição, *a priori*, sobre as classes de resíduo, pois as precauções em termos de impermeabilização de solo, tratamento do chorume ou controle de infiltração nos lençóis freáticos, por exemplo, serão muito maiores quando se incorpora no aterro a proposta de co-disposição. Para as plantas atuais de incineração e plasma térmico, dada a alta temperatura, os cuidados e conseqüentes custos de co-disposição são menores, facilitando que o município possa também atender a outros tipos de resíduos, criando a oportunidade de vender soluções, inclusive para o tratamento de resíduos de lodo de esgoto, proveniente das operadoras de águas municipais;

- Separação para Seleção Energética do Lixo

A variável separação reflete as intenções do gestor público quanto ao destino do resíduo. Quanto mais bem elaborada for sua visão sistêmica, procurando separar e recuperar produtos, ou potencializar a geração de energia, maior importância o gestor dará a essa variável. O gestor que não prioriza a visão sistêmica dará pouca nota a essa variável, independentemente de sua preferência por aterro, incineração ou plasma térmico.

- Receita de Venda de Materiais

Esta variável procura revelar a preocupação do gestor público com a sustentabilidade ambiental do projeto. As receitas, em função das atuais tecnologias, ainda são pouco significativas, sem contribuir efetivamente para os cofres públicos. A principal fonte de receita seria ainda a coleta coletiva. No entanto, as prefeituras trabalham esses programas com uma visão assistencial, e não com uma visão de gestão profissional. Outra fonte de receitas de venda de materiais seria a venda de produtos derivados do processo de tratamento do resíduo, como adubos provenientes da compostagem, pisos vitrificados para a construção civil provenientes dos processos de incineração ou plasma.

- Receita de Venda de Energia

Todos os processos básicos em análise permitem a obtenção de energia pela recuperação do gás metano, que pode ser utilizado em veículos automotores ou para a geração de energia elétrica. Existe uma preocupação em trabalhar essa possibilidade, uma vez que as novas tecnologias colocadas recentemente no mercado nacional visam diminuir a dependência de fontes de energia fóssil pela energia renovável. A energia obtida do lixo pode ser denominada de energia verde, pois não degrada o ambiente, pelo contrário, ajuda a combater a degradação ambiental já ocorrida.

- Créditos de Carbono

Variável motivadora da elaboração desta tese consubstancia a estratégia ambiental dos gestores públicos. Ter ou não créditos de carbono é uma preferência que pode ser revelada pelos gestores a qualquer momento, independentemente da tecnologia praticada, desde que atenda a requisitos ambientais mínimos. Sua implementação se dá de maneira independente das outras nove variáveis analisadas. Obviamente sua adoção por via projeto de MDL adiciona valor às soluções, melhorando a pontuação. Não traz grandes ganhos econômicos, mas suficientes para implantar melhorias significativas, e traz ganho de imagem, pois certifica que os requisitos ambientais principais, quanto à emissão de gases de efeito estufa, estão sendo cumpridos.

5.4.2 Faixas de variação

Apresenta-se no Quadro 7 a sumarização dessas variáveis para o porte de município em análise.

Quadro 7 – Composição das Variáveis

Objetivo: tratamento de RSU por 20 anos	Unidade de medida	Símbolo da unidade de medida	Tipo de medida	Limite inferior	Limite superior
Área de instalação	Metros quadrados	m ²	Quantidade	30.000	300.000
Distância da área urbana	Quilômetros	km	Quantidade	0	10
Custo de investimento inicial	Reais por tonelada	R\$/t	Quantidade	30	300
Custo de operação e manutenção	Reais por tonelada	R\$/t	Quantidade	30	50
Tempo de instalação	Anos	Anos	Quantidade	2	4
Grau de periculosidade - Classe do resíduo	Classe I, II ou S (Serviços de Saúde)	II, I ou S	Nível	II	S
Separação/geração RDF	Percentual	%	Quantidade	0	20
Receita de venda de subprodutos	Percentual do custo de O&M	% do custo de O&M	Quantidade	0	10
Receita de venda de energia	Percentual do custo de O&M	% do custo de O&M	Quantidade	0	30
Créditos de carbono	Percentual de GEE eliminado	% GEE eliminado	Quantidade	0	90

Fonte: Chambal, Shoviak e Thal Junior, 2003.

A variável mais significativa para esse trabalho é a quantidade de créditos de carbono obtida, medida em tCO₂eq, calculada pelo GWP tendo como referência o CO₂, que pode ser negociada no mercado internacional, bem como é representativa da preocupação social e ambiental do município.

5.4.3 Comportamento das variáveis

As variáveis têm unidades de medida e comportamentos distintos. Para que possam ser avaliadas e comparadas são então convertidas para uma escala de utilidade, entre 0 e 1, conforme mostra a Figura 10.

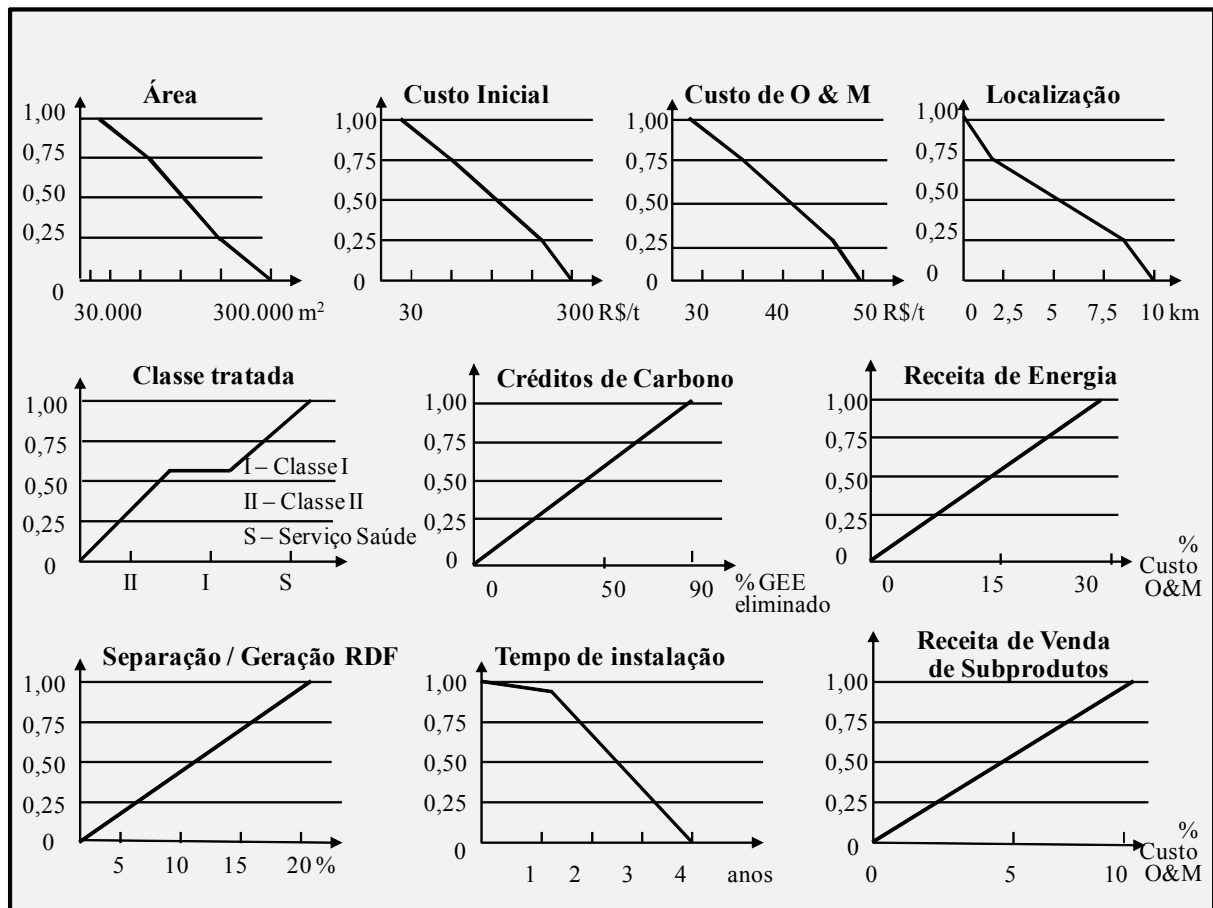


Figura 10 – Comportamento das Variáveis

Fonte: Chambal, Shoviak e Thal Junior, 2003.

5.4.4 Projetos

A partir das soluções avaliadas deve-se elaborar um projeto com as soluções mais efetivas, a partir de dados quantitativos como volume de resíduos, grau de periculosidade desses resíduos, subprodutos comercializáveis, ou não, sua destinação, ganhos energéticos dos processos, etc., contemplando as variáveis principais do problema. Não cabe nesta tese o detalhamento do projeto, uma vez que dependerá fundamentalmente da decisão a ser adotada pelo município.

5.4.5 Plano ambiental para tratamento de RSU

O resultado das etapas anteriores deve ser consolidado num relatório denominado “Plano Ambiental para o Tratamento dos Resíduos Sólidos do Município”, de caráter estratégico para a administração municipal.

5.5 Abordagem Matemática

O valor total de cada solução é obtido pela somatória dos valores de seus atributos multiplicado pelo peso desses atributos. A abordagem matemática obedece à seguinte equação.

$$V_n = \sum_{i=1}^{10} A_i \cdot P_i$$

onde:

i – número de atributos em análise, 10 neste trabalho;

n – número de soluções em análise, 34 neste trabalho;

V – valor individual de cada solução n ;

A – valor das 10 características ou atributos intrínsecos a cada uma das 34 soluções;

P – valor médio (peso) atribuído pelos entrevistados para cada atributo. Os valores P_i variam por atributo, mas são fixos para todas as soluções e sua soma é igual a 1.

Cada uma das 34 soluções em análise tem, portanto, 10 atributos, que são multiplicados individualmente pela média dos pesos de cada atributo designados pelos entrevistados. Os valores (V_n) são os resultados das somas da multiplicação de cada uma das características ou atributos da solução em análise (A_i) pela percepção de valor médio dessa característica ou atributo (P_i), obtido por meio dos questionários fechados aplicados aos entrevistados.

O ranking de alternativas é, portanto, montado pela somatória dos valores dos atributos de cada solução, determinado a partir da literatura e ajustado pelas entrevistas de campo, e multiplicado pelo peso atribuído pelos respondentes a cada um dos atributos.

Para facilitar esse tratamento matemático e melhor visualização dos resultados, utilizou-se o software *Logical Decisions* (2006), que permite a entrada direta dos pesos de cada atributo, em qualquer escala, e este os pondera para que a somatória desses pesos seja igual a 1. É possível também cadastrar uma matriz de atributos, com valores variando de 0 a 1. O software efetua os cálculos necessários de maneira a apresentar o ranking de alternativas.

5.6 Instrumento de Pesquisa

Günther (2003) propõe três caminhos principais para compreender o comportamento humano, no contexto das ciências sociais empíricas: a) observar o comportamento que ocorre naturalmente no âmbito real; b) criar situações artificiais e observar o comportamento ante as tarefas definidas para essas situações; e c) perguntar às pessoas sobre o que fazem (fizeram) e pensam (pensaram). Cada uma das três famílias de técnicas apresenta vantagens e desvantagens distintas para conduzir estudos empíricos — observação, experimento e *survey* (KISH, 1987).

Na pesquisa optou-se por algo entre o segundo e o terceiro caminhos, com a criação de uma situação hipotética artificial exposta em entrevista pessoal, ou seja, buscou-se captar a importância que o entrevistado atribui a cada uma das dez variáveis propostas no modelo de decisão. O instrumento utilizado no *survey*, o questionário, pode ser definido como “um conjunto de perguntas sobre um determinado tópico que não testa a habilidade do respondente, mas mede sua opinião, seus interesses, aspectos de personalidade e informação biográfica” (YAREMKO et al., 1986, p. 186).

Foi usada uma escala de percepção tipo Likert, mensuração mais utilizada nas ciências sociais, especialmente em levantamentos de atitudes, opiniões e avaliações. Nela pede-se ao respondente que avalie um fenômeno numa escala de, geralmente, cinco alternativas: aplica-se totalmente, aplica-se, nem sim nem não, não se aplica, definitivamente não se aplica. Nesta pesquisa utilizou-se uma escala mais ampliada, com três graduações divididas em subgraduações que vão de zero (nenhum valor) a dez (máximo valor).

Günther (2003) afirma que, do ponto de vista da estandardização das perguntas e do potencial para transcrever as respostas, a aplicação pessoal de instrumentos é a mais problemática. Além de exigir treinamento para os aplicadores e para as pessoas que transcrevem as respostas (especialmente a perguntas abertas), é o método mais demorado e mais caro. Sua vantagem é permitir acesso a informações pouco perceptíveis, além de ser indispensável na fase inicial de qualquer tipo de procedimento.

Para Sommer e Sommer (1997, p. 130), o uso de perguntas fechadas “evidencia frequentemente mais respeito à opinião das pessoas, deixando-as classificar suas respostas como positivas, negativas ou neutras, em vez do pesquisador fazer isto para eles”.

5.7 Soluções em Análise

O trabalho foca o resíduo gerado no âmbito do município, porém a tendência atual das novas tecnologias é o tratamento executado numa grande e única estação, com aceitação de várias classes de resíduos, inclusive o industrial e o de serviços de saúde. O lodo de esgoto hoje já usualmente depositado nos aterros e pode ser tratado por quaisquer das tecnologias apresentadas.

A Figura 11 apresenta o quadro das opções que podem ser aplicadas tanto em série, quanto em paralelo, a depender da disponibilidade e adequação para os municípios.

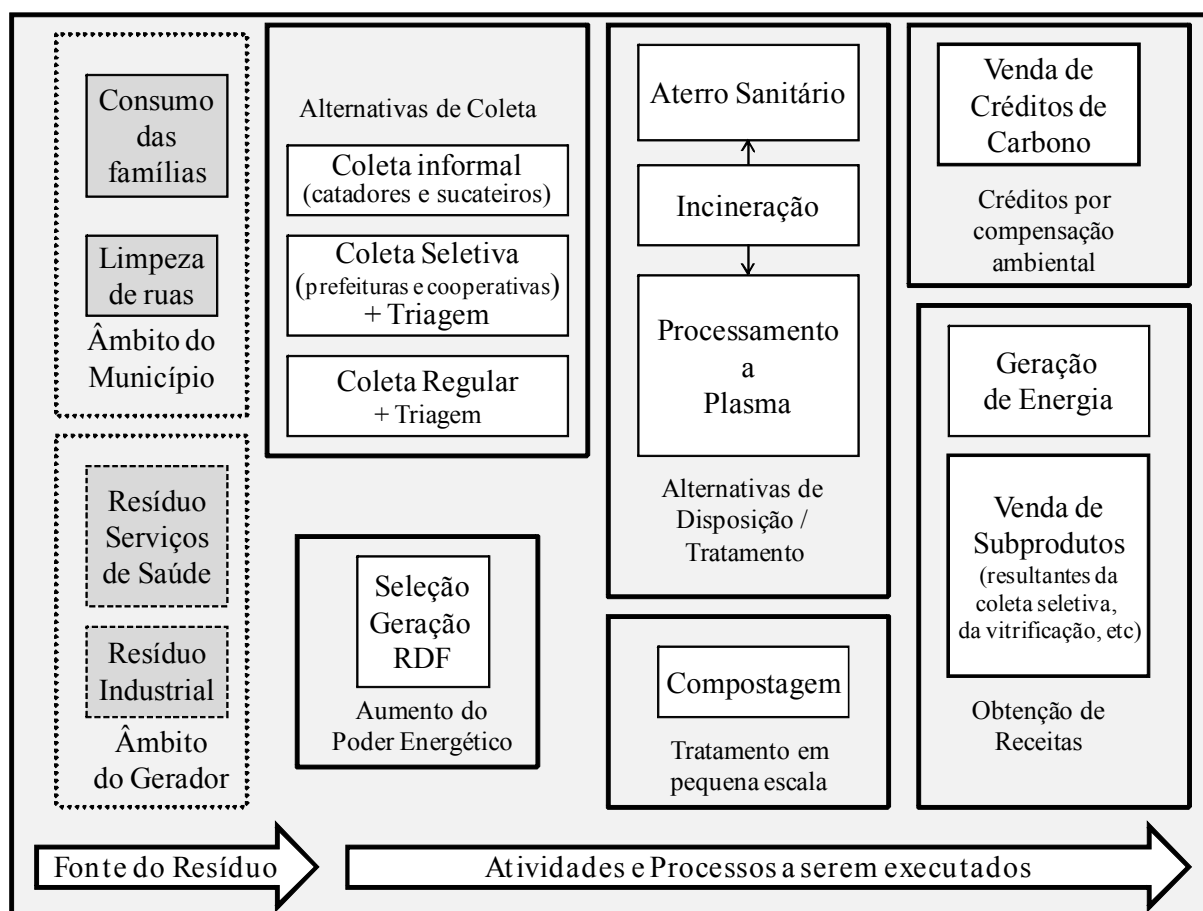


Figura 11 – Soluções em Análise

5.8 Seleção dos *Stakeholders*

A seleção dos *stakeholders* para as entrevistas obedeceu a critérios de destaque e contribuição efetiva no setor. A presença de empresas privadas de tratamento de resíduos no Brasil é organizada em duas grandes associações: a Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos (ABETRE), cujo papel principal é organizar o setor de tratamento de resíduos industriais; e a Associação Brasileira de Empresas Públicas e Resíduos Especiais (ABRELPE), cuja missão é voltada a organizar o setor que atende os municípios, por meio de contratos de prestação de serviços de coleta, varrição de ruas e disposição e tratamento dos resíduos urbanos. Além dessas, o Compromisso Empresarial pela Reciclagem (CEMPRE) atua, do ponto de vista conceitual e educacional, na redução do lixo. É uma organização sustentada por grandes empresas que atuam no Brasil, várias delas multinacionais.

A TSL Ambiental é uma empresa inovadora no tratamento de resíduos sólidos, sendo a operadora da planta de plasma da Tetrapak em Piracicaba. Do ponto de vista regulador e fiscalizador, a atuação no Estado de São Paulo é de responsabilidade da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), ligada à Secretaria de Estado do Meio Ambiente. E finalmente participou da discussão uma professora da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, especializada em tratamento de resíduos.

5.8.1 ABETRE

A ABETRE tem foco em resíduos industriais, mas se interessa em avaliar a maturidade das tecnologias em geral, pois considera que os processos podem ser comuns para os resíduos urbanos ou industriais. Não tem trabalho específico junto às prefeituras, mas seus associados atuam também no âmbito municipal, pois afirma que aí está o grande volume de resíduo a ser processado no Brasil. Alguns de seus associados adotam a tecnologia de co-incineração para destruição dos resíduos, particularmente os tóxicos, no processo de fabricação de cimento.

A ABETRE tem por missão representar o setor empresarial da área de resíduos, defender seus interesses e promover sua integração com órgãos governamentais e entidades representativas da indústria e da sociedade. Desenvolve suas atividades visando os seguintes objetivos:

- Contribuir para o desenvolvimento sustentável, por meio do aprimoramento da gestão de resíduos e da eliminação de seus impactos ambientais;
- Contribuir para o aperfeiçoamento da regulamentação das atividades do setor, elaborando propostas e sugestões, e participando dos principais foros de discussão;
- Promover o prestígio e o reconhecimento do setor, de suas atividades e de seus profissionais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS, 2007).

A ABETRE considera que há uma aparente concentração do setor, com poucas unidades receptoras, decorrente do tamanho do mercado brasileiro e da necessidade de escala para a correta operação dessas unidades. Apontam que, por referências internacionais, o setor deve atuar de maneira mais concentrada, com poucas unidades e grande capacidade de processamento, para reduzir o risco ambiental e melhorar a qualidade do processo. Considera ainda que a distribuição geográfica de seus representados é coerente com a presença física do parque industrial brasileiro.

5.8.2 ABRELPE

A ABRELPE é uma entidade de âmbito nacional, sem fim lucrativo, fundada em 23 de setembro de 1976, numa fase de fortalecimento da terceirização da área de resíduos sólidos urbanos, que conta hoje com mais de 40 empresas associadas. A ABRELPE reuniu, num primeiro instante, os pioneiros da atividade e hoje congrega empresas técnicas e juridicamente habilitadas e registradas no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CREA), para a execução de serviços de limpeza urbana e de destinação final de resíduos sólidos, em qualquer de suas modalidades. Sua missão é representar os interesses das empresas associadas, promovendo o desenvolvimento técnico-operacional sustentável do setor, dentro dos princípios de preservação do meio ambiente.

Antes restrita apenas ao cenário da limpeza pública, em 1998 aumentou sua representatividade. Dessa forma, ampliou sua área de atuação e passou a atender também os segmentos de resíduos industriais e especiais. Representa o setor junto aos órgãos de governo e sociedade, mantendo estreito relacionamento com outras associações técnicas e

empresariais, universidades e entidades de pesquisa. No contexto internacional, a ABRELPE é a representante da International Solid Waste Association (ISWA) no Brasil. (INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION, 2007).

A ABELPRE que tem por missão disseminar propostas de tratamento de resíduos age institucionalmente em favor dos seus associados, sem revelar uma preferência por tecnologias. Ressalta que o principal problema a ser combatido é o do aterro não controlado, a céu aberto, e considera a instalação de aterros sanitários a alternativa mais viável para o mercado brasileiro, pois apresentaria a melhor relação custo/benefício.

5.8.3 CEMPRE

O Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE) é uma associação sem fim lucrativo dedicada à promoção da reciclagem dentro do conceito de gerenciamento integrado do lixo. Fundado em 1992, o CEMPRE é mantido por empresas privadas de diversos setores. Trabalha para conscientizar a sociedade sobre a importância da redução, reutilização e reciclagem de lixo por meio de publicações, pesquisas técnicas, seminários e bancos de dados. Os programas de conscientização são dirigidos principalmente para formadores de opinião, tais como prefeitos, diretores de empresas, acadêmicos e organizações não-governamentais - ONGs (COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM, 2007).

Entre seus patrocinadores, o CEMPRE tem empresas internacionais interessadas nos processos de reciclagem, como Nestlé, Wal-Mart, Tetrapak, e indústrias nacionais como a Natura. Apóia a formação de cooperativas de catadores e a formalização desse setor da economia, com ações para integrar seus objetivos junto a prefeituras, indústrias e catadores, por meio de palestras, treinamentos, folhetos, livros, etc.

5.8.4 TSL Ambiental

A TSL Ambiental iniciou suas atividades, em 1984, atuando nas áreas de manutenção complementar. Em 1991 passou a operar em plataformas de petróleo. Em 1997 incorporou a área de preservação ambiental, por meio de *jointventure* com empresas americanas, e passou a desenvolver tecnologias próprias.

A TSL tem como visão:

- Ser referência na área de tratamento de resíduos;
- Liderança nacional de mercado no tratamento de resíduos perigosos;
- Empresa com atuação global.

E tem como missão:

- Colocar à disposição dos clientes as alternativas mais adequadas às suas necessidades;
- Utilizar as tecnologias mais avançadas existentes no mercado;
- Buscar excelência em todas as áreas de atuação;
- Compromisso total e irrestrito com a preservação ambiental (TSL AMBIENTAL, 2007).

É uma empresa que busca soluções inovadoras para o tratamento de resíduos. Opera uma planta de plasma térmico para tratamento de embalagens da Tetrapak em Piracicaba, para separar papel, alumínio e parafina, e está exportando essa tecnologia para a Espanha. Está montando uma segunda unidade no nordeste brasileiro para tratamento de resíduos do processo produtivo da Petrobras, e tem parceria internacional com a Holanda, para trazer outras soluções tecnológicas para o Brasil, como o tratamento microbiológico.

5.8.5 CETESB

A CETESB tem como missão "promover a melhoria e garantir a qualidade do Meio Ambiente no Estado de São Paulo, visando ao desenvolvimento social e econômico sustentável" (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2007b).

A atuação da CETESB dá-se a partir dos seguintes objetivos:

- viabilizar o atendimento dos padrões de qualidade ambiental no Estado, em conformidade com a legislação vigente;
- organizar e colocar à disposição da sociedade os dados e informações sobre a qualidade ambiental e as fontes de poluição no Estado;
- desenvolver indicadores e monitorar o desempenho nas diversas áreas de interesse ambiental;

- estabelecer e desenvolver parcerias e convênios de cooperação técnica, científica e financeira com entidades públicas e privadas, nacionais e internacionais, para atualização do conhecimento científico e tecnológico (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2007b).

O especialista ambiental, com perfil de auditor e amplo conhecedor de normas para sistemas de tratamento de RSU, com 22 anos de experiência na área, não falou oficialmente pela sua empresa, a CETESB, portanto não terá seu nome declarado. No entanto, sabe como ninguém avaliar as conseqüências das tecnologias sobre o meio ambiente e a saúde humana.

5.8.6 Faculdade de Saúde Pública

A Faculdade de Saúde Pública da USP tem um Programa de Saúde Ambiental que inclui o estudo sobre os resíduos sólidos urbanos, sendo a principal referência acadêmica no estado de São Paulo sobre este assunto. Possui um Departamento de Saúde Ambiental que estuda as tecnologias de tratamento de resíduos e que tem por missão:

Produzir e disseminar conhecimentos, formar pessoas em Saúde Ambiental, por meio de ensino, pesquisa e extensão, contribuindo para a melhoria das condições ambientais, visando a promoção da saúde pública e a qualidade no trabalho e de vida (FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA, 2007).

Os seus valores são: excelência, visão transformadora, interdisciplinaridade, intersetorialidade/interinstitucionalidade, participação, consciência ambiental e inovação.

5.9 Cuidados na Aplicação do Método Proposto

O método multiatributo implementado por VFT não é recente e tem um histórico de suas aplicações. Pesquisada a literatura, observou-se que o método vem sendo aplicado por decisores cientes do seu próprio senso de valor ou com opinião formada a respeito dos valores intrínsecos à solução. Normalmente esse decisor é o demandante do processo de decisão, quer seja por visualizar um problema (e não ter todos os elementos claros para a

decisão e busca um meio de elucidá-los), quer seja por estar pressionado pelos *stakeholders* (busca uma solução de compromisso), agindo no papel de estadista.

Mesmo quando este decisor aplica a técnica com abrangência, numa consulta ampla à população para traçar uma política ou determinar um campo de ação, ele tem claro todas as implicações das preferências postas. O diferencial desta tese é que o método está sendo aplicado em condições distintas, em que o pretense decisor ainda não se deu conta da possibilidade de haver um método estruturado para isso, e o senso de valor é obtido de especialistas renomados e não de *stakeholders* próximos a ele. A principal contribuição, portanto, está na possibilidade de se obter de forma expedita uma referência para a decisão, baseada nos principais formadores de opinião sobre o assunto, capaz de provocar *insights* para que a melhor decisão.

No caso aqui tratado, a demanda por planos de tratamento de RSU, bem como por conseqüentes decisões, vem de um problema real acompanhado de uma imposição legal, a recentemente votada lei de saneamento, após anos de debate no Congresso Nacional. A Lei, no entanto, delinea de maneira genérica o conteúdo desse plano, sem oferecer uma metodologia para a sua consecução. Do ponto de vista prático, esta é a proposição desta tese. A resolução da questão, no entanto, traz do ponto de vista acadêmico, a oportunidade de se sublimar o processo de caráter prático e de adequá-lo a questões mais gerais, que são tratadas por técnicas de *system analysis*, oferecendo um modelo para delinear políticas públicas.

As dificuldades para se construir este modelo não foram poucas. As primeiras tentativas de validação dos questionários aplicados se depararam com a visão fragmentada das pessoas sobre o tema, que não conseguiram reconhecer a questão do valor embutida em cada questionamento. Isto fez aumentar a responsabilidade, pois os *stakeholders* precisavam ter, além de seus princípios bem definidos, uma visão completa do problema.

Fez-se um pré-teste do questionário de captação de valor com três pesquisadores, o primeiro um engenheiro – pesquisador doutor em processos ambientalmente corretos de geração de energia; o segundo um geólogo – pesquisador doutor em tecnologias de remediação ambiental, e a terceira uma socióloga – pesquisadora em processos de coletas seletivas e inclusão social. Os três pesquisadores não tinham opinião formada sobre as dez variáveis, e não preencheram o questionário até o seu final.

O questionário foi então refeito a partir dessas contribuições, ressaltando a ótica do gestor público, e foi necessário um esforço adicional para se encontrar as pessoas que possuíam um conjunto de valores, preferencialmente contraditórios uns aos outros, que pudesse ser expresso, ao responderem principalmente o questionário fechado, para que fosse possível, na seqüência, um tratamento matemático adequado.

A aplicação do questionário aos *stakeholders* partiu de duas premissas:

- Colocá-los como o centro do processo em desenvolvimento, e a correta coleta de suas opiniões era condição determinante para a eficácia do método proposto;
- Como conseqüência da primeira premissa, era fundamental a compreensão dos *trade-offs* envolvidos. Na captura de suas escolhas, expressão de seus modelos mentais, seria construído um modelo de referência para a gestão pública.

Tendo em vista essas premissas, os seguintes cuidados foram tomados na aplicação do questionário:

- Comentar sobre os propósitos gerais da pesquisa, e solicitar aos respondentes a que se esforçassem para se colocar na posição de gestores públicos, porém sem desistir de seus valores pessoais que deveriam ser captados. Inicialmente houve um processo de socialização, de maneira que seus valores pudessem ser explicitados, consolidando idéias para o preenchimento posterior do questionário fechado;
- Oferecer de início aos respondentes o quadro geral de comportamento das variáveis, para que eles pudessem mentalmente efetuar uma classificação prévia, estudar os *trade-offs* que consideravam mais importantes e, finalmente, iniciar suas declarações de valor;
- Os procedimentos possibilitaram uma atitude reflexiva dos respondentes, dois quais três deles pediram alguns minutos para sedimentar esse processo. Eles sabiam que estariam defendendo um ponto de vista, que numa situação futura poderia servir de parâmetro de decisão aos inúmeros gestores públicos.

6 PESQUISA DE CAMPO

Neste capítulo são apresentados os resultados da pesquisa de campo, de caráter qualitativo, obtidos por meio de entrevistas semi-estruturadas realizadas com pessoas – e entidades representativas – formadoras de opinião, *stakeholders* envolvidos no processo de tomada de decisão sobre os resíduos sólidos urbanos. As entrevistas foram realizadas entre janeiro de 2007 e abril de 2007, individualmente, nos escritórios dos entrevistados, na medida em que havia disponibilidade de agenda desses respondentes.

A amostra intencional é composta de seis membros distribuídos por um representante de cada associação setorial – ABELPRE e ABETRE, um representante do CEMPRE, um representante da TSL Ambiental, um especialista em auditoria e validação de requisitos ambientais em plantas de tratamento de RSU, e de uma professora da Faculdade de Saúde Pública da USP. Com essa amostra pretendeu-se cobrir o espectro de pensamentos que permeia o assunto do tratamento de resíduos sólidos no Brasil.

6.1 Aterros Sanitários

A ABRELPE considera que tanto os aterros sanitários, os incineradores quanto as tochas de plasma são soluções igualmente adequadas para o tratamento de resíduos urbanos, uma vez que as normas ambientais controlam a emissão de efluentes e gases, o que resulta em um desempenho ambiental final seja satisfatório, independente da solução a ser adotada pelo município. Considera ainda o custo de aterro sanitário muito menor que o custo de soluções alternativas, portanto o aponta como a solução atualmente mais viável para as prefeituras. Pondera que o grande avanço a ser dado no Brasil é sair do estágio atual dos “lixões” para implantar os aterros sanitários, ou seja, levar ao prefeito informações de como fazer um aterro bem-feito, ao invés de uma vala mal-operada num canto de uma fazenda pouco produtiva. Pontua que não há nada mais barato do que o aterro para o Estado de São Paulo, no entanto, para Ilha Bela, para a região do Vale do Ribeira, e para o município de São Caetano do Sul, onde não há área disponível, outra tecnologia, que ocupe menor área, pode se revelar mais adequada.

As empresas associadas da ABETRE atuam principalmente com aterros de classe especial, co-processamento e incineração. Os aterros ainda tratam o maior volume do resíduo industrial, seguido do co-processamento, em que se aproveitam os fornos de alta temperatura – clínquer – das cimenteiras. As cinzas resultantes são dispostas em aterros de classe especial, portanto a incineração, mesmo reduzindo o volume de disposição, não dispensa ocupação de área de aterro.

O CEMPRE considera que, no caso do Brasil, em termos de sistemas de aterro, há diferenças significativas com a realidade da Alemanha, onde há uma regulamentação mais restritiva e os resíduos têm maior parcela sólida, em virtude do maior processo de industrialização; e conseqüentemente, não têm o mesmo volume orgânico, gerador de chorume, porque há um tratamento mecânico biológico que ajuda na inertização da matéria. Acredita que, no Brasil, há evoluções tecnológicas a serem feitas, mas que já temos bons aterros como o ESTRE em Paulínia; o Bandeirantes, em São Paulo; o Caieiras na Grande São Paulo; e o de Ceará Mirim próximo a Natal, que atende a um consórcio regional de municípios. Temos ainda muito para melhorar no Brasil onde a maioria dos municípios ainda tem lixões. O consórcio de municípios é uma idéia interessante, porém escolher quem vai receber o aterro, em virtude do dano ambiental provocado é um desafio. Deveria ter uma compensação para o município que venha a sediar o aterro, “ou não pagar pela disposição ou receber algum royalty”. Resumindo, afirma que no setor de aterros temos um avanço muito lento em relação à situação ideal.

A TSL tem uma postura crítica em relação aos aterros, mesmo os sanitários, pela questão ambiental, visto que a tecnologia empregada por melhor que seja sempre apresenta o risco de vazamento do chorume e comprometendo os lençóis freáticos e os aquíferos. Os dados do mercado americano afirmam que sempre há a possibilidade de pontos de vazamento de cerca de um pé quadrado. Em havendo esse risco a TSL Ambiental considera que a área degradada é inutilizada para uso das gerações futuras, o que pode não ser um problema ainda nos EUA, por razão da imensidão do deserto, considerado atualmente improdutivo, mas pode existir no Japão e na Europa. Diferentemente da Europa, onde há maciços subsídios dos países para os setores protegidos, como é a questão ambiental, no Brasil não há esse apoio, dificultando a adoção por parte das prefeituras de soluções mais efetivas, e acabam optando pela solução mais barata, que é o aterro, embora possa levar ao problema ambiental.

O especialista em normas ambientais considera que o grande problema do aterro é a emissão de gases, além da pressão pela redução de áreas de disposição, principalmente nas grandes cidades.

A professora, da Faculdade de Saúde Pública da USP, ressalta que os aterros estão sujeitos a problemas como o rompimento da manta impermeabilizante. Lembra que não se pode corrigir esse problema, por exemplo, no aterro São João, em São Paulo, por razão do aterro ter uma altura superior a cem metros. Isso torna impossível fazer o reparo, o que inevitavelmente causa lixiviação. Há também o odor que causa impacto na vizinhança, para quem mora na direção dos ventos. Mesmo com os atuais tratamentos, o odor ainda está presente. Atualmente os gases dos aterros são recuperáveis, mas se não forem recuperados, e sim queimados, o resultado é parcial. Lembra que ainda não há no Brasil um estudo definitivo do impacto desse gás para quem mora no entorno dos aterros, bem como no entorno dos incineradores. Não se sabe corretamente qual é o impacto, mas há com certeza um impacto que deve ser avaliado. No Brasil ainda estamos passando do estágio do lixão para o aterro, mas não se pode ignorar que há emissão. A queima pode estar sendo incompleta, prejudicando a saúde da população, e uma cidade que quer a eco-eficiência, deve tratar o gás do aterro também.

6.2 Sistemas de Incineração

A ABRELPE acredita que os sistemas de incineração são igualmente eficazes às demais soluções, ressaltando que se trata, no entanto, de um investimento injustificado para tratamento de RSU. Diz que uma prefeitura que na prática, se preocupa mais com questões de saúde e educação, tem dificuldade em investir altos valores na solução de um único problema, embora importante, como o do lixo. Considera que os incineradores podem se justificar na Europa onde, desde as duas guerras mundiais do século passado, o solo está contaminado e a área para disposição é menor em relação ao Brasil ou os EUA. Além disso, os países da Europa, como França e Alemanha, investem pesadamente nestas soluções. Há uma ação organizada de estado para se reduzir os aterros, diferentemente do Brasil. Sem esse apoio de estado, a proposta de incineradores é economicamente inviável.

A ABETRE considera que o custo de incineração pode chegar a R\$ 2 mil/t dependendo da composição e da periculosidade do resíduo. Em alguns casos não se pode fazer o co-processamento, por exemplo, no caso dos resíduos clorados, porque são nocivos ao cimento, e

apenas a presença de 1% de cloro já impediria o co-processamento. As cinzas resultantes vão para os aterros de classe I se perigosas; ou de classe II, se inertizadas. Considera ainda há a necessidade do tratamento dos efluentes, uma torta com conteúdo de metais pesados, que também vão para o aterro. Ressalta que, com o uso de qualquer das tecnologias, se consegue controlar o lado perigoso do resíduo, mas afirma que no caso dos incineradores industriais no Brasil a capacidade de processamento existente é muito menor do que na Europa, em média dez vezes menor. Expõe que na França uma única unidade processa 200 mil t/ano de resíduos, na Bélgica 1 milhão de t/ano.

As tecnologias de incineração têm custos elevados, sendo o primeiro fator impeditivo de crescimento desse processo no Brasil. Além disso, afirma existir reações contra incineração. Se a indústria pode chamar um caminhoneiro que leva o resíduo para 500 km à frente, ao invés de pagar 2 mil reais/t para processar corretamente, não há dúvida nenhuma do que fazer. Quem manda seu resíduo para incinerar revela uma consciência ambiental diferenciada. Muitos municípios não têm legislação ambiental própria e recebem os resíduos indiscriminadamente, sem noção da gravidade do problema.

O CEMPRE tem uma visão que a incineração deve ser parte da gestão integrada à geração de energia. Comenta que infelizmente não se tem no Brasil uma planta do tipo *waste-to-energy* (WTE) para resíduo urbano. Tem-se a incineração industrial com consumo de energia, visando inertizar o resíduo, sem a visão de integração. O CEMPRE conhece o conceito de WTE, uma vez que já foi oferecido à prefeitura de São Paulo, mas considera que não há a tecnologia para uso imediato. Também conhece o projeto Usina Verde da UFRJ, mas em sua opinião há a necessidade de uma avaliação de engenharia bem detalhada.

A TSL Ambiental considera que o sistema de tratamento a ser escolhido depende da quantidade e qualidade do resíduo a ser tratado e dos processos a serem empregados. A incineração da forma antiga seria inaceitável nos dias atuais, mas já existem sistemas de incineração de boa eficiência. Considera o tratamento da quantidade e variedade de gases resultantes um problema que exige um alto investimento. A parte sólida resultante principalmente na forma de cinzas também pede tratamento adicional para a sua inertização. Não vê como um problema a necessidade de se queimar combustíveis fósseis, óleo diesel ou gás liquefeito de petróleo (GLP), para aumentar o poder calorífico e viabilizar a queima do resíduo, quando este tem baixo poder calorífico. Considera que mesmo a tecnologia do

plasma térmico, se o resíduo tiver baixo poder calorífico, necessitará de complemento energético, consumindo mais eletricidade. Vê como vantagem da planta de incineração a possibilidade de estar localizada em qualquer ponto geográfico, sem necessidade de estar ligada à rede elétrica (se não tiver a pretensão de entregar energia elétrica à rede).

A TSL Ambiental considera difícil no incinerador o tratamento de gases, em virtude de sua quantidade e variedade. Quanto à diversidade do resíduo na entrada, com presença de metais pesados, também considera que não há diferença em relação às outras tecnologias. Entende que o incinerador não é tecnologia de má qualidade quando se quer gerar energia. A incineração pode resultar em de 1% a 10% de cinzas, que podem ser posteriormente tratadas pelo plasma. Aponta que a empresa Europlasma, instalada na França, faz uso desse recurso muito bem, com uma planta em operação desde 1994. Cita que há uma segunda planta em construção para tratar as cinzas do incinerador de Bordeaux e vizinhança. Considera que a combinação de processos de plasma térmico com o incinerador pode ser vantajosa, dependendo do que se pretende, uma vez que oferece bastante energia. Se não houver essa preocupação, o incinerador pode estar isolado, enquanto que a planta de plasma tem que estar conectada à rede elétrica. O incinerador pode ser colocado no meio de uma cimenteira, se houver contaminação da área o dano será localizado. Aponta que já existe uma unidade de incineração no norte da Itália, na divisa com a Suíça, com capacidade de processamento de 700 t/d, que faz vitrificação da cinza do incinerador. Não considera a tecnologia de incineração da UFRJ totalmente nova, pois a alta temperatura (1500°) permite a vitrificação.

Considera ainda que nos incineradores podem ocorrer emissões de muitos gases não-combustíveis, que não geram energia, e que necessitam de tratamento, pois ainda carregam partículas que precisam ser removidas. A Petrobras, no tratamento da borra de petróleo, já está vitrificando a parcela inorgânica após a incineração, para facilitar a retirada dessas partículas. Porém ressalta que tratar gases do incinerador em área urbana é complicado, diferentemente da parte sólida que não teria problema.

O especialista em regulação ambiental ressalta que há diferenças significativas em se incinerar resíduo sólido urbano no Brasil e na Europa. A principal diferença está no nível de umidade do resíduo, muito mais baixo na Europa, onde a incineração é praticada em larga escala. Em sendo o resíduo brasileiro muito mais úmido, a sua incineração requer mais combustível, em virtude do menor poder calorífico, dificultando a implantação da tecnologia

no Brasil, pois o consumo de mais combustível é na forma de diesel ou GLP, ambos de origem fóssil. Tem a percepção que uma tonelada de RSU incinerada no Brasil atualmente deve sair por mais de R\$ 300, pelo baixo poder calorífico, associado ao investimento necessário, para o processamento de gases, e pelo controle ambiental imposto pelas normas brasileiras.

A professora, falando da questão da saúde pública, ressalta que não se pode aceitar nos dias de hoje uma tecnologia superada, que não atenda aos requisitos mínimos de saúde pública, condenando os antigos sistemas de incineração. As soluções exigem atualmente controle ambiental estrito, que atendam no Estado de São Paulo as regras impostas pela CETESB. Ressalta que a necessidade do tratamento do gás é tão importante, que já não o separa mais do sistema de incineração. Afirma que em seus orçamentos, o valor é composto de duas parcelas, uma referente ao custo da câmara de queima do incinerador e outra referente à câmara de limpeza do gás. No seu entender, essas câmaras são inseparáveis, e o valor da câmara de limpeza de gás pode ser igual ou superior ao da câmara de queima. Os impactos dos incineradores são, portanto, de emissão de gases e também de geração de escória do forno, que pode ser reaproveitada na indústria, lembrando que pode haver presença de metais pesados. Parte destes metais volatiliza, mas parte fica presente nas cinzas, gerando resíduo de classe I que necessitará de tratamento. Quando se trata de saúde pública, deve-se pensar em quais são os efeitos à saúde. Considera que, no caso da incineração, mesmo que se implante a melhor tecnologia disponível, há risco ambiental. Por exemplo, no caso de furar um filtro de manga, ou de faltar energia num precipitador, pode ocorrer uma emissão nociva, prejudicando o entorno. Lembra que, mesmo com os sistemas de prevenção bastante avançados e intertravados pelos computadores no caso de acidente, essa preocupação em caso de falha deve estar presente no projeto dos sistemas. No caso de o sistema parar, o que estiver queimando na câmara, ainda continuará por algum período, e possibilitará a emissão nociva.

6.3 Processamento a Plasma Térmico

Em relação à tecnologia de plasma térmico a TSL Ambiental afirma que tudo depende do que se pretende do processo. Como os gases emitidos são mais uniformes, o chamado gás de síntese exige menos processo de limpeza e de preparação para gerar energia elétrica de que a incineração, tornando-se um sistema mais barato no custo final. Como desvantagem do plasma térmico vê que sempre haverá a necessidade de se estar ligado à rede elétrica, quer

seja para receber quer seja para entregar energia, a depender do balanço energético do sistema. Ao se desprezar a variável de custo, não vê grandes diferenças entre os dois sistemas, pois considera que os resultados finais são os mesmos. Talvez com mais trabalho no processo de incineração do que no de plasma, por isso a incineração já seria hoje mais cara que o plasma térmico.

A TSL Ambiental critica o recente anúncio da instalação de um sistema de plasma térmico na Flórida por afirmar não há emissão de gases. Alerta que a Environmental Protection Agency (EPA) já está criticando esse anúncio. A quantidade emitida é mais uniforme e menor, portanto o sistema é mais eficaz. Porém, ambientalmente, considera que não é possível dizer que o plasma é superior, por si só, pois quando há eficácia no tratamento dos gases resultantes da incineração, os sistemas acabam por se equivaler.

A ABELPRE considera que os resultados obtidos com o tratamento por plasma térmico, por incineração ou por aterro sanitário são igualmente satisfatórios. Afirma que o maior problema é quando nenhuma dessas soluções é adotada. Não vê uma vantagem aparente no uso do plasma nem mesmo quando se trata de resíduo contaminado, pois considera que a camada de argila depositada nas células dos aterros já promove o isolamento adequado, impedindo qualquer tipo de contaminação ambiental por vazamento.

O CEMPRE tem a percepção que o plasma está ainda distante do Brasil. Tem conhecimento das experiências de Piracicaba e do projeto para a Petrobras, mas não conhece a experiência da Ecochamas, em Resende (RJ), para resíduo industrial. Considera que, pelo fato de se ter duas plantas em operação, no Brasil, o início já foi dado. O processo deve se desenvolver. Comenta que, no caso de Piracicaba, pelo fato de a planta estar funcionando, o valor da embalagem recolhida pelos catadores aumentou significativamente, o que era lixo virou insumo, beneficiando a todos.

A ABETRE considera que, por se ter apenas duas unidades de tratamento por plasma no Brasil (Tetrapak e Ecochamas), ainda não se têm dados suficientes para avaliar a maturidade do negócio ou da tecnologia. Considera que a equação econômica do aterro é diferente da do incinerador ou do plasma térmico, pois o aterro pode receber quantidades variadas de resíduos sem problemas, enquanto as demais soluções requerem um estoque contínuo de resíduo para manterem-se operacionais.

O especialista em normas de regulação ambiental, com atuação no Estado de São Paulo, não apresentou opinião formada sobre as tecnologias de plasma térmico, visto que não existem ainda plantas operacionais destinadas a esse tipo de tratamento em sua área geográfica de atuação.

6.4 Coleta de Gases de Aterros

A ABRELPE considera que a solução de gerar energia a partir do gás de aterro não é atualmente econômica. Afirmar que no futuro poderá ser econômico, mas hoje ainda não há equilíbrio econômico-financeiro, o que dificulta a adoção em larga escala do sistema. Acredita que o MDL é hoje uma ferramenta importante para equilibrar essa equação. As empresas não agüentariam o fluxo de caixa com longa exposição, sem a participação das receitas provenientes dos créditos de carbono. Considera a taxa de risco do empreendimento é alta e pode comprometer a viabilidade do projeto em função das incertezas quanto ao fluxo de caixa. Um grande investimento feito no presente, com retorno calculado a longo prazo, acaba por exigir uma alta taxa de risco. Se o futuro for exatamente como se prevê, pode ficar viável, mas pode haver intempéries, mudança de governo, fim do prazo de validade do Protocolo de Kyoto. Questiona ainda como considerar o retorno entre 2012 e 2020, no fluxo de caixa, com a incerteza sobre a continuidade do Protocolo de Kyoto, após o primeiro período de compromisso. Afirmar que quem vende o motorgerador vai dizer que a solução é fantástica, mas na hora em que são postos todos os custos, o retorno pode ficar inviável. A energia elétrica muito barata no Brasil é um dos problemas para viabilizar essas soluções, e a receita complementar pode ser de pouca ajuda. Cita a indústria do alumínio no Brasil em que cerca de 70% do custo é despendido com energia, afirmando que exportamos energia elétrica barata, e não alumínio processado.

A ABETRE concorda que capturar gás e transformar em energia custa caro. Só a receita não viabiliza a solução, e os créditos de carbono (CC) contribuem atualmente para resolver essa equação. Os CC são calibrados para prover este diferencial. Hoje todos param para pensar na situação de seu próprio aterro. É um fator de indução importante. Recomenda que se desenvolvam outras soluções de estímulo que ajudem a alterar o padrão.

A TSL Ambiental considera a tecnologia de coleta de gases em aterro bastante estável e evoluída, e uma importante ferramenta para minimizar o problema ambiental.

O especialista em regulação ambiental revelou preocupação com a emissão de gases de aterro, e considera importante o uso de tecnologias para minimizar o problema. Considera que essa solução ainda não é usada adequadamente no Estado de São Paulo, havendo boas oportunidades para implantá-la.

6.5 Reciclagem, Coleta Seletiva e Separação

O CEMPRE, quanto à questão da reciclagem, cita que se têm bons modelos na Itália, na Alemanha, na Finlândia, mas que no Brasil é diferente, pois a infra-estrutura é muito mais cara, em função das nossas dimensões territoriais. Dentre as principais diferenças, ressalta:

- as dimensões do país e custos de logística;
- o envolvimento/participação da população;
- a capacidade da população de absorver custos.

Continuando afirma que a Alemanha pode gastar 4 bilhões de euros por ano num programa de coleta seletiva de embalagens. No Brasil a atual carga tributária impede que se imponha mais custo à sociedade. São situações diferentes no Brasil, Europa, China e EUA. Ressalta que o modelo brasileiro de reciclagem já decolou, e que se tem que trabalhar agora o volume. Acredita na parceria entre prefeitura e cooperativa de catadores. O catador tem sido inserido socialmente, por esse modelo. Em Salto, onde o IPT tem participação, essa parceria funciona muito bem. A prefeitura busca parcerias como o setor empresarial, investe em máquinas e equipamentos, auxilia na compra de material, promove a venda direta para indústria de plástico e ajuda na organização. Considera que a atividade dos catadores já deixou de ser uma atividade marginal.

O CEMPRE apresenta alguns dados sobre coleta, reciclagem e volume no Brasil, referentes ao ano de 2005:

- 5,8 milhões de toneladas de lixo urbano no ano coletados;
- 11% em média desse volume é reciclado no Brasil, fora o que é exportado;
- 80% desse volume é recolhido pelo catador.

Considera que outros números são imprecisos, pois o lixo que é coletado na cidade, nem sempre é reciclado nela. Lembra que os números que se divulgam em torno de 2% de efetividade da coleta em São Paulo e Curitiba seriam os números referentes aos materiais desviados do aterro, sem considerar os catadores informais que se antecipam e fazem a coleta preventivamente à chegada da coleta oficial. O que é coletado em São Paulo pode ser reciclado em Mauá, São Paulo é gerador, mas não reciclador de resíduos. Tem empresa de Santa Catarina que importa embalagem PET do Maranhão. Pode-se afirmar que o programa da prefeitura de SP coleta 2%, mas não se pode dizer que este é o índice de efetividade da reciclagem do município.

A ABRELPE considera a coleta única, sem coleta seletiva, a solução mais barata a ser praticada pelas prefeituras. Quando se faz coleta seletiva, ou pré-seleção tentando tirar produtos para reciclar, já se está avançando. Ressalta que não se deve misturar o resíduo domiciliar com o industrial, em hipótese alguma. Se há essa mistura, é responsabilidade do gerador do resíduo, pois o resíduo de linha de produção é muito diferente do resíduo doméstico, logo requer tratamento diferente. Eventualmente pode haver a co-disposição, mas o sistema receptor deve estar corretamente preparado para isso.

A ABRELPE afirma que em Curitiba, onde a coleta seletiva é modelo, consegue-se de 1% a 2% de segregação. O sistema executado pela CAVO, empresa pertencente ao Grupo Camargo Corrêa, sua afiliada há doze anos, é eficiente, e o processo de urbanismo controla os carrinheiros e catadores, diferentemente de São Paulo (SP) ou Porto Alegre (RS), onde eles contribuem para o caos urbano. Considera o sistema único de coleta mais eficiente e possibilita promover um processo de segregação posterior, pois se recolhe o todo e posteriormente efetua-se a triagem, separando o reciclável do lixo comum. É um sistema caro, porém ainda mais barato que os potes coloridos de pré-separação. Afirma que em seguida deve-se separar o lixo perigoso doméstico como bateria, *spray*, pilhas, etc. E num outro momento, pode se trabalhar o lixo numa linha de compostagem.

A ABRELPE revela preocupação com os processos usuais de coleta seletiva. Cita Calderoni e avalia que a proposta de lixo zero é algo “romântico”, embora algumas cidades importantes no mundo proponham esse conceito. Acredita que no futuro será o cidadão tornar-se-á o responsável por seu lixo, o que já acontece em algumas cidades dos EUA, onde se escolhe a frequência de coleta e a quantidade que será recolhida, pagando por isso de maneira

individualizada. Não vê bons resultados na coleta seletiva genérica como se pratica no Brasil. Acaba por sair caro para o município e com resultado questionável. Não é contra essa prática, mas a considera não economicamente eficiente. Elogia um sistema adotado na Itália onde há receptáculos públicos para garrafas gerenciados pelo próprio interessado/reciclador, que promove a coleta e vai buscar diretamente o seu insumo.

A ABETRE não tem a reciclagem como foco, embora reconheça que é uma atividade importante no setor. Recicla-se para ganhar dinheiro ou promover a questão ambiental. Trata-se de redução de volume e não da periculosidade, pois não se recicla o que é contaminante, foco principal da ABETRE. Considera ser uma solução importante para alumínio, papel e papelão. Afirma que desde que se trabalha o ferro se faz reciclagem, portanto não é nenhuma novidade, é uma questão operacional, mas não concorda em eternizar os catadores. Questiona quem deve pagar para coletar, se a prefeitura, a indústria beneficiada ou o consumidor. Conclui dizendo que tem que se deve negociar esse pagamento. É uma negociação política, uma vez que a indústria acaba por ganhar à custa da miséria do catador, que apenas subsiste. Considera que pode ser uma etapa intermediária para atenuar a miséria, mas não pode ser política pública ou o objetivo de um país.

A TSL Ambiental considera a coleta seletiva insipiente nos municípios e os custos de separação, para gerar RDF, por exemplo, elevados. A planta que opera em Piracicaba, para tratar as embalagens da Tetrapak, tem um processo amplo de separação para se obter um insumo de qualidade. O material que chega à planta é separado e limpo várias vezes antes do processamento. A coleta é cara, cerca de 50% do custo total do projeto, e a separação não é perfeita. No Brasil os processos de separação geram oportunidades de emprego de baixa renda para uma parcela da população despreparada. Considera que, após a coleta seletiva, o material usualmente enviado para a compostagem pode estar contaminado, portanto não recomenda a solução em larga escala. Em relação à geração de RDF, a TSL Ambiental ainda afirma que há a necessidade de se analisar o projeto, e que tudo depende do que se pretende fazer depois. Quanto maior a necessidade de separação, mais caro se torna o processo. Lembra também que há separação mecânica, que é muito inferior do que a humana. Na Europa combinam-se os dois processos, e ainda assim se usa separação porque resultado é positivo. O custo pode chegar a 1.000 euros por tonelada, para coleta/separação, e mesmo assim se pratica.

O especialista em regulação lembra que mesmo na Europa existem processos avançados para a separação da parte seca da parte úmida, em que o gerador do resíduo deve pagar pelo tratamento da parte úmida que requer complemento energético. Pela parte sólida não há tarifação, visto que advirão receitas, após o processo de reciclagem, pela venda de materiais. Após esse processo de separação, ou secagem, resultam 16% de umidade no lixo da Baviera estado da Alemanha, por exemplo, contra 60% a 70% do lixo médio brasileiro. Em relação à separação, opina que, se feita depois do recolhimento, pode se tornar muito cara. Técnicas de separação mecânica por peneiramento são aplicáveis, porém conseguem separar apenas 10% do resíduo disposto, bastante abaixo dos 30% possíveis. O processo começa com um fosso de recepção, seguido de uma correia transportadora, onde pontas afiadas rompem os plásticos e embalagens. Em seguida uma peneira rotativa faz a revolução obtendo-se latas, plásticos e vidros, que são desviados para reciclagem. Finalmente considera a coleta seletiva uma boa solução para pequenos municípios, abaixo de 100 mil habitantes, onde o envolvimento da comunidade pela preservação ambiental é maior e as comunidades de catadores são bem organizadas, o que não se dá nos grandes municípios. Isso pode ser complementado com a compostagem para a parte orgânica dos resíduos.

A professora considera os processos de separação fundamentais para ganhar eficiência com relação aos subprodutos que se queira gerar. Uma boa separação vai gerar uma cerâmica de melhor qualidade ao final do processo de tratamento a plasma, por exemplo. Ao se misturar tudo, o controle fica mais difícil e os custos de equipamentos maiores. Ao separar resíduo perigoso do não-perigoso, acaba por baratear o processo, pois se tem que despender menos recursos com sistemas de controle. Quanto à coleta seletiva, considera que a eficiência é difícil de ser obtida na prática, pois têm variáveis como a educação das pessoas, a conscientização e a mudança de hábitos. No nível teórico, considera esse processo como o futuro, no entanto, atualmente ainda difícil de se praticar.

6.6 Protocolo de Kyoto e os Créditos de Carbono

A ABRELPE acredita que a proposta de coletar gases e gerar energia nos aterros sanitários não é viável por si só. O investimento é alto e como representante do setor empresarial foca-se no retorno sobre o investimento. Neste sentido, a venda de créditos de carbono vem sendo um fator que tem ajudado a financiar esses sistemas de coleta e geração de energia do gás do lixo. No entanto revela preocupação com o que acontecerá pós-2012, quando findo o primeiro

prazo de validade do Protocolo de Kyoto. Como empresário considera que a incerteza é alta, o que pode inibir a adoção da solução em larga escala.

A ABRELPE relembra que poucos aterros no Brasil são adequados e considera os créditos de carbono um dos mecanismos inteligentes para estimular a consciência ambiental. Todos os operadores de aterros vêm procurando elevar seu patamar operacional para receber esses créditos. Se fosse criar um certificado de adequação ambiental ao município, até que isso tivesse um apelo real, despenderia muito esforço. Os créditos de carbono estimulam rapidamente a consciência ambiental, pois o assunto está presente na mídia. A Prefeitura que não tem créditos de carbono acaba por se sentir marginalizada, o que gera um efeito positivo. O projeto da Veja, sua afiliada, na Bahia, já tem créditos de carbono, e em Caieiras, da CAVO, são os créditos de carbono que dão a sustentação para a recuperação energética.

O CEMPRE considera que o comércio de carbono vem provocando uma modernização do setor. O primeiro projeto de obtenção de CC no Brasil foi implantado em Nova Iguaçu (RJ) e, mesmo com as oscilações do valor do CC, está ajudando a viabilizar a melhoria dos aterros. Os prefeitos tinham muita resistência em fazer investimentos, e os atuais incentivos vêm ajudando a quebrar essa resistência. A entrada de mais essa alternativa no conjunto da receita ajuda a melhorar a solução municipal. O aterro é um organismo vivo, e no Brasil o tempo de emissão de gases é muito maior que na Europa, em virtude da maior parcela orgânica do lixo. A curva de emissão reduz com o passar do tempo, mas no Brasil a redução é mais devagar do que a da Alemanha, por exemplo, em função de maior parcela orgânica. Por conseguinte coletar gases de aterro, gerar energia elétrica e ainda receber créditos de carbono é uma solução adequada para o tipo de resíduo municipal gerado no Brasil.

A TSL Ambiental já foi mais pessimista com relação ao Protocolo de Kyoto, no entanto considera que há avanços, mesmo demonstrando preocupação com o prazo de validade do Protocolo. Não vê ainda nenhuma ajuda explícita trazida pelo Protocolo de Kyoto ao seu setor no Brasil. Considera ter uma visão realista em relação ao Protocolo de Kyoto. A empresa tem processos que poderiam ter créditos de carbono, mas não conseguiu nada de prático. Teve contacto com uma empresa na Áustria, que embora tivesse se esforçado, no entanto, só tinha conseguido uma comercialização. Hoje em dia a opinião está mais generalizada que aquecimento é consequência das emissões. Tem também a questão da incerteza sobre 2012, data que vence o prazo do atual Protocolo. Uma das características da

Europa é o subsídio e os créditos de carbono entram na fórmula de viabilidade. A Europlasma, quando fundada em 1994, já tinha contrato com o governo. O assunto é levado a sério, e é uma forma do governo subsidiar.

O especialista ambiental atua principalmente nas normas do Estado de São Paulo para controlar emissões. Vê de forma positiva o fato do cumprimento dessas normas acarretarem créditos de carbono para os empreendedores, ajudando na implantação de soluções mais eficazes.

A professora considera que os créditos de carbono permitem a melhoria dos aterros, provoca um salto de qualidade, mas afirma que deve ter política pública clara para isso, com uma orientação por parte da CETESB em como tratar o gás emitido pelas diversas soluções.

6.7 Políticas Públicas e Financiamento

A ABRELPE afirma que preocupações ambientais e aquecimento global chegam ao mercado, de maneira que as empresas têm que dar resultado, senão morrem. Todos estão atentos ao fato, porém se a solução for economicamente desequilibrada pode comprometer a empresa. Quem consegue fazer isso é governo. Alemanha e França têm uma visão diferente por outro caldo de cultura e pano de fundo. Pouca área disponível, contaminação decorrente de duas guerras, uma situação bem diferente da encontrada hoje no Brasil.

A ABETRE considera relevante a proteção ambiental, independente da opção por uma ou outra forma de tratamento, uma vez que os resíduos são em grande parte nocivos. Quando se fala em reciclagem, têm grande apelo socioeconômico, no entanto nem sempre é adequado. O que deveria nortear a escolha seria a busca da eficácia ambiental, no entanto nem todos cumprem esse ideal. A grande questão da política pública seria assegurar o cumprimento desse procedimento por todos.

ABETRE considera que o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) já dá os princípios gerais do que pode ou não ser feito. As lacunas estão na implementação pelas empresas. Existem dúvidas quanto à importar pneus e baterias para reciclagem, mas em geral as regras estão claras. Considera existir três tipos de empresas:

- a) Negligentes – as empresas que não obedecem a legislação, despreocupadas das questões ambientais, trabalhistas, etc.;
- b) Cautelosas – as empresas que não descumprem a legislação, ao menos formalmente, há uma fachada legal;
- c) Responsáveis – as empresas que não só seguem a legislação, mas muitas vezes estão à frente dela.

Considera haver um problema de conduta. Quando se arrocha a legislação, o efeito é sobre quem já a cumpre; e acaba por excluir ainda mais quem não a cumpre. O negligente e o cauteloso acabam por ganhar uma vantagem competitiva, pois não assumem os custos que o outro, o responsável, com ou sem legislação, já assume.

Comenta um estudo da Consultoria McKinsey sobre a informalidade/ilegalidade das empresas no Brasil. Afirma já ter alertado ao CONAMA que estão apertando o lado errado. Auto-regulação e campanhas de informação poderiam surtir mais efeito do que instituição de mais normas restritivas. Deveria haver mais mecanismos de indução. Considera que na Europa o Estado está presente na iniciativa privada. O triângulo sociedade, Estado e iniciativa privada é mais bem integrado. Considera que no Brasil não há essa coesão, com certo distanciamento das ações da iniciativa privada em relação ao governo. Considera ainda o modelo americano menos integrado do que o modelo europeu, e o modelo brasileiro muito menos integrado. Lembra que o Japão começou a resolver o problema de desmatamento ainda em 1800, e que no caso da emissão atmosférica a emissão de hoje não aparece de imediato, enquanto o resíduo fica exposto. Jogou, fica no lugar para sempre, o resíduo é mais evidente. Considera então que a missão é universalizar as práticas adequadas. Utilizar melhor os instrumentos econômicos que mudam os caminhos competitivos. Sem mexer no cenário, é difícil mudar a decisão do comprador, que vai contratar a solução mais barata, e não a mais adequada.

A ABETRE comenta o estudo da PriceWaterhouse Coopers (2006) que aponta que ações de comando/controle que já não funcionam mais. Deve se repetir o movimento que já aconteceu na área de segurança do trabalho e na área da qualidade. A discussão se qualidade custa mais caro ou não já foi superada. Os grandes investidores institucionais já têm essa preocupação. Isso tem que penetrar na cadeia. As indústrias automobilísticas e químicas têm isso claro. Têm certificações. Algumas cadeias têm uma situação privilegiada em que o poder de negociação impõe regras. Aponta o exemplo das granjas de porcos que desenvolveram um

programa de incineração de dejetos sob pressão dos grandes compradores/frigoríficos, como a Sadia. O problema não é tecnológico, econômico ou social, e sim de conduta. Têm que alinhar os negócios sob a perspectiva de uma conduta. Esse é o grande desafio. As tecnologias são várias, mas a questão é estabelecer uma linha de conduta.

A ABETRE considera que o setor se organizou por iniciativa própria. Subiu o padrão competitivo, com a incorporação deste custo. Tem que subir o padrão para todo o segmento de uma única vez. O primeiro não terá vantagem competitiva. Pode ter desvantagens. Se a cadeia inteira subir de padrão a partir de uma meta definida, todos os segmentos acabam por atender. Cada empresa acaba por se antecipar, pois há metas e recompensas. Apenas baixar leis não funciona. O ideal é que as empresas mudem de patamar juntas. A discussão muda a perspectiva do problema. A questão não é baixar lei, e o ministério público pressionar. Tem que mudar a consciência das empresas sobre o problema, promovendo uma elevação conjunta da percepção das empresas sobre o problema ambiental na cadeia produtiva.

O CEMPRE considera que no Brasil a coleta seletiva de secos é da ordem de 18%, sendo 80% pelas mãos dos catadores. Em termos de política pública, os países europeus têm mais disponibilidade. Uma prefeitura no Brasil tem poucos recursos para implantar um aterro controlado, não consegue sair do estágio do lixão, portanto não dá para esperar que o Estado venha sozinho a resolver esse problema. Ressalta a importância do modelo brasileiro de coleta seletiva, com ganhos sociais e economia energética. Quando se organiza a coleta seletiva na cidade, acabam por passar primeiro os sucateiros pegando grandes volumes, depois os autônomos e por fim o catador. Quando a prefeitura chega com a coleta seletiva, há pouco a recolher. Considera que a coleta seletiva tem que ser mais bem organizada. A cooperativa normalmente é parceira da prefeitura e busca bairros aonde a prefeitura ainda não chegou. Em São José dos Campos, por exemplo, tem um lixo rico, e os sucateiros de outras cidades vão para lá buscar matéria-prima. Esse é o mundo real. A cooperativa seria o caminho de minimizar o problema, desde que fosse legalizada. O CEMPRE apóia várias cooperativas com folhetos educativos, prensas e outros equipamentos. A prefeitura tem a responsabilidade e deve estar participando, mas a cooperativa vem no sentido de descentralizar as ações.

O especialista em regulação ambiental afirma que um dos problemas dos empreendedores, que atuam na área de incineração, é não ter garantia do retorno após investir em suas plantas, visto que poucos geradores de resíduos cumprem totalmente a legislação, preferindo a

disposição irregular, a custo muito mais baixo. (Cita o caso de um empreendedor que implantou um aterro industrial e até hoje tem dificuldades em receber materiais continuamente para manter seu negócio operacional e rentável).

6.8 Outras Tecnologias

A ABRELPE reafirma que a tecnologia mais apropriada para o Brasil ainda é o aterro sanitário, porém ressalta que academicamente há espaço para o desenvolvimento de um modelo de negócio, que ainda não está formatado, e se propõe a colaborar na evolução desse modelo. Sugere que a pesquisa avance na proposição da formação de aterros regionais nos municípios pólo do Estado de São Paulo.

Exemplifica com o caso de Bauru, e sugere ao prefeito licitar a instalação de um aterro sanitário para atender os municípios próximos, até mesmo a um preço menor para os que não têm recursos para implantar uma solução tecnologicamente mais adequada. Bauru poderia receber os resíduos de municípios como Agudos, Lençóis Paulista e mesmo de Jaú, a 50 km, que está dispendo o seu resíduo no aterro industrial da ESTRE em Paulínia, distante 190 km. Não acredita na pulverização de plantas de tratamento de resíduos pelas cidades. Considera o porte de 500 mil habitantes adequado para receber um aterro com essas características. Abaixo disso, o relativamente pequeno volume de lixo não viabilizaria uma solução adequada. A parceria público-privada (PPP) seria uma boa solução para este tipo de empreendimento. Propõe um modelo de negócio para atender uma região.

Os associados da ABETRE atuam principalmente o resíduo industrial e o grande problema é a sua carga tóxica. A cimenteira não compra esse resíduo, e sim é paga para prestar um serviço, pois acaba tendo alguma perda de processo, em função de separação, preparação, etc.

O CEMPRE lembra que temos poucos projetos de compostagem no Brasil, a maioria deles é artesanal. Considera que os de grande porte fracassaram por problemas de gestão, ressalta que faltou gestão técnica dos processos. Coletava mal, compostava mal e entregava um composto de baixa qualidade. Quanto à possível contaminação por metais pesados atribui a coletas malfeitas. Afirma que o problema está ligado ao processo. O problema não é da qualidade da solução, mas um problema de processo, que fica facilitado em cidade pequena ou em ambiente fechado, mas com processos adequados a solução também é boa para as grandes

idades. A questão não é a cidade ser grande ou pequena, mas ter bons controles, com tecnologias mais atuais, evitando a contaminação e melhorando a qualidade do produto final.

A TSL Ambiental também faz tratamento biológico do resíduo. Alguém traz o problema e aí estudam a solução mais adequada. Não tem uma solução *a priori*. É difícil o microorganismo consumir o resíduo rapidamente e sobreviver num ambiente que não é só aquilo, o processo é de longa duração. É associado a uma empresa holandesa que tem 1.000 pesquisadores, mas é uma solução muito específica. Além das tecnologias já comentadas, no momento, não visualiza nenhuma outra com viabilidade/aplicação comercial.

O especialista em regulação ambiental considera a possibilidade das novas tecnologias tratarem os resíduos industriais perigosos e de serviços de saúde um grande avanço, uma vez que os atuais tratamentos específicos têm preços proibitivos, da ordem de R\$ 2 mil/t. Cita que com as tecnologias atuais há bons exemplos de incineradores particulares como da Silcon, em Mauá, e da Pioneira, em Suzano, que tem bom padrão operacional. Finalmente ressalta que seu foco é o controle das emissões, e considera que as tecnologias que melhor trabalharem esse aspecto, no futuro, serão as mais viáveis.

6.9 Outras Considerações

A ABRELPE atua no sentido de criar condições de contorno, influenciar os negócios de suas associadas, fazer a gestão do setor e influenciar legalmente. Estimulam e promovem ciclos técnicos, desenvolvem a consciência coletiva de prefeitos, órgãos técnicos. Divulgam as boas práticas. Não se fixam em nenhuma tecnologia específica, isso é problema do associado. Para a ABELPRE é importante que o processo seja bem montado, cuidado e elaborado. O problema não está na tecnologia, e sim como o empreendimento é montado e operado, e os sistemas de controle do Estado têm competência para verificar esse funcionamento. Quando sai licença da CETESB, é porque o projeto foi bem-feito. Mas nem sempre a implantação ou operação é adequada. Esse é o grande problema. Defendem a boa execução independente da tecnologia. A ABELPRE afirma que nunca se vai conseguir fugir da questão/equação econômica para decidir um sistema adequado. Esse é o *drive* que dirige a decisão pública. O fato do pólo calçadista de Jaú levar os resíduos industriais para o aterro da ESTRE em Paulínia, isso já é um avanço, pois o projeto do ESTRE é bem montado, e o lixo descontrolado é o real problema.

Nos casos do ESTRE e de Caieiras, a CETESB aceita a co-disposição: classe II – não perigoso pode ser colocado junto com o RSU na mesma célula, porque ela está preparada para isso, o nível de preparação é para o mais complicado. Nível de impermeabilização exigido de sanitário para classe II, um pouco mais restritivo, permitia a operação numa única frente. Sobre vazamentos consideram que não é a manta que faz o bloqueio, e sim a camada de argila de 60 cm com compactação de 10^{-7} cm/s, onde uma molécula de água leva cerca de 350 anos para atravessar. Também há proteção contra choque mecânico para evitar rasgos na manta. Cidades acima de 500 mil habitantes até 1 milhão começam a ter viabilidade para um bom aterro sanitário, pois têm escala.

O aterro pode ser próprio do município ou terceirizado. A cidade com 1 milhão de habitantes gera 700 mil toneladas por dia de resíduos, colocados num aterro. Fica com custo adequado, e gera CC. Todas as grandes capitais brasileiras têm condição de ter um bom aterro, seja por PPP ou concessão. Mesmo em São Caetano, onde não há área disponível, considera como a melhor opção a terceirização da disposição de resíduos urbanos no aterro Lara, em Mauá, que já tem seu MDL aprovado em geração de energia. Incineração ou plasma térmico é muito caro. Além das alternativas tradicionais, a ABRELPE considera boa a tecnologia de aproveitamento de biomassa. É interessante uma planta multipropósito onde se tenha biomassa, que aproveite o carbono do lixo. No entanto complementa que já analisou três projetos e nenhum tinha uma taxa de retorno adequada.

No futuro deverá haver uma maior conscientização. Há cidades nos EUA onde é contratada a frequência e o volume da coleta pagando-se adequadamente por isso. A prefeitura faz uma licitação para indicar quem vai ser o coletor, mas é o cidadão quem paga. O esquema de embutir o valor taxa de lixo no imposto territorial urbano (IPTU) não funciona, porque cai no caixa único. Na Alemanha se o cidadão jogar uma lata no lixo orgânico gera uma reação, porém é cultural. Não é possível um projeto de ponta para uma cidade pequena como Lençóis Paulista com 40 mil habitantes. Mas no Rio de Janeiro, o aterro Gramacho é crítico e está para cair na Baía de Guanabara, demonstrando que caberia uma solução mais complexa. A ABRELPE considera adequado PPP ou concessão, ressaltando que PPP é uma forma mais bem elaborada de concessão, num relacionamento profícuo entre estado e empresas privadas. O gestor público tem que dar uma prioridade para fazer uma boa gestão do resíduo. Partes das atividades de Estado devem ser delegadas às empresas. Acha que este é uma responsabilidade

que tem que ser retirada das prefeituras. A fronteira tecnológica está na captação de gases e obtenção energética. Nas questões de efluentes e tratamentos, todas as tecnologias estão consolidadas.

O CEMPRE afirma que dentro de sua visão de gestão integrada dos resíduos, as tecnologias não competem entre si. Uma parte do que está indo para a tocha de plasma de Piracicaba está sendo desviada do lixão, aliviando-o. Ressalta que não há solução *a priori*, o importante é trabalhar a gestão integrada. Neste aspecto acha a cooperativa de catadores imbatível, pois recoloca o lixo no sistema produtivo a baixo custo, com economia de energia. (Re)insere socialmente que estava excluído, trabalha a auto-estima e diminui os custos com saúde. E o ganho energético é enorme.

A professora aponta tendências de integrar todas as tecnologias em uma única planta para tratar todo o tipo de resíduo, incluindo o lodo de esgoto. Cita o caso de Tremembé, onde estaria aplicando esse método. No Brasil os tratamentos promovidos pelo governo ainda são isolados, demonstrando a parcialidade da responsabilidade, o que não ocorre quando se trata de investimento privado, com plantas que aceitam a co-disposição.

Finalmente afirma que o aterro sanitário da CAVO em Curitiba já recebe resíduos das classes II e III e industrial, e que há tratamento térmico para o solo contaminado com hidrocarbonetos dos postos de gasolina, bem como já tem previsão de tratamento para pilhas e baterias. Há ainda uma central de tratamento para solidificação de resíduos industriais. Quem opera aterro sanitário, também já está operando aterro classe I, e começa a completar a planta com outros equipamentos, com microondas ou outros sistemas para tratamento de resíduos de saúde. Quem está investindo são os grandes grupos trabalhando em consórcio. Tem um cinturão verde em volta com acesso e infra-estrutura, que estando pronta pode operar na mesma área as várias tecnologias.

Conclui apontando uma tese que orienta visando à recuperação do hidrogênio dos aterros para gerar combustível para células de hidrogênio. Ao se fazer a recuperação do metano, acaba por emitir CO₂ que, embora menos agressivo, também causa aquecimento global. Portanto considera que o hidrogênio pode ser a energia limpa do futuro, podendo ser extraído dos aterros.

7 APLICAÇÃO DA TEORIA DA DECISÃO

A pesquisa avalia três formas básicas de tratamento de resíduos sólidos, que permitem a obtenção de créditos de carbono:

- Disposição em aterro sanitário;
- Incineração;
- Processamento por Plasma Térmico.

Essas três formas básicas são trabalhadas acompanhadas de três soluções complementares:

- Coleta seletiva;
- Recuperação energética;
- Separação, processo de seleção do lixo para obtenção de *refused derived fuel* (RDF), para transformar o resíduo em combustível, pelo aumento de seu poder calorífico.

Algumas prefeituras vêm praticando a separação antes da disposição em aterro, por meio de correias em que o material passa por ação de catadores, fazendo uma recuperação de materiais recicláveis antes da disposição final. Esse processo é uma extensão da atividade de coleta seletiva, e não caracteriza propriamente o processo de RDF, que visa potencializar a produção de energia, que se quer aqui ressaltar.

As soluções podem ser utilizadas em série para se obter soluções mistas, mais complexas e efetivas, totalizando 36 soluções combinadas, das quais duas delas não fazem sentido no modelo, quando se acrescenta a geração de RDF ao aterro sanitário.

Resultam, portanto, 34 soluções que são analisadas nesta pesquisa, conforme detalhado no Quadro 8.

Quadro 8 – Composição das Soluções em Análise

Processo Básico / Processo Complementar	Aterro Sanitário (At)	Incineração (In)	Plasma Térmico (Pl)	Incineração + Aterro Sanitário (In+ At)	Plasma + Aterro Sanitário (Pl+At)	Incineração + Plasma (In+Pl)
Sem processo complementar	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Coleta Seletiva (CS)	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Geração de energia (GEn)	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Coleta Seletiva + Geração de Energia (CS+ GEn)	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Seleção Energética + Geração de Energia (RDF+ GEn)	não	sim	sim	sim	sim	sim
Coleta Seletiva + Seleção Energética + Geração de Energia (CS+RDF+ GEn)	não	sim	sim	sim	sim	sim

7.1 Atribuição de Utilidade

Os valores de utilidade dos atributos foram obtidos a partir da análise de literatura nacional e internacional, refinada nas entrevistas. O critério de atribuição de valor utilizado foi:

- Para as características de maior valor percebido, como, por exemplo, o menor custo de implantação de um sistema para os aterros, atribuiu-se valor 1,0 (máximo);
- Para as características de menor valor percebido, como, por exemplo, a necessidade da planta estar localizada a mais de 10 km da região central do município para os aterros, atribuiu-se valor zero;
- Para as características com valor intermediário, por exemplo, a captura de 50% do metano emitido num aterro, por meio de sistema de captura de gás e geração de energia, atribuiu-se valor 0,5;
- Para as características intermediárias, analogamente, foi trabalhado o valor de 0,75; por exemplo, a coleta de gás de aterro que requer um investimento, acrescenta custo à solução de aterro que tinha valor 1,0. Em termos de custo essa tem seu valor reduzido em relação à implantação do aterro simples, resultando em valor 0,75;
- A mesma lógica foi utilizada para as características de valor um pouco acima de zero, atribuindo-se valor 0,25, como no custo de uma solução de aterro mais plasma.

Os resultados dessa distribuição de valor estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Atribuição de Valor de Utilidade

	Créditos de carbono	Custo Inicial	Custo de Operação e Manutenção	Área de Instalação	Distância	Tempo	Classe do Resíduo	Seleção Energética RDF	Receita Venda de Energia	Receita de Venda de Materiais
At	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
CS+At	0	1	1	0	0	1	0	0,5	0	0,5
CS+At+GEn	0,5	0,75	0,75	0	0	0,75	0	0,5	0,5	0,5
At+GEn	0,5	0,75	0,75	0	0	0,75	0	0	0,5	0
In+At	0,5	0,5	0,25	0	0	0,25	0,5	0	0	0
CS+In+At	0,5	0,5	0,25	0	0	0,25	0,5	0,5	0	0,5
CS+In+At+GEn	0,75	0	0,25	0	0	0,25	0,5	0,5	0,75	0,5
CS+RDF+In+At+GEn	0,75	0	0,25	0	0	0,25	0,5	1	0,75	0,5
In+At+GEn	0,75	0	0,25	0	0	0,25	0,5	0	0,75	0
RDF+In+At+GEn	0,75	0	0,25	0	0	0,25	0,5	1	0,75	0
PI+At	0,75	0,25	0,5	0,25	0	1	1	0	0	0,75
CS+PI+At	0,75	0,25	0,25	0,25	0	1	1	0,5	0	1
CS+PI+At+GEn	0,75	0,25	0,25	0,25	0	1	1	0,5	1	1
At+PI+CS+RDF+GEn	0,75	0,25	0,25	0,25	0	1	1	1	1	1
At+PI+GEn	0,75	0,25	0,25	0,25	0	1	1	0	1	0,75
At+PI+RDF+GEn	0,75	0	0,25	0,25	0	1	1	1	1	0,75
In	0,5	0,5	0,5	0,75	0,5	0,5	0,5	0	0	0
CS+In	0,5	0,5	0,25	0,75	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5
CS+In+GEn	1	0,25	0,25	0,75	0,5	0,5	0,5	0,5	0,75	0,5
CS+RDF+In+GEn	1	0,25	0,25	0,75	0,5	0,5	0,5	1	0,75	0,5
In+GEn	1	0,25	0,25	0,75	0,5	0,5	0,5	0	0,75	0
In+PI	0,75	0	0	0,5	0,5	1	1	0	0	0,75
CS+In+PI	0,75	0	0	0,5	0,5	1	1	0,5	0	1
CS+In+PI+GEn	1	0	0	0,5	0,5	1	1	0,5	1	1
CS+RDF+In+PI+GEn	1	0	0	0,75	0,25	1	1	1	1	1
In+PI+GEn	1	0	0	0,75	0,5	1	1	0	1	0,75
In+PI+RDF+GEn	1	0	0	0,75	0,5	1	1	1	1	0,75
In+RDF+GEn	0,75	0,25	0,25	0,75	0,5	0,25	0,5	1	0,75	0
PI	0,5	0,25	0,25	1	1	0	1	0	0	0,75
CS+PI	0,5	0,25	0,25	1	1	0	1	0,5	0	1
CS+PI+GEn	1	0,25	0,25	1	1	0	1	0,5	1	1
CS+RDF+PI+GEn	1	0,25	0,25	1	1	0	1	1	1	1
PI+GEn	1	0,25	0,25	1	1	0	1	0	1	0,75
RDF+PI+GEn	1	0,25	0,25	1	1	0	1	1	1	0,75

Legenda:

At - Aterro sanitário; CS – Coleta Seletiva; GEn – Geração de Energia; In – Incineração;

PI – Processamento a Plasma Térmico; RDF – Seleção Energética (*refused derived fuel* – RDF).

7.2 Características dos Entrevistados

Os seis especialistas que contribuíram para este estudo têm as seguintes características:

- Todos têm formação superior completa, quatro deles em engenharia civil, um em engenharia de produção e um em administração de empresas. Dois possuem doutorado;
- A média é de 49 anos de idade;
- Têm atuação nesse setor de 15 anos, no mínimo, e de 25 anos, no máximo;
- Cinco são do sexo masculino e um do sexo feminino;
- Ocupam os seguintes cargos:
 - Presidente de empresa e diretor técnico da associação setorial;
 - Presidente de associação setorial;
 - Diretor Técnico de Organização de Incentivo à Reciclagem;
 - Diretor Técnico de empresa do setor;
 - Engenheiro auditor de sistemas de tratamento de resíduos; e
 - Professor Universitário.

7.3 Atribuição de Pesos às Variáveis

Após as entrevistas de caráter aberto, por meio de um formulário fechado, baseado numa escala de Likert, variando de zero a dez, os entrevistados declararam a importância que atribuíam a cada uma das dez variáveis da pesquisa. Os dados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Atribuição de Pesos às Variáveis pelos Respondentes

Variáveis										
Respondente	Área de instalação	Distância	Custo Inicial	Custo de Operação e Manutenção	Tempo	Classe do Resíduo	Separação Seleção Energética (RDF)	Receita de Subprodutos	Receita de Energia	Créditos de Carbono
1	30	30	100	20	20	100	100	20	60	50
2	70	80	90	100	50	0	40	30	20	60
3	80	80	90	100	20	90	80	30	50	90
4	90	100	80	90	70	100	100	60	50	90
5	100	100	60	60	60	90	70	50	50	80
6	50	70	40	40	20	70	80	30	70	90
Média	70,00	76,67	76,67	68,33	40,00	75,00	78,33	36,67	50,00	76,67
% Peso	10,80	11,83	11,83	10,54	6,17	11,57	12,08	5,66	7,71	11,83
Desvio Padrão	26,07	25,82	22,51	33,71	22,80	38,34	22,28	15,05	16,73	17,50
Prioridade atribuída	6	2	2	7	9	5	1	10	8	2

A variável separação que visa selecionar energeticamente o resíduo obteve o maior peso relativo, de 78,33 consequentemente o maior percentual 12,08%, e a principal prioridade no processo de escolha. Teve ainda um desvio padrão médio, no valor de 22,28.

A variável classe do resíduo a ser tratado que ficou em posição intermediária, com peso 75,00 e um percentual de 11,57%, obteve o maior desvio padrão 38,34, demonstrando não haver consenso sobre seu peso no processo de decisão, por ser importante para quem prioriza a incineração ou o plasma térmico, e pouco importante para quem valoriza aterros sanitários.

Houve certo consenso, com menor desvio padrão, 15,05, na definição de receitas de subprodutos como a variável com menor peso atribuído de 36,67, com percentual de 5,66%.

Os resultados obtidos possibilitaram a geração da hierarquia de decisão com pesos relativos que totalizam o valor de 1, conforme mostrado na Figura 12.

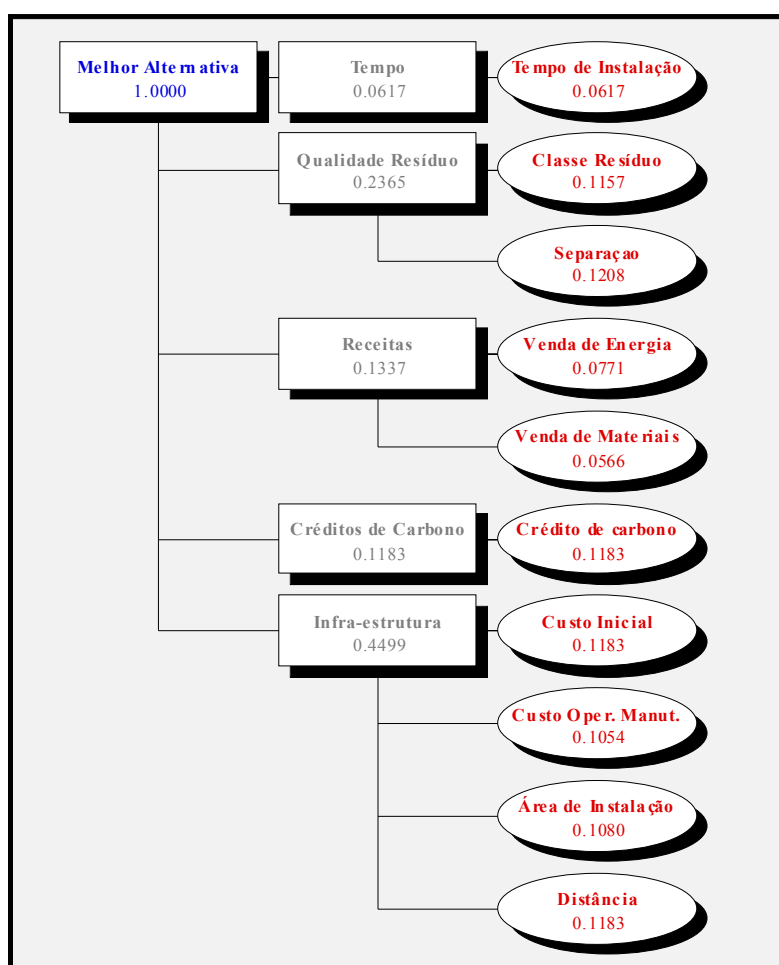


Figura 12 – Hierarquia da Decisão com atribuição de Pesos

A Figura 13 apresenta os dados da Tabela 9 no formato de barras verticais com os valores máximos e mínimos atribuídos nas entrevistas.

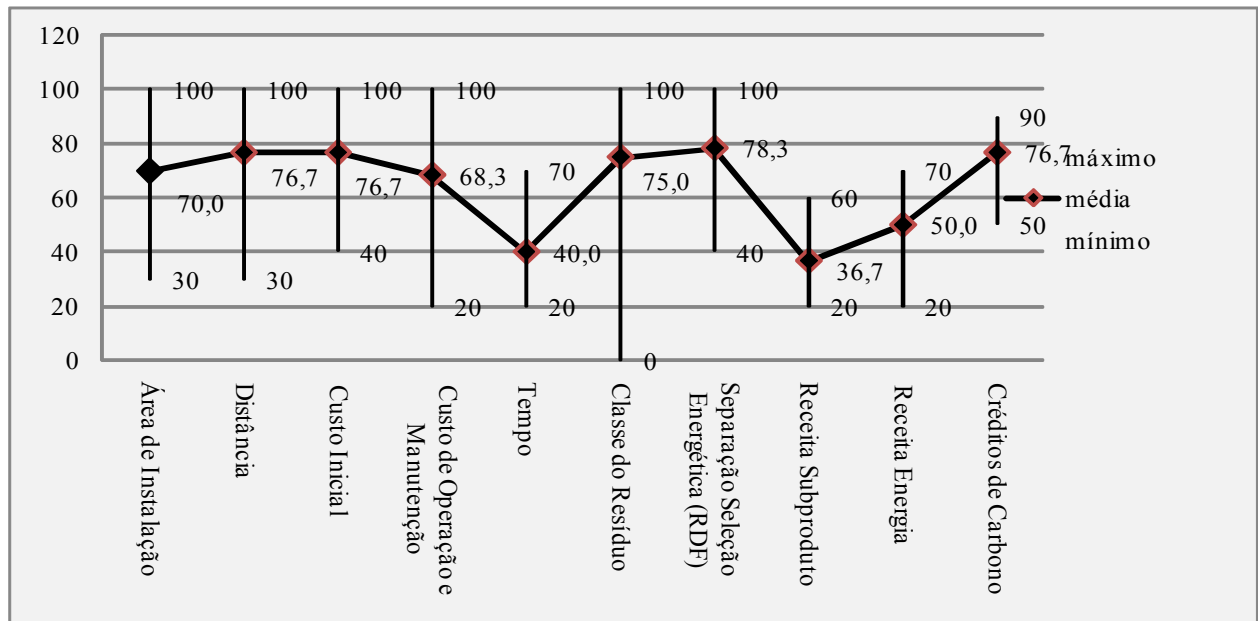


Figura 13 – Média e Dispersão das Respostas

A variável separação para seleção de poder calorífico tem o maior peso médio 78,3, seguida de custo inicial, distância e obtenção de créditos de carbono todos com peso 76,7, e classe do resíduo processado com peso 75. Por último, aparecem as receitas de energia com peso 50,0, o tempo com peso 40,0, e a receita de subprodutos com peso 36,7.

A Figura 14 apresenta um diagrama dos pesos calculados em termos percentuais, a partir da distribuição dos valores expressos na Figura 13, em que fica claro que os menores pesos médios foram atribuídos às variáveis do tempo de instalação e às receitas de energia e de subproduto.

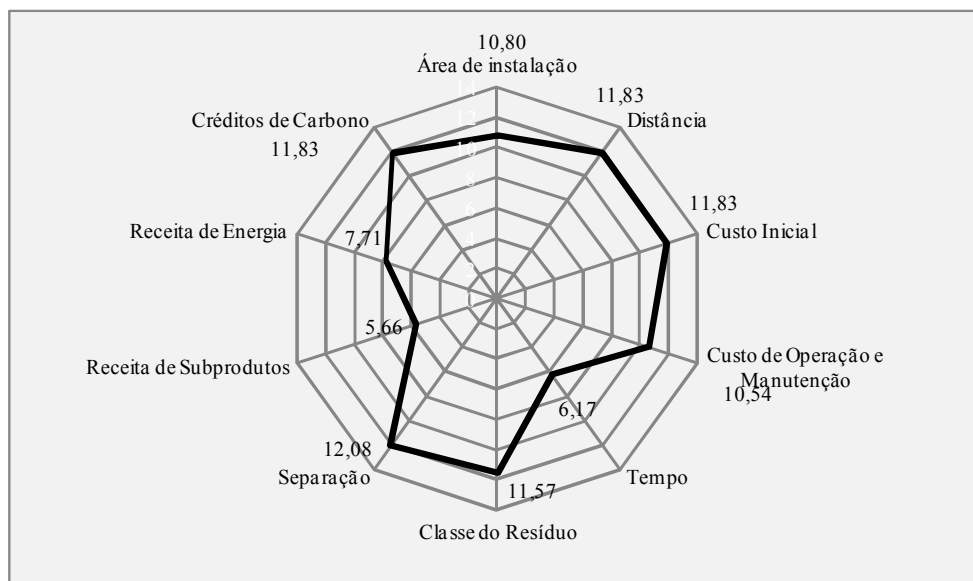


Figura 14 – Peso Médio atribuído às Variáveis

Pode-se concluir por um equilíbrio entre as sete variáveis que tem peso acima de 10%, bem como a pouca importância dada às variáveis de receita de venda de energia, tempo de implantação e receita de subprodutos, que têm peso menor que 8%.

A Figura 15 apresenta de forma gráfica a diversidade de respostas da Tabela 9 para as dez variáveis em análise.

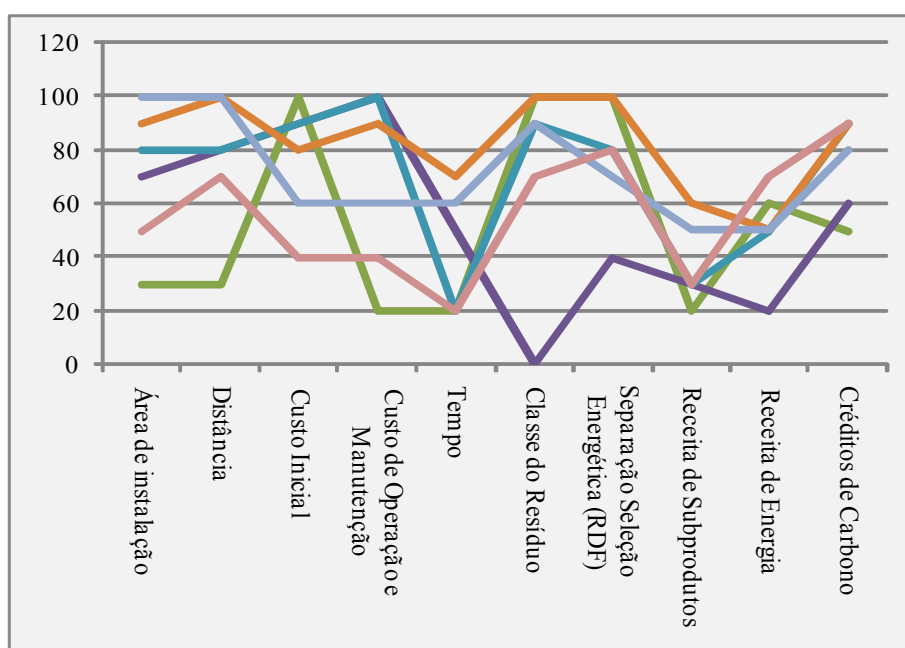


Figura 15 – Variação de Respostas

Conforme o esperado, e já demonstrado na tabela 9 que apresenta os desvios padrão, existe alta dispersão de respostas em função de interesses diversos representados pelos entrevistados, consoante com a proposta de escolha de *stakeholders* de visões diferenciadas e até mesmo conflitantes. Portanto pode-se concluir pelo acerto na escolha dos entrevistados, pois a proposta era encontrar pessoas que tivessem visões suficientemente diferenciadas do problema de maneira que fosse coberta a diversidade de opinião sobre o assunto.

O software usado, *Logical Decisions*, permite fazer o gráfico de *trade-off* (taxas de substituição) das dez medidas em análise, ponderadas pelos seus pesos; no entanto, como se tratam de 45 gráficos individuais, com dez medidas comparadas duas a duas, não foi possível apresentá-los nesse trabalho, embora tenham tido seu desempenho avaliado. Apresenta-se apenas o gráfico que resume os valores dos pesos utilizados para o cálculo dos *trade-offs* das medidas, levantados junto aos *stakeholders*, conforme se demonstra na Figura 16.

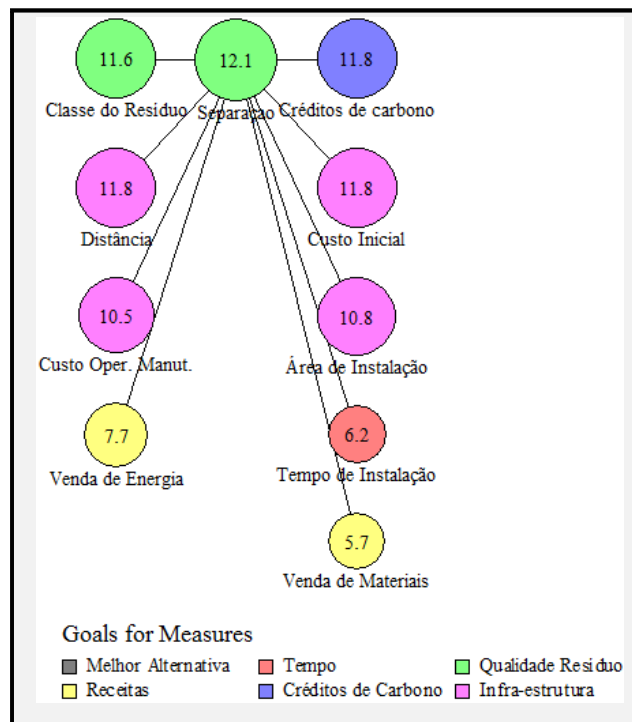
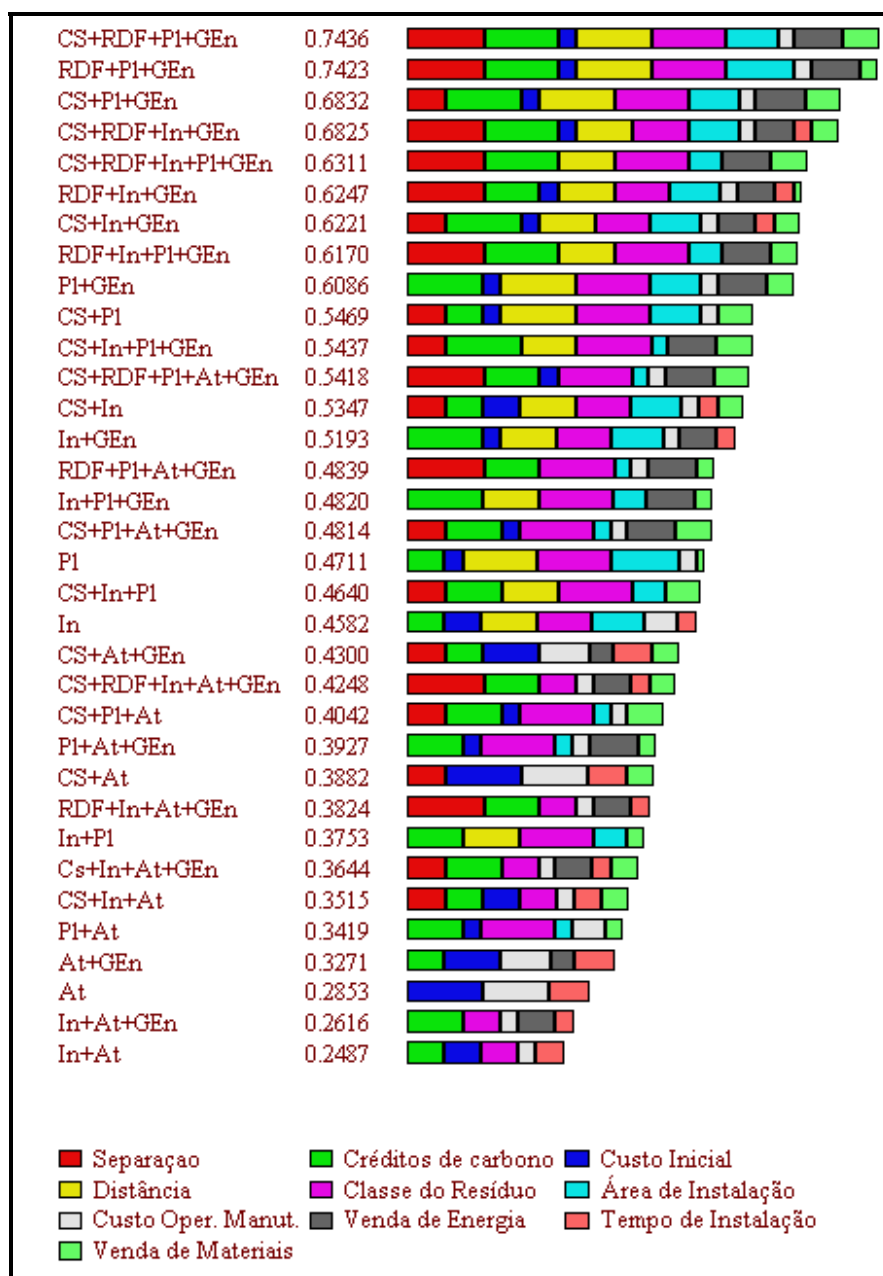


Figura 16 – Gráfico de *Trade-off* dos Pesos

A relação dos pesos totais proporciona uma idéia do comportamento desses pesos na atribuição de valor. Os números internos aos círculos, bem como suas dimensões, representam o peso percentual das medidas avaliadas, mantendo a razão apropriada entre os pesos e as medidas e forçando os pesos a somar 100%. As cores referem-se aos tipos de subobjetivos a que pertencem os atributos.

7.4 Análise dos Resultados

A Figura 17 apresenta um gráfico de barras horizontais, obtido como o uso do software *Logical Decisions*, com as soluções avaliadas pelo seu grau de utilidade, ponderada pela média da percepção dos especialistas quanto à importância das variáveis (pesos atribuídos), conforme apontado nas figuras anteriores.



Legenda:

At - Aterro sanitário; CS – Coleta Seletiva; GEN – Geração de Energia; In – Incineração;
 PI – Processamento a Plasma Térmico; RDF – Seleção Energética (*refused derived fuel* – RDF).

Figura 17 – Classificação Final das 34 Alternativas por Utilidade

Baseado nos resultados mostrados nesse gráfico apresenta-se a seguir uma análise das sete composições melhor classificadas, e uma síntese sobre as composições que envolvem o uso do aterro sanitário.

- Coleta Seletiva, Separação Energética, Plasma e Geração de Energia (CS+RDF+PI+GEn)

A solução de maior utilidade no *ranking* das soluções avaliadas é a coleta seletiva, seguida de separação energética, do processamento a plasma e da geração de energia. Essa solução traz uma imagem de seriedade em relação à prática da coleta seletiva com o envolvimento da população e ainda obtém uma das melhores receitas de venda de materiais e de energia elétrica. É uma solução que ocupa relativamente pouco espaço, não precisa ser localizada muito distante da área urbana e pode processar o lixo coletado, bem como eliminar passivos ambientais dos aterros anteriormente mal-operados. A potencialização da geração de energia ocorre com a prática da separação energética (RDF), o que obrigaria residualmente a tratar da matéria orgânica separada, o que poderia ser feito com uma solução de compostagem, ou a manutenção de uma área reduzida de aterro, e pondera vantagens de se obter créditos de carbono,

- Separação Energética, Plasma e Geração de Energia (RDF+PI+GEn)

A segunda solução é idêntica à primeira, com exceção da coleta seletiva que não seria praticada, uma vez que, segundo a percepção obtida, a utilidade conquistada com a coleta seletiva não é hoje plenamente paga. Alguns dos especialistas entrevistados apontaram ineficácia dos processos, embora traga uma imagem positiva para a prefeitura que a pratique. Como na solução aparece a separação energética, pode existir algum grau de recuperação de matéria-prima ou venda de materiais. A matéria orgânica poderia ir para compostagem ou para uma área reduzida de aterro, conforme a opção anterior.

- Coleta Seletiva, Plasma e Geração de Energia (CS+ PI+GEn)

A terceira solução melhor classificada também é idêntica à primeira solução, porém sem o processo de separação energética (RDF). Essa solução economiza espaço, por

não haver necessidade de depositar ou processar matéria orgânica. Porém perde em eficiência, ao não praticar a separação e desperdiçar a matéria-prima que é convertida em energia. Além de, por permanecer muita matéria orgânica úmida na composição do resíduo, o poder calorífico é menor, portanto gera menos energia.

- Coleta Seletiva, Separação Energética, Incineração e Geração de Energia (CS+RDF+In+GEn)

Praticamente empatada com a solução anterior, em senso de valor, surge a solução que reúne a coleta seletiva, a separação energética, a incineração, e a geração de energia, com as mesmas vantagens já apontadas na primeira classificada, porém substituindo o processamento a plasma pela incineração. Isso reforça a percepção obtida das entrevistas que as soluções de incineração e de plasma estão hoje muito próximas, em termos de resultados. Nesse caso, em relação à primeira alternativa, deve-se ter mais cuidado com o controle dos gases emitidos. O processo de incineração apresenta gases mais variados e com a presença de material particulado, que o processamento a plasma, o que, conforme apontado na literatura internacional e obtido das entrevistas, levaria a solução de incineração ser mais cara do que a de plasma, daí a solução ter um senso de valor um pouco menor.

- Coleta Seletiva, Separação Energética, Incineração, Plasma e Geração de Energia (CS+RDF+In+PI+GEn)

A quinta solução apontada é a já praticada no Japão e na França, que reúne a incineração e o processamento a plasma. Talvez, trate-se da solução bastante efetiva, em termos ambientais; no entanto, no Brasil, para a maioria dos municípios fica prejudicada por razão de seu custo elevado.

A solução é mais adequada para em países que já tenham um parque instalado de incineradores, e que queiram continuar a aproveitá-los. Nesse caso o processamento a plasma eliminaria as cinzas e outros sólidos resultantes do processo de incineração.

- Separação Energética, Incineração, e Geração de Energia (RDF+In+GEN)

A sexta solução melhor classificada reúne separação energética, incineração e geração de energia. É idêntica à quarta solução, porém sem a prática da coleta seletiva.

- Coleta Seletiva, Incineração e Geração de Energia (CS+In+GEN)

A sétima solução classificada reúne coleta seletiva, incineração, porém sem o uso de seleção energética. É, portanto, uma solução de menor poder calorífico e geração de energia do que as demais soluções de incineração apresentadas anteriormente, embora associada à coleta seletiva.

- Soluções de Aterro

A primeira solução melhor classificada de aterro aparece em 12º lugar, associada a coleta seletiva, separação energética, processamento a plasma e geração de energia. Sem dúvida uma solução completa, mas talvez fora da realidade econômica dos municípios. Pode representar o modelo completo a ser atingido, porém não provoca o início da atuação do gestor, uma vez que soma todos os processos na solução.

Uma solução factível para o aterro, que aparece em 21º lugar, seria acompanhá-lo de coleta seletiva e geração de energia. Embora importante, essa solução tem uma baixa classificação, por manter a área degradada, por estar longe dos centros urbanos e por ter uma obtenção média de créditos de carbono, o nível de captura é de cerca de 50%. No entanto, como apontado nas entrevistas, pelo fato dos créditos de carbono ajudar a viabilizá-la, pode ser que essa solução seja a mais factível, no momento, para os municípios com baixa capacidade de investimento.

Diante desse quadro, pode-se traçar um diagrama da solução de melhor eco-eficiência conforme apresentado na Figura 18.

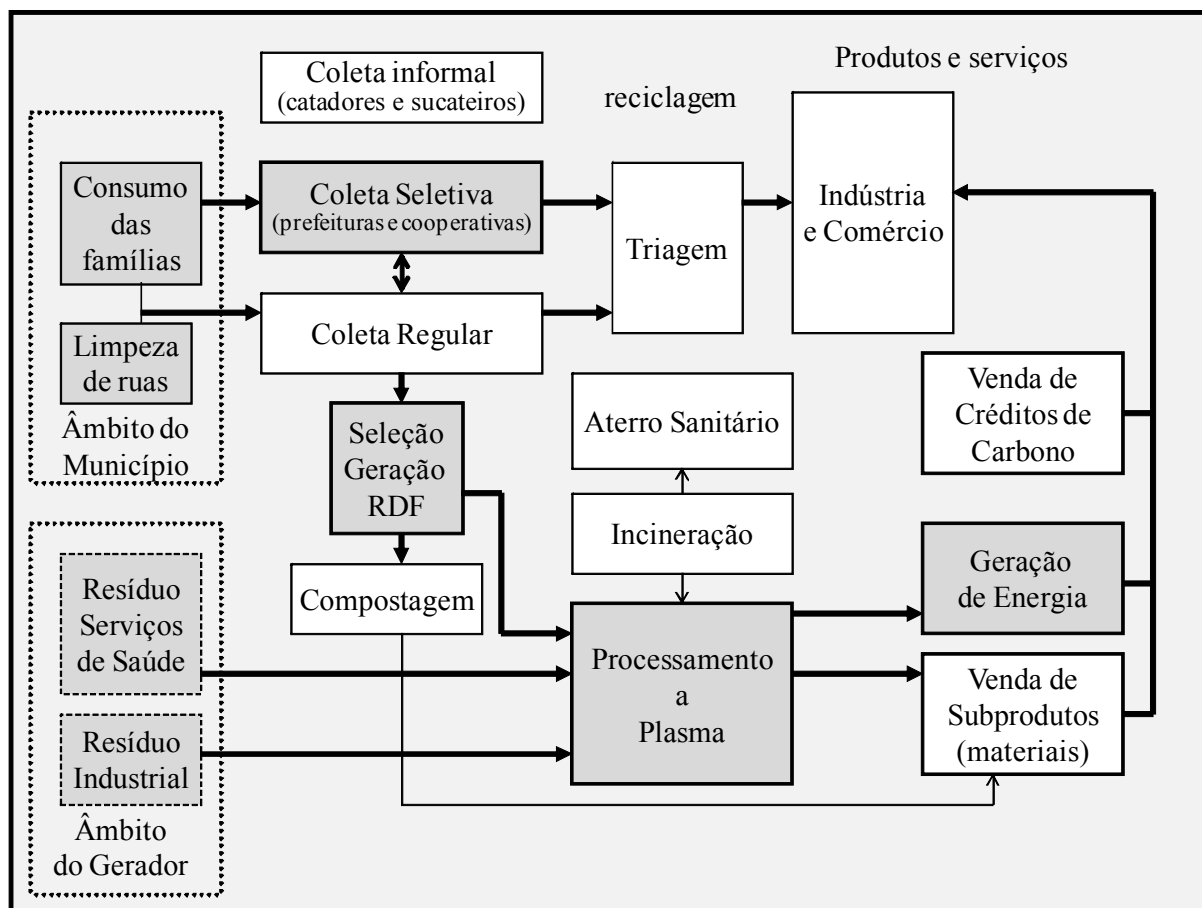


Figura 18 – Melhor Composição de Soluções

A melhor composição de soluções passa pelos processos de coleta seletiva e triagem que devem ser promovidas pelas prefeituras; coleta regular e separação para seleção da parcela energética e retirada da parcela orgânica (RDF), compostagem dessa parcela para venda como fertilizante ao mercado ou não, a depender da sua qualidade; processamento a plasma dentro do conceito de *waste to energy* (WTE) – aproveitamento energético do lixo com geração de energia elétrica interligada à rede e uso das indústrias e famílias. É viável ainda a venda de materiais para reciclagem, obtidos da coleta seletiva e triagem da coleta regular, além de rocha vitrificada para uso na construção civil. E é claro, é a solução que possibilita a obtenção de maior quantidade de créditos de carbono.

7.5 Análise de Sensibilidade

Para examinar como as mudanças nos pesos ou no nível de preferência afetam os resultados da avaliação, foi realizada uma análise de sensibilidade dos subobjetivos e das medidas (variáveis) que as compõe individualmente, considerando as dez soluções mais bem-pontuadas. Quando a análise de sensibilidade é efetuada para um determinado subobjetivo ou

medida, a mudança nos seus pesos é percebida em outros subobjetivos ou medidas proporcionalmente, de acordo com seus pesos originais.

As Figuras (19-31) que apresentam a análise de sensibilidade possuem a seguinte estrutura:

- O eixo horizontal “x” apresenta o peso do subobjetivo ou medida no processo de decisão, variando de 0% a 100% por cento;
- A linha vertical intermediária que corre sobre o eixo “x” aponta o peso atribuído pelos especialistas, em porcentual, para a medida em análise;
- O eixo vertical “y”, à esquerda, aponta a medida com peso 0%;
- O eixo vertical “y”, à direita, aponta a medida com peso 100%;
- As linhas representam a utilidade geral para as alternativas de soluções em análise, variando conforme a atribuição de peso no eixo “x”.
- A linha superior dos gráficos representa a solução preferida para um determinado peso, sendo que essa preferência pode variar com os pesos atribuídos.

7.5.1 Subobjetivo denominado “Infra-estrutura” e suas medidas

A Figura 19 apresenta a análise de sensibilidade para o subobjetivo infra-estrutura, apontando que tem peso global de 44,99% na decisão, conforme a linha vertical intermediária que corta o eixo horizontal.

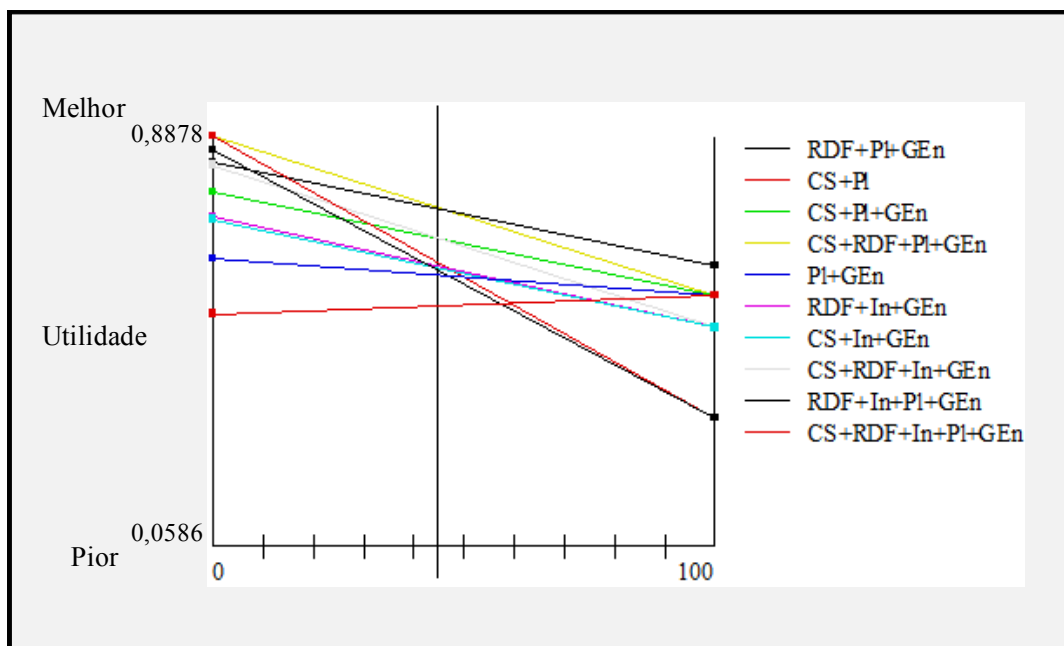


Figura 19 – Análise de Sensibilidade para Subobjetivo Infra-estrutura

A solução composta por Coleta Seletiva, Seleção Energética, Processamento a Plasma e Geração de Energia (CS+RDF+PI+GEn) é dominante até esse o peso de 44,99%, inclusive, quando é interceptada pela solução Seleção Energética, Plasma e Geração de Energia (RDF+PI+GEn). Conclui-se que se os especialistas tivessem dado um peso ligeiramente maior para o subobjetivo infra-estrutura, a segunda solução teria ultrapassado a primeira. A linha vertical está muito próxima a uma série de intersecções, tanto à direita quanto à esquerda, demonstrando que qualquer alteração de peso do subobjetivo poderia representar uma completa alteração do resultado.

Fica evidente ainda que todas as soluções podem perder utilidade na decisão, na medida em que aumenta o peso dado a esse subobjetivo (declividade negativas das retas), a menos da solução coleta seletiva e plasma (CS+PI) que tem sua utilidade ligeiramente aumentada na medida em que aumenta o peso do subobjetivo infra-estrutura, por se tratar de uma solução que maximiza os recursos de área e distância.

A Figura 20 apresenta o gráfico de comportamento da medida área de instalação, embutida no subobjetivo infra-estrutura, agora analisada isoladamente.

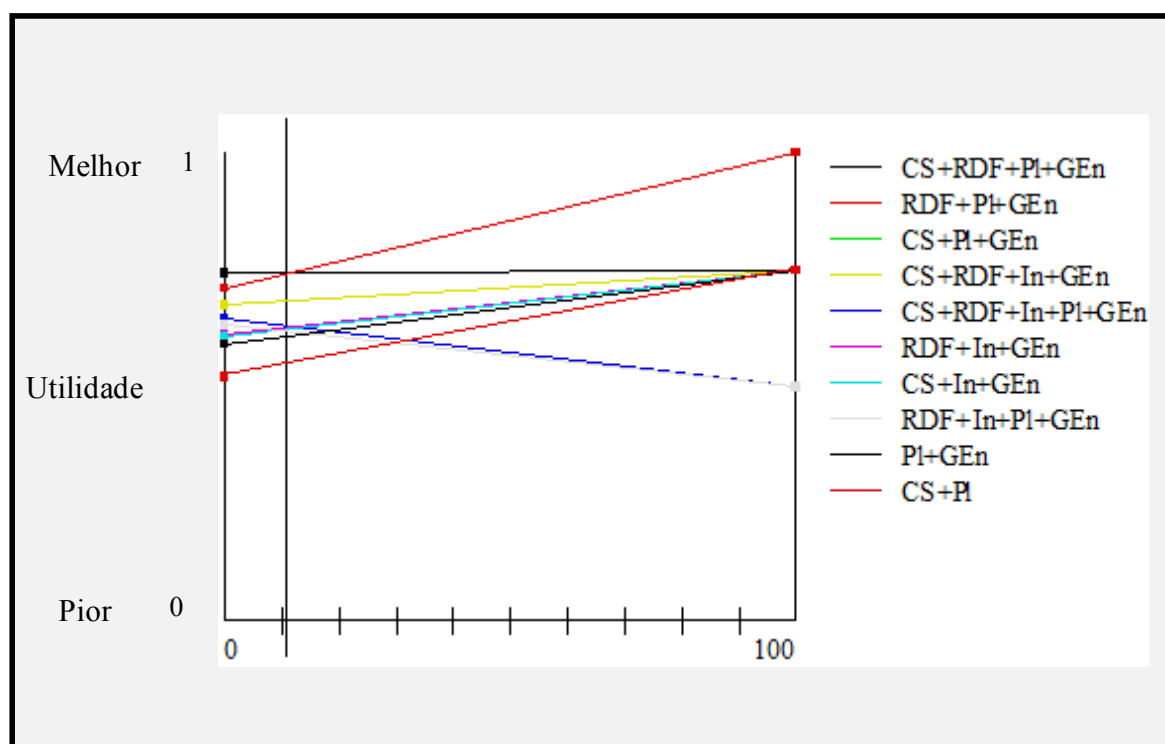


Figura 20 – Análise de Sensibilidade para Medida Área de Instalação

O peso da medida área de instalação na solução total é representado pela linha vertical intermediária em 10,80%, e denota-se que a solução de maior utilidade é de Seleção Energética, Processamento a Plasma e Geração de Energia (RDF+PI+GEn), exatamente nesse percentual de peso em diante, pois ali se dá uma inflexão. Conclui-se que para pesos inferiores a esse valor de 10,8%, a solução de maior utilidade seria a de Coleta Seletiva, Separação Energética, Processamento a Plasma e Geração de Energia (CS+RDF+PI+GEn).

A Figura 21 apresenta o gráfico de comportamento da medida distância, embutida no subobjetivo infra-estrutura, agora analisada isoladamente.

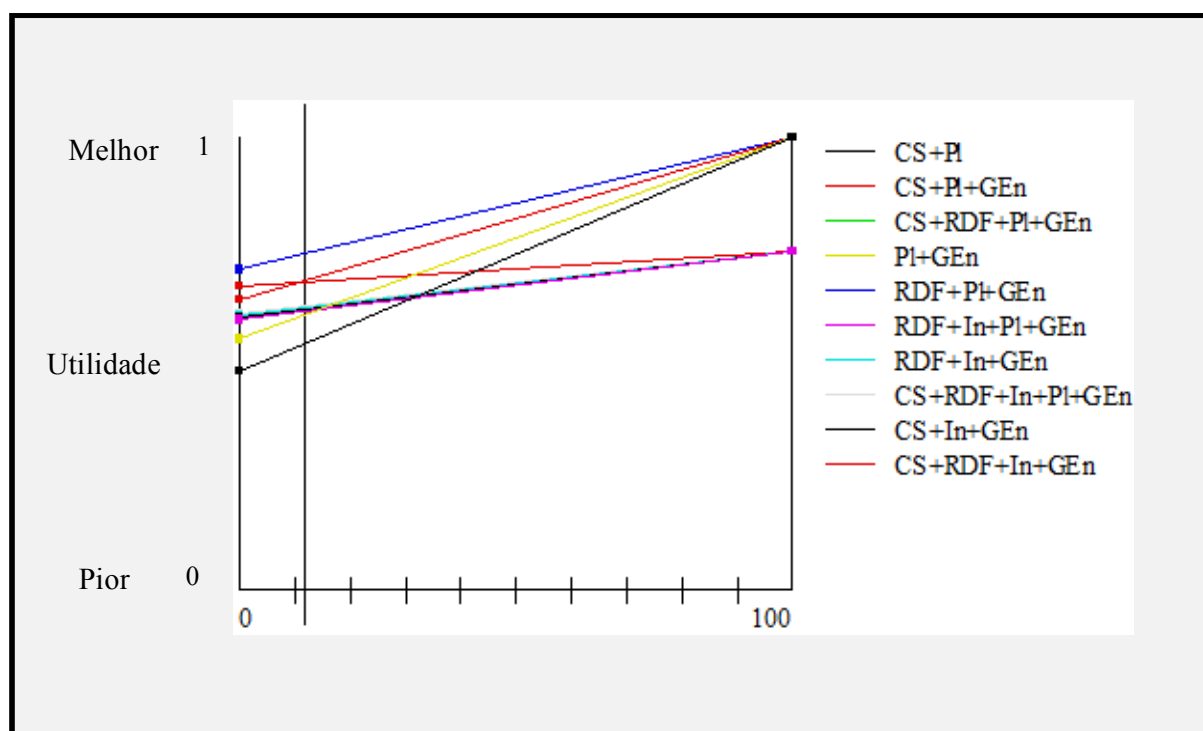


Figura 21 – Análise de Sensibilidade para Medida Distância

O peso da medida distância na solução total é representado pela linha intermediária vertical em 11,83%, e denota-se que a solução de maior utilidade é Seleção Energética, Processamento a Plasma e Geração de Energia (RDF+PI+GEn), ao longo de todo o eixo de representação de percentual de peso, e o seu senso de utilidade aumenta, linear e diretamente, com a maior atribuição de peso.

A Figura 22 apresenta o gráfico de comportamento da medida custo inicial, embutida no subobjetivo infra-estrutura, agora analisado isoladamente.

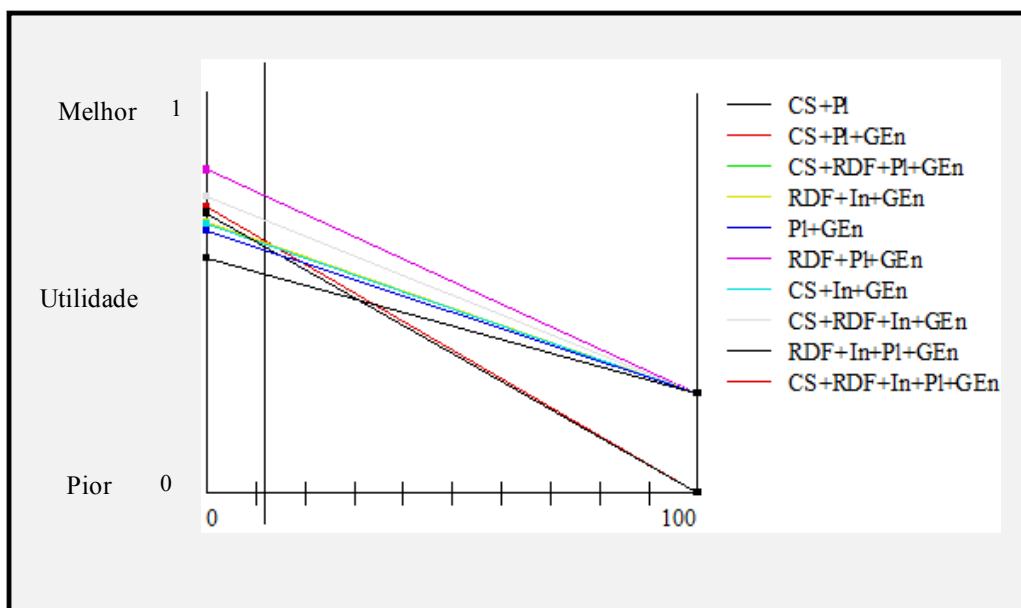


Figura 22 – Análise de Sensibilidade para Medida Custo Inicial

O peso da medida custo inicial na solução total é representado pela linha intermediária vertical em 11,83%, e denota-se que a solução de maior utilidade é de Seleção Energética, Processamento a Plasma e Geração de Energia (RDF+Pl+GEN), ao longo de todo o eixo de representação de percentual de peso, e o seu senso de utilidade decai, linear e diretamente, com a maior atribuição de peso a essa variável.

A Figura 23 apresenta o gráfico de comportamento da medida custo de operação e manutenção, embutida no subobjetivo infra-estrutura, agora analisada isoladamente.

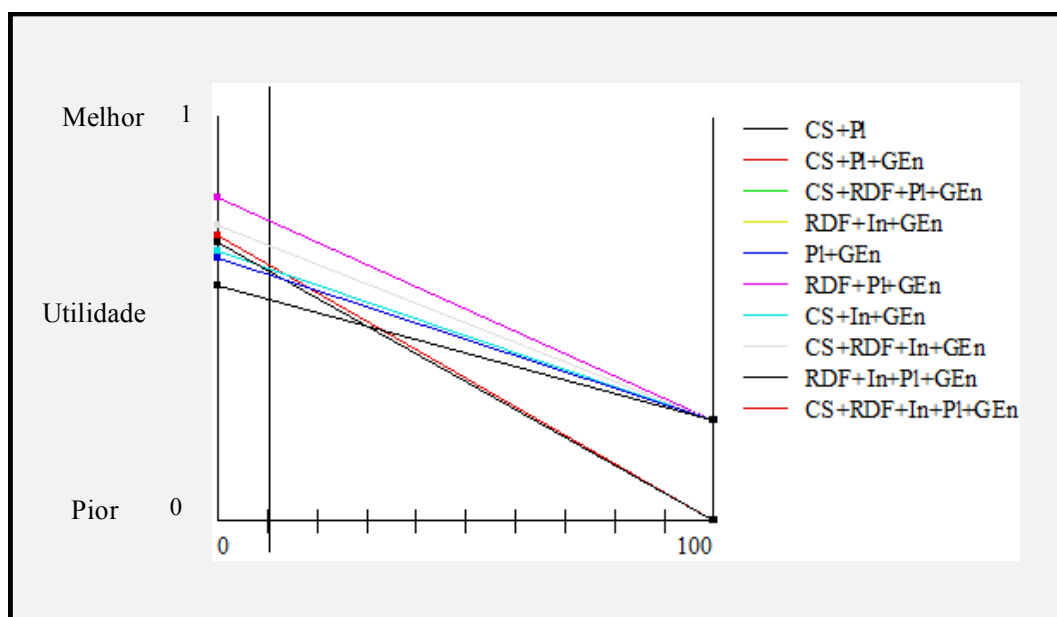


Figura 23 – Análise de Sensibilidade para Medida Custo de Operação e Manutenção

O peso da medida custo de operação e manutenção na solução total é representado pela linha intermediária vertical em 10,54%, e denota-se comportamento totalmente similar ao gráfico anterior, o da medida custo inicial, só diferindo no peso da medida no computo geral, pois os respondentes atribuíram a esta medida um peso ligeiramente menor. A solução de maior utilidade é de Seleção energética, Processamento a Plasma e Geração de Energia (RDF+PI+GEn), ao longo de todo o eixo de representação de percentual de peso, e seu senso de utilidade cai, linear e diretamente, com a maior atribuição de peso.

7.5.2 Subobjetivo denominado “Qualidade do resíduo” e suas medidas

A Figura 24 apresenta a análise de sensibilidade para o subobjetivo qualidade do resíduo, apontando que tem peso global de 23,65%, conforme a linha intermediária vertical.

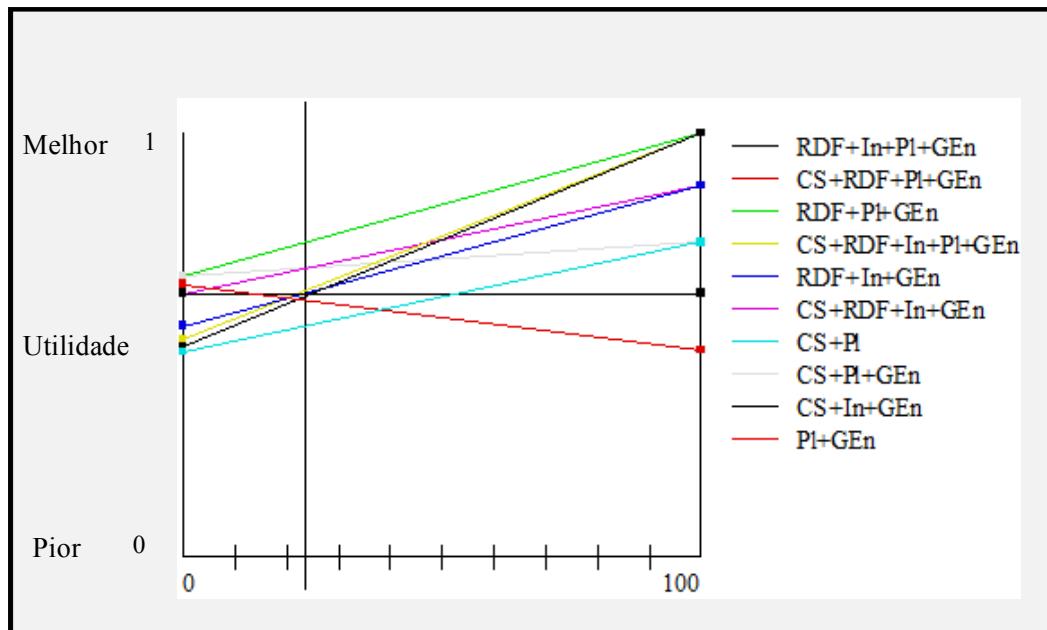


Figura 24 – Análise de Sensibilidade para Subobjetivo Qualidade do Resíduo

Conclui-se que a solução de Seleção Energética, Processamento a Plasma e Geração de Energia (RDF+PI+GEn) é dominante para todas as atribuições de peso, ao longo do eixo “x”. Para as demais variáveis há grande movimentação, um pouco abaixo deste percentual, como uma nova movimentação, próximo ao percentual de 40%; no entanto, essa variação não altera a supremacia da solução de Seleção Energética, Processamento a Plasma e Geração de Energia (PI+RDF+GEn), para esse subobjetivo.

A Figura 25 apresenta o gráfico de comportamento da medida classe do resíduo, embutida no subobjetivo qualidade do resíduo, agora isoladamente.

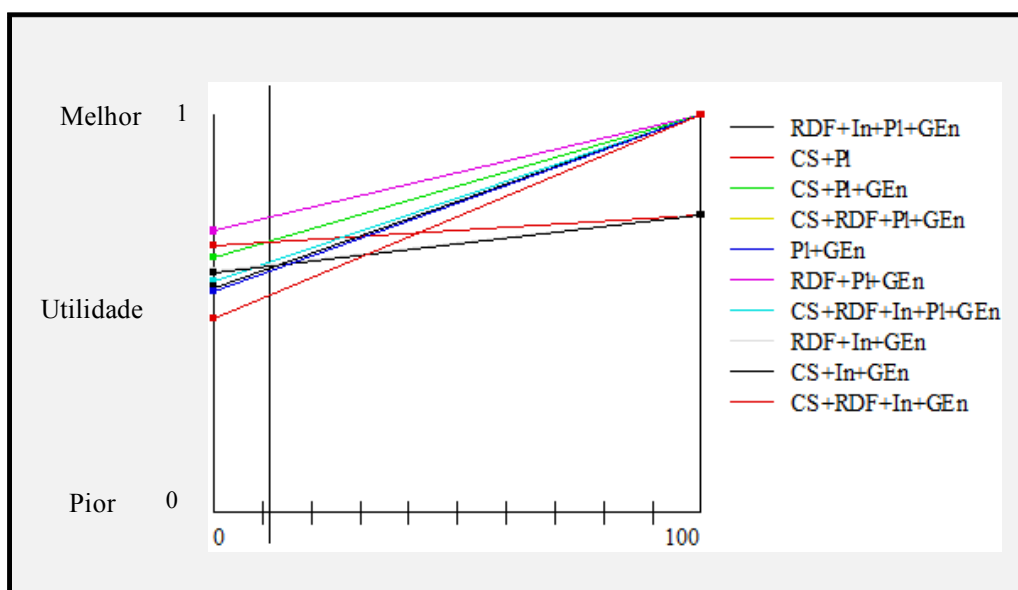


Figura 25 – Análise de Sensibilidade para Medida Classe do Resíduo

O peso da medida classe do resíduo na solução total é representado pela linha intermediária vertical em 11,57%. Conclui-se que a solução Seleção Energética, Processamento a Plasma e Geração de Energia (RDF+Pl+GEn) é dominante em qualquer percentual de peso que se atribua a essa medida.

A Figura 26 apresenta o gráfico de comportamento da medida separação, embutida no subobjetivo qualidade do resíduo, agora isoladamente.

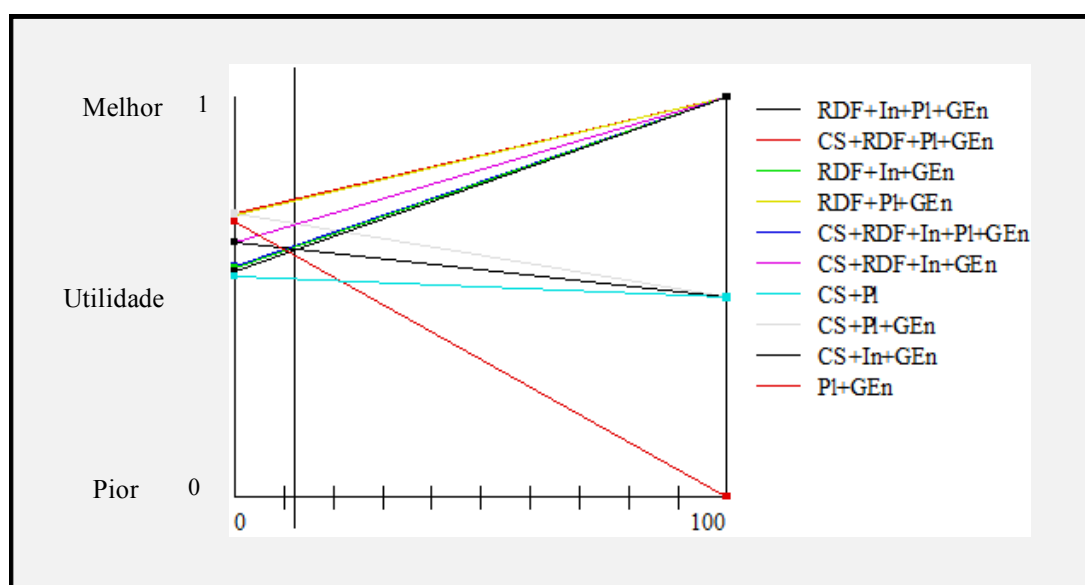


Figura 26 – Análise de Sensibilidade para Medida Separação

O peso da medida na solução total é representado pela linha intermediária vertical em 12,08%. Conclui-se que a solução de Seleção Energética, Processamento a Plasma e Geração de Energia (RDF+PI+GEn) é igualmente dominante em qualquer percentual de peso que se atribua a essa medida.

7.5.3 Subobjetivo denominado “Receita” e suas medidas

A Figura 27 apresenta a análise de sensibilidade para o subobjetivo receita, apontando que tem peso global de 13,37%, conforme a linha intermediária vertical.

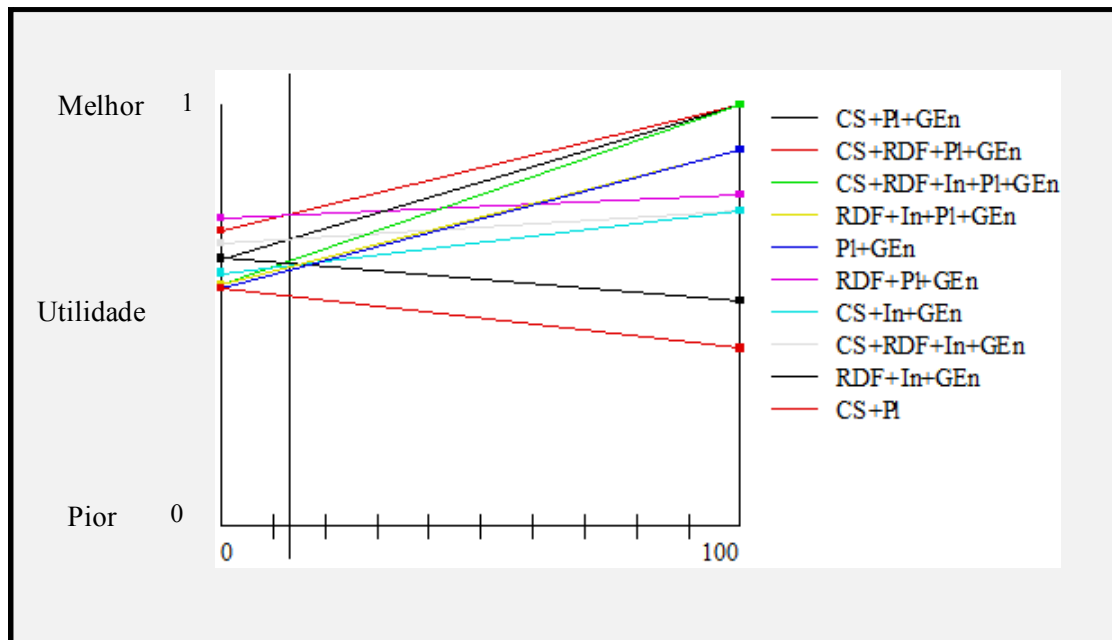


Figura 27 – Análise de Sensibilidade para Subobjetivo Receita e suas Medidas

A solução dominante até a linha de atribuição de peso dos especialistas é composta por Seleção Energética, Processamento a Plasma e Geração de Energia (RDF+PI+GEn), quando passa a ser dominante a solução Coleta Seletiva, Seleção Energética, Processamento a Plasma e Geração de Energia (CS+RDF+PI+GEn). Há grande quantidade de intersecções, mostrando como essa variável é crítica, em termos de seu peso na solução total.

A Figura 28 apresenta o gráfico de comportamento da medida venda de energia, embutida no subobjetivo receita, agora isoladamente.

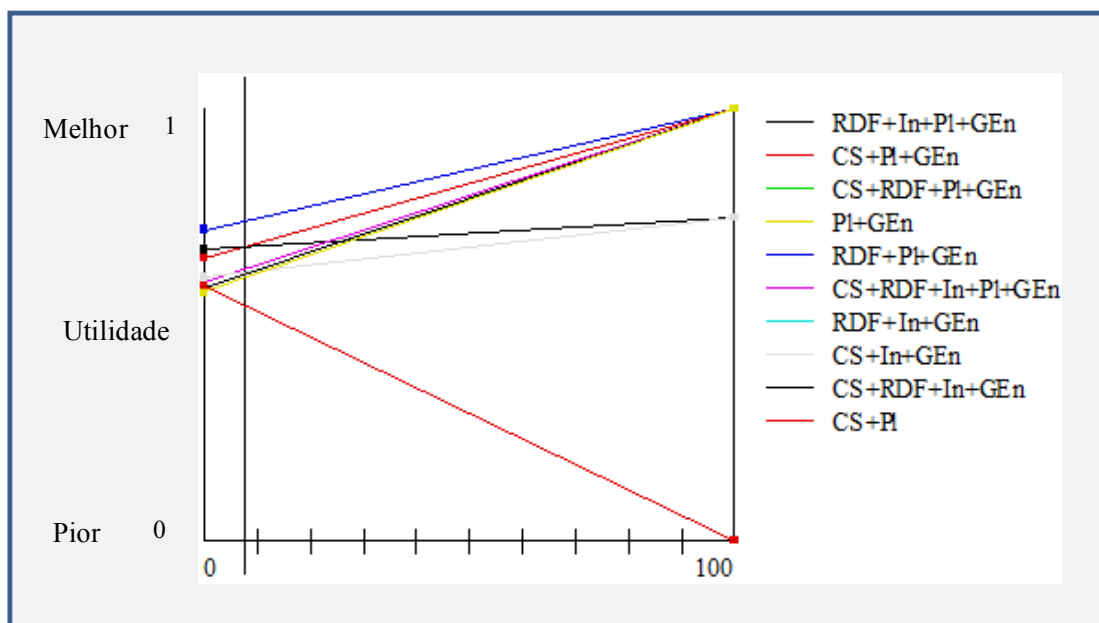


Figura 28 – Análise de Sensibilidade para a Medida Venda de Energia

O peso da medida na solução total é representado pela linha intermediária vertical em 7,71%. A solução composta por Seleção Energética, Processamento a Plasma e Geração de Energia (RDF+PI+GEn) é dominante em todo valor percentual de peso que possa ser atribuído.

A Figura 29 apresenta o gráfico de comportamento da medida venda de materiais, embutida no subobjetivo receita, agora isoladamente.

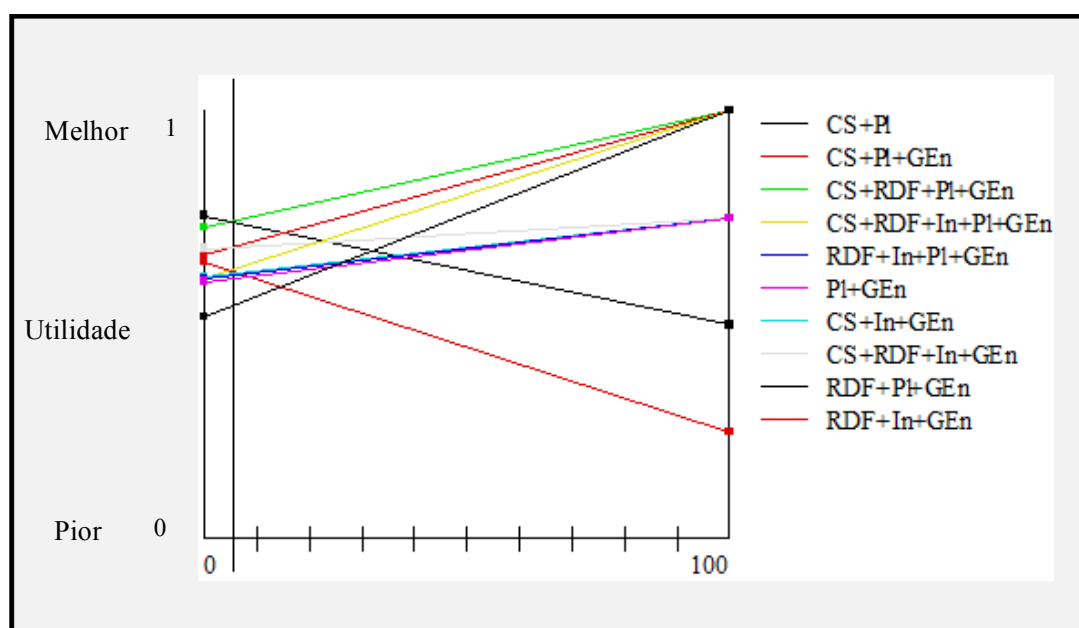


Figura 29 – Análise de Sensibilidade para Medida Venda de Materiais

O peso da medida na solução total é representado pela linha intermediária vertical em 5,66%. A solução composta por Coleta Seletiva, Seleção Energética, Processamento a Plasma e Geração de Energia (CS+RDF+PI+GEn) é dominante em todo valor percentual de peso que possa ser atribuído um pouco acima de 5%. Até esse valor havia a predominância da solução de Coleta Seletiva mais Plasma (CS+PI).

7.5.4 Subobjetivo e medida Créditos de carbono

A Figura 30 apresenta a análise de sensibilidade para o subobjetivo créditos de carbono, que contém apenas uma medida. O peso, atribuído pelos especialistas, está representado na vertical intermediária, no nível de 11,83%.

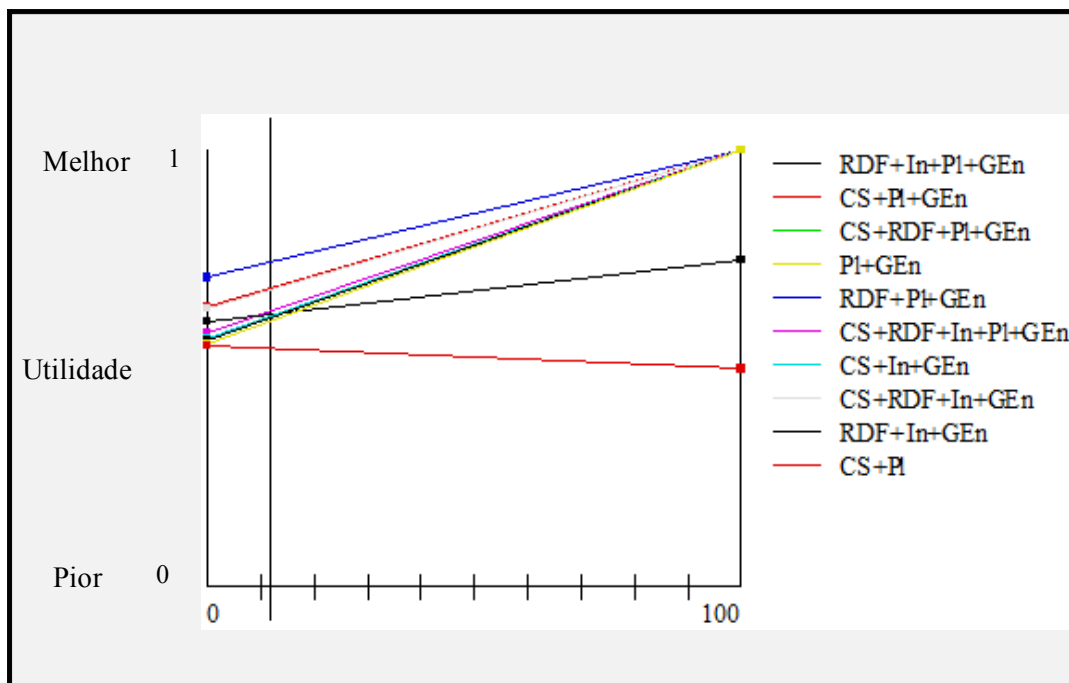


Figura 30 – Análise de Sensibilidade para Subobjetivo Créditos de Carbono

A solução dominante é composta por Seleção Energética, Processamento a Plasma e Geração de Energia (RDF+PI+GEn), seguida da solução de Coleta Seletiva, Seleção Energética, Incineração e Geração de Energia (CS+RDF+In+GEn). Das dez soluções em análise nesta figura, todas têm senso de utilidade que se eleva com o aumento do peso percentual da variável, a menos da solução de Coleta Seletiva com Processamento a Plasma (CS+PI), que é estável, com ligeira queda na medida em que se privilegia a geração de gás e sua captura, transformando-o em créditos de carbono, em vez de privilegiar a recuperação do material. Sistemicamente isso faz sentido no modelo, mas não no mundo real, onde a coleta seletiva e a reciclagem do material podem ter maior importância.

7.5.5 Subobjetivo e medida tempo

A Figura 31 apresenta a análise de sensibilidade para o subobjetivo tempo de instalação, que contém apenas uma medida representada pelos anos necessários para colocar a planta em operação.

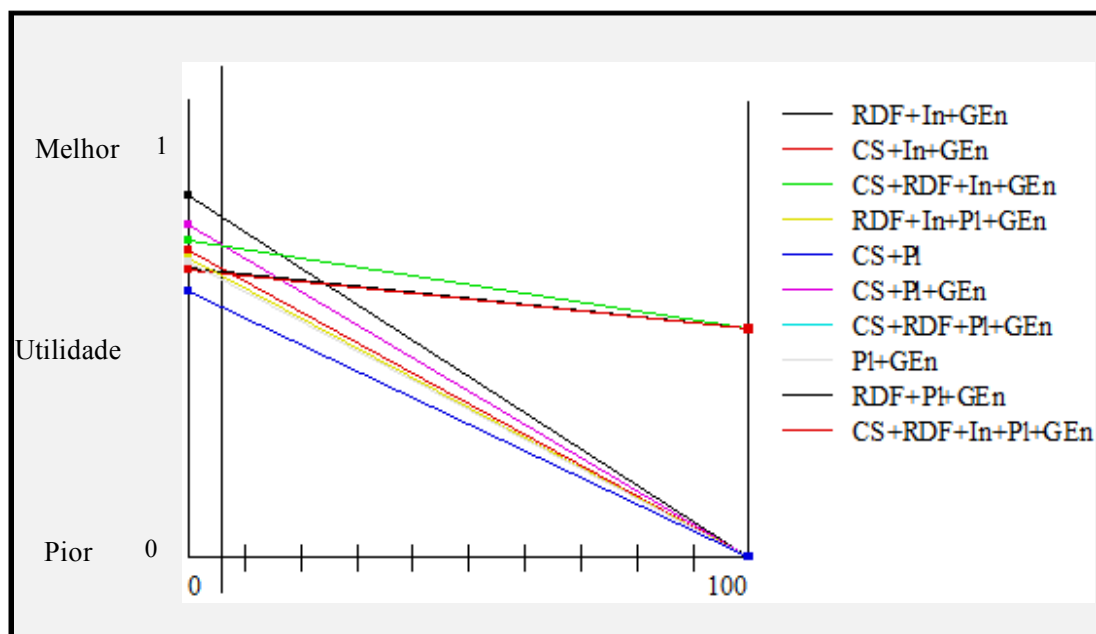


Figura 31 – Análise de Sensibilidade para Subobjetivo Tempo

O nível de atribuição de peso pelos especialistas é de 6,17%. A solução dominante até o nível de aproximadamente 18% de preferência de peso da medida é a de Seleção Energética, Processamento a Plasma e Geração de Energia (RDF+PI+GEN). A partir desse nível de peso, a solução dominante passaria a ser a de Coleta Seletiva, Seleção Energética, Incineração e Geração de Energia (CS+RDF+In+GEN). Pode-se concluir que todas as dez soluções apresentadas no gráfico caem de prioridade, conforme o nível de peso aumenta, pois as soluções, que podem se beneficiar da questão tempo são baseadas em aterro, que tem uma pontuação geral baixa, não aparecendo entre as dez prioritárias.

7.6 Considerações sobre as Soluções de Aterro

A Figura 32 apresenta uma comparação entre as soluções de aterro sanitário simples que apresenta atualmente o melhor valor presente líquido (VPL), com custos de investimento inicial da ordem de R\$ 40 a tonelada e de manutenção na ordem de R\$ 30 a tonelada, e da coleta seletiva, seleção energética, processamento e plasma e geração de energia (CS+RDF+PI+GEN) que apresentam um dos maiores VPL.

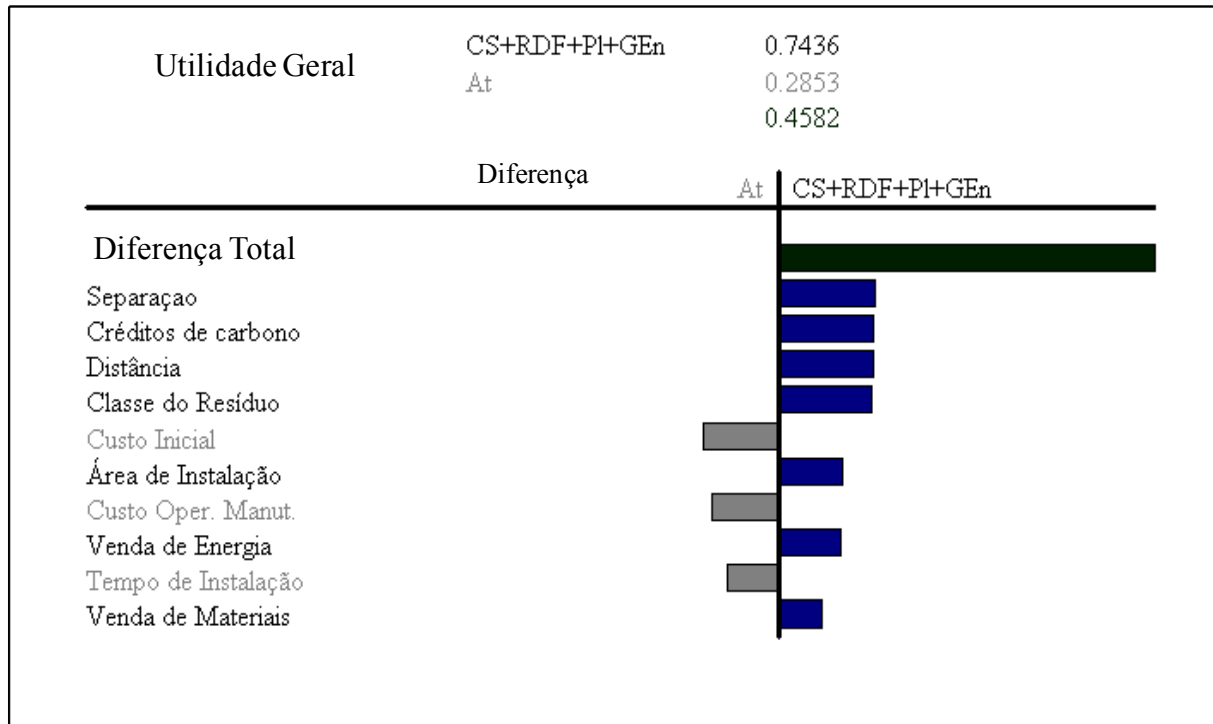
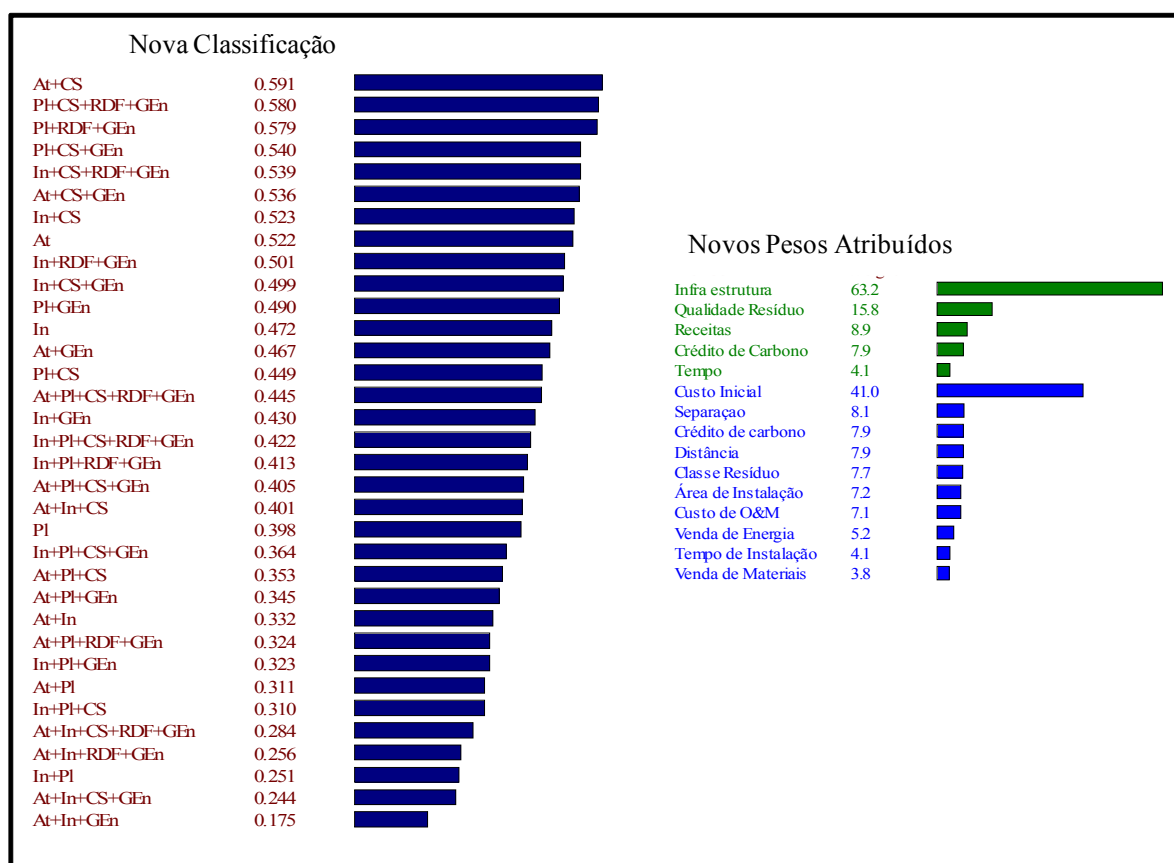


Figura 32 – Comparação entre duas Soluções Significativas

A solução de aterro ganha apenas nas variáveis de custo inicial, custo de operação e de manutenção e tempo de instalação. É importante ressaltar que se está considerando um aterro sanitário convencional, sem co-disposição, pois nesse caso a classe de resíduo teria outra pontuação. Fica evidente, nesta comparação, a dissonância entre a melhor solução econômica e a solução ambientalmente mais eficaz.

A Figura 33 apresenta uma simulação de sensibilidade dinâmica em que se fixam todas as variáveis e aumenta-se o peso unicamente da medida custo inicial, representando uma situação freqüente nas prefeituras, a de não ter como fazer um desembolso de caixa alto, pois não conta com linhas de financiamento adequadas.

Ao se elevar a medida custo inicial para um peso de 41%, redistribuindo igualmente os pesos das demais medidas, finalmente a solução aterro reunida com coleta seletiva, como usualmente praticado nos dias de hoje pela maioria das prefeituras, sobe para a primeira classificação. Nessa situação a infra-estrutura como um todo passa a ter peso total de 63,2%. Nessa situação que privilegia o baixo investimento inicial a variável crédito de carbono teria sua preferência reduzida para apenas 7,9%, ficando em terceiro lugar, abaixo da separação, classificada em segundo lugar.



Legenda:

At - Aterro sanitário; CS – Coleta Seletiva; GEn – Geração de Energia; In – Incineração;

PI – Processamento a Plasma Térmico; RDF – Seleção Energética (*refused derived fuel* – RDF).

Figura 33 – Sensibilidade Dinâmica - Aumentando o Peso da Variável Custo Inicial

7.7 Percepção dos Respondentes sobre as Variáveis Complementares

Pelos resultados obtidos, pode-se perceber uma tendência a considerar o aterro sanitário como a solução mais madura tecnologicamente, seguido da incineração e do plasma térmico. Tomadores de decisão avessos ao risco tenderão a optar por soluções que se baseiam no aterro.

A Tabela 10 sumariza esses resultados.

Questão	Número de respondentes	Emergente	Madura	Muito Madura	Média
Você considera a tecnologia do Aterro Sanitário	6		70+50+50	100+100+100	78,3
Você considera a tecnologia de Incineração	6		70+70+60+ 70+70	90	71,6
Você considera a tecnologia do processamento por Plasma Térmico	6	20+30	70+70+40+ 70		50,0
Você considera a tecnologia de obtenção de energia a partir de gás de lixo tecnologicamente	6	30	60+70+50+ 70+70		58,3

Tabela 10 – Percepção dos Respondentes sobre a Maturidade das Tecnologias

As informações da Tabela 10 podem ser observadas em sua forma gráfica na Figura 34.

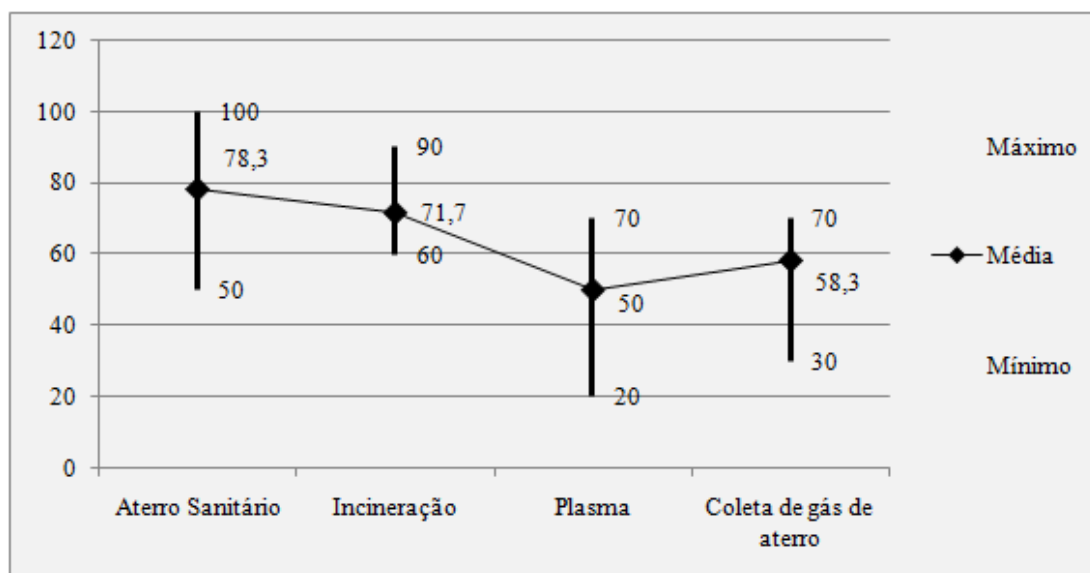


Figura 34 – Percepção dos Respondentes sobre a Maturidade das Tecnologias

7.8 Percepção dos Respondentes sobre as Variáveis Comerciais

Apresenta-se a seguir a percepção dos respondentes sobre variáveis de desempenho comercial das soluções tecnológicas.

Tabela 11 – Percepção dos Respondentes sobre as Variáveis Comerciais

Questão	Número de respondentes	de alto risco	de médio risco	de Baixo risco	Média
Você considera o Aterro Sanitário comercialmente	6	20+30		90+90+100+90	70,0
Você considera a Incineração comercialmente	6	20	60+70+50+50+60		51,7
Você considera o tratamento por Plasma Térmico comercialmente	6	20+0	50+60+40+20		31,7
Você considera a tecnologia de obtenção de energia a partir de gás de lixo comercialmente	6	20	60+70+40+20	80	48,3

A questão da maturidade comercial das soluções, associada a uma percepção de risco do negócio para os empreendedores, obedece a mesma ordem hierárquica da maturidade tecnológica, conforme demonstrado na Tabela 11. A Figura 35 apresenta, em forma gráfica, os dados de percepção dos entrevistados sobre a maturidade comercial das tecnologias, apresentados na Tabela 11.

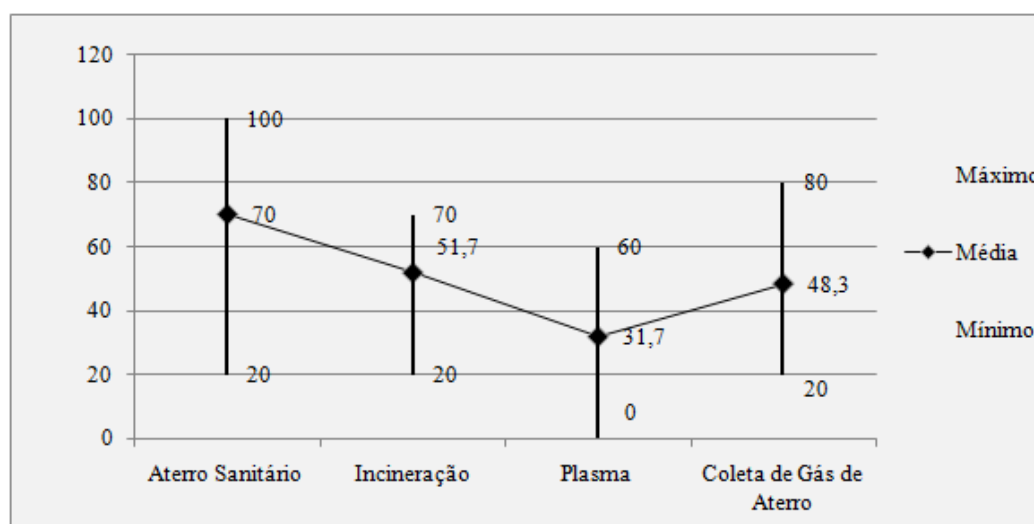


Figura 35 – Percepção dos Respondentes sobre a Maturidade Comercial das Tecnologias

Conclui-se que o aterro sanitário é a solução hoje comercialmente mais madura, e que o processamento a plasma é menos maduro, coerente com o número de plantas em operação no Brasil, pois só temos duas plantas de processamento térmico a plasma em operação.

7.9 Percepção dos Respondentes sobre a Coleta Seletiva

Quanto à questão da eficácia da coleta seletiva praticada pelas prefeituras, a percepção dos entrevistados, mesmo os que a defenderam explicitamente, é que ainda não atingiu um nível aceitável de eficácia, conforme demonstrado na Tabela 12.

Questão	Número de respondentes	Ineficaz	Eficaz	Muito eficaz	Média
Você considera a coleta seletiva praticada hoje em dia pelas prefeituras	6	0+10+20+30 +30+10			16,6

Tabela 12 – Percepção dos Respondentes sobre a Coleta Seletiva

A Figura 36 mostra a dispersão de opiniões sobre a efetividade da coleta seletiva, entre 0% e 30%, com uma média de 18%, bastante baixa, corroborando os dados qualitativos obtidos das entrevistas. Conclui-se que a coleta seletiva necessita de intensificação e de aperfeiçoamentos.

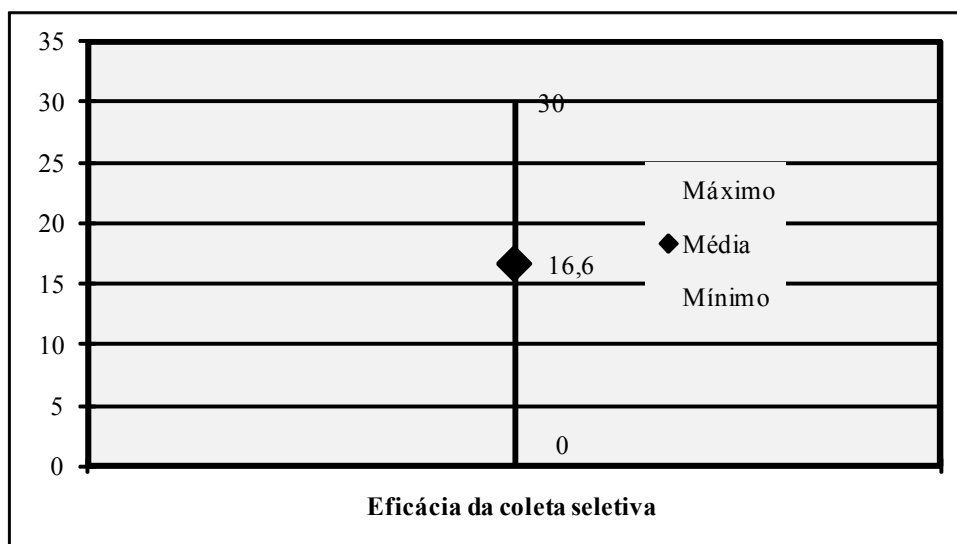


Figura 36 – Percepção dos Respondentes sobre a Coleta Seletiva

8 VALIDAÇÃO DO MÉTODO

O modelo proposto nesta tese evoluiu e se aperfeiçoou ao longo do processo de pesquisa, que teve início com o levantamento das principais técnicas mundialmente disponíveis para o tratamento de resíduos sólidos. Essas técnicas foram postas numa perspectiva sistêmica e, em seguida, foi agregada a teoria da gestão estratégica, com uma abordagem qualitativa. Sob uma perspectiva quantitativa foram estudados os sistemas estruturados de apoio à decisão, em busca da alternativa que melhor se adequasse ao modelo em construção. Com base nessas informações foi estruturada uma primeira abordagem, que foi exposta à banca de exame de qualificação da pesquisa, em que se propôs o uso da abordagem multiatributo com a técnica de foco no valor.

Após o exame de qualificação, as atividades tiveram uma seqüência, primeiramente com a seleção dos *stakeholders*. Iniciaram-se então as entrevistas de campo, em que a visão de alternativas tecnológicas na tese em elaboração foi aportada pela TSL Ambiental, discorrendo sobre incineração, plasma e a possibilidade, não confirmada, de uso de alternativas biológicas para o tratamento dos resíduos sólidos. Em seguida, incorporou-se a visão da busca da solução mais viável economicamente para o tratamento dos RSU, representada pelos aterros sanitários defendida pela ABELPRE. Acrescentou-se a importância de soluções de co-incineração e tratamento de resíduos perigosos ou de serviços de saúde com o posicionamento da ABETRE, que se foca no tratamento de resíduos perigosos. O primeiro ciclo de entrevistas foi concluído com o posicionamento do profissional da CETESB, que colocou suas preocupações de regulação do Estado, abordando a questão das emissões, e procedimentos para análise de soluções e controle de operações.

No segundo ciclo de entrevistas, incorporou-se a perspectiva humana, por meio do posicionamento do CEMPRE, com sua preocupação em inserir os conceitos de reciclagem e as cooperativas de catadores, tendo como benefício, além da melhoria da auto-estima dos catadores, os ganhos ambientais e de economia de matéria-prima e energia. O CEMPRE ainda ajudou a posicionar no modelo a técnica da compostagem para tratamento da parcela orgânica dos resíduos. Ainda quanto aos aspectos humanos, o modelo passou pelo filtro da saúde pública, por meio da crítica e colaboração da professora da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

Finalmente o modelo passou pelo processo de validação, ao ser confrontado com a percepção de utilidade para os administradores municipais, o que ocorreu em três momentos distintos:

- Entrevista na empresa EMDURB em Bauru, administradora dos resíduos sólidos urbanos;
- Entrevista na Secretaria de Meio Ambiente de Santos;
- Entrevista na Secretaria de Meio Ambiente de Piracicaba.

Este processo final de validação é descrito a seguir.

8.1 Aplicação do Método em Bauru

A cidade de Bauru situa-se na região centro-oeste do Estado de São Paulo, a 330 km da capital, numa altitude média de 526 metros, com área total de 675,2 km². Atualmente a população é estimada pela prefeitura local em 335 mil habitantes. Nasceu de um entreposto em um importante entroncamento rodoferroviário e tem sua economia baseada no comércio, na indústria crescente e na prestação de serviços.

Destaca-se como pólo universitário, contando com os campi da Universidade de São Paulo (área odonto-médica), da Universidade Estadual Paulista (áreas de ciências exatas e humanas), e de várias instituições superiores de ensino particulares, algumas estabelecidas há mais de quarenta anos. A Região Administrativa (RA), de Bauru, é composta por 39 municípios e ocupa uma área de 16.105 km², em 2002 contava com uma população projetada de 984 mil habitantes, 2,6% da população total do Estado. Os dados econômicos da RA são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Dados da Região Administrativa de Bauru

Área Total (Km ²)		Número de Municípios		Produto Interno Bruto (2003)		PIB <i>per capita</i> (2003)	
Região	Estado	Região	Estado	Região	Estado	Região	Estado
16.105	248.600	39	645	R\$ 9,8 bilhões	R\$ 494,8 bilhões	R\$ 9.800	R\$ 12.780
6,5%	100%	6,0%	100%	2,0%	100%	-	-

Fonte: Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, 2001.

A economia da RA de Bauru é bastante diversificada, e em seu parque industrial se destacam agroindústrias alimentícias, sucroalcooleira e de óleos vegetais. A existência do maior entroncamento rodo-hidro-ferroviário do interior da América Latina nessa região cria condições para um desenvolvimento econômico auto-sustentado, favorecendo não apenas a atividade industrial e agropecuária, como também os empreendimentos turísticos, contribuindo para a diversificação da economia local.

A cidade de Bauru particularmente ressentiu-se economicamente da privatização de várias empresas dos setores ferroviário, de energia elétrica e de telecomunicações que ali mantinham suas sedes administrativas regionais. Prestadora de serviços, sem um parque industrial forte, tem agora a perspectiva de se tornar um importante centro integrado de logística.

8.1.1 Situação dos resíduos na região administrativa de Bauru

Dados da CETESB (2007a) apontam certa dispersão da eficácia de tratamento dos resíduos sólidos pelas prefeituras da RA. Alguns pequenos municípios como Avaí, Borebi, Itajú e Piratininga apresentam índice superior a 9,0 para seus sistemas de aterro sanitário. Já os municípios de Itapuí, Macatuba e Lins apresentam as menores notas da região, inferior a 5,0. Os dados de 2006, último levantamento publicado, apresentaram a distribuição apresentada na Tabela 14, para os municípios da regional de Bauru da CETESB.

Quanto à prática da compostagem, também avaliada na pesquisa da CETESB, pode-se verificar que somente quatro municípios da região a praticam: Bocaina, Lençóis Paulista, Uru, e Pongaí, que não dispõe de facilidade própria, compostando em Uru. Das três instalações avaliadas, nenhuma atingiu a nota adequada. Cafelândia praticava a compostagem até no ano anterior, com avaliação inadequada, não constando mais avaliação no último relatório.

A Tabela 14 apresenta os dados de avaliação da CETESB para a região administrativa de Bauru.

Tabela 14 – Classificação dos Aterros na Região de Bauru

Município	ton/dia - 2006	IQR* - 2005	IQR* - 2006	Índice 2006	Observação
Agudos	12,9	6,4	7,2	C	
Arealva	2,2	8,3	8,9	A	
Areiópolis	3,5	8,4	8,3	A	
Avai	1,3	8,9	9,3	A	
Balbinos	0,4	8,4	8,7	A	
Bariri	11,4	6,9	6,0	I	
Barra Bonita	15,1	3,7	5,4	I	
Bauru	211,7	7,7	8,7	A	
Bocaina	4,1	7,7	7,4	C	
Boracéia	1,4	8,8	8,0	C	
Borebi	0,7	9,3	9,8	A	
Cafelândia	5,3	7,2	8,0	C	
Dois Córregos	9,0	7,9	8,8	A	
Guaiçara	4,1	8,8	8,7	A	
Guarantã	2,1	8,9	8,9	A	
Iacanga	3,0	8,8	8,5	A	
Igaraçu do Tietê	9,4	8,4	8,5	A	
Itajú	0,7	8,7	9,5	A	
Itapuí	4,2	4,7	4,7	I	
Jaú	60,2	5,5	5,5	I	
Lençóis Paulista	24,0	8,6	8,4	A	
Lins	27,8	4,0	3,7	I	
Macatuba	6,7	4,4	4,3	I	
Mineiros do Tietê	5,0	10,0	8,8	A	
Pederneiras	14,9	7,3	7,4	C	
Pirajuí	6,8	8,5	7,6	C	
Piratininga	3,8	10,0	9,5	A	
Pongai	1,2	8,5	8,8	A	Dispõe em Uru
Pratânia	1,2	9,7	9,0	A	
Presidente Alves	1,3	4,6	6,3	C	
Reginópolis	1,5	8,3	8,9	A	
Sabino	1,7	8,0	8,3	A	
São Manuel	14,8	9,2	8,9	A	
Uru	0,4	8,5	8,8	A	
Total da Região	473,8	-	-	-	

*IQR - Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos

A = Condição Adequada; C = Condição Controlada; I = Condição Inadequada

Fonte: CETESB, 2007a.

8.1.2 Auditoria ambiental no município de Bauru

A Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SEMMA), de Bauru, estima que são encaminhados ao aterro sanitário local em média 220 t/dia de resíduos (um pouco acima do identificado pela CETESB), atualmente. O município de Bauru tem um aterro sanitário e uma central de triagem de materiais recicláveis. Verificam-se na cidade alguns problemas em relação aos resíduos, tais como o lixo reciclável misturado com lixo comum, disposição inadequada dos resíduos e outros. Como centro médico regional, a geração de resíduo de serviços de saúde é significativa e requer atenção especial das autoridades (RINO; VENTURINI, 2005).

Segundo a SEMMA, 65% da zona urbana da cidade são contempladas pela coleta seletiva, que é realizada por equipe uniformizada e, durante os trabalhos de campo, todos usam equipamentos de segurança. É feita semanalmente, com horários predeterminados e divulgados por meio de folhetos e jornais. A central de triagem, ponto de recepção oficial de material reciclável coletado, tanto pelo caminhão quanto por catadores e comunidade, está situada próxima ao almoxarifado da Prefeitura Municipal, possui um escritório, banheiros e um refeitório. É nessa central que, após a coleta, realiza-se a separação ou triagem dos materiais para posterior venda. O processo é todo manual, deposita-se o produto da coleta diretamente no chão e separam-se seus componentes. De acordo com a SEMMA, a maior dificuldade enfrentada é a atividade dos "catadores de rua", que passam antes dos caminhões de coleta e levam todo o material reciclável, possivelmente para depósitos não legalizados. Os catadores de rua se antecipam aos caminhões da coleta seletiva, pegam os sacos do lixo, e os levam para um terreno baldio, para separar o que interessa e depois queimam ou descartam inadequadamente ali mesmo o restante (RINO; VENTURINI, 2005).

8.1.3 Dados complementares

Foi inicialmente entrevistado o sr. Rubens Trentini Duque, diretor de Limpeza Pública, que apresentou os seguintes dados:

- O aterro de Bauru recebe em média 220 t/dia, com pico de 260 t/dia no início da semana e que cai para 180 t/dia nos últimos dias da semana;

- Existe uma dificuldade logística pelo fato da coleta seletiva ser efetuada de maneira independente, e às vezes conflitante, da coleta regular. Está tentando um acordo com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente para coordenar esforços;
- O atual aterro opera desde 1994, está na terceira camada e tem autorização para abrir a quarta camada, desde que conclua o projeto da lagoa de chorume, com aplicação da manta impermeabilizante;
- O atual aterro dista cerca de 15 km da região central do município e atende as normas específicas da CETESB;
- Ressaltou a necessidade de melhoria da estação de separação da coleta seletiva, com a incorporação de uma esteira para automatizar o processo;
- Comentou que o aterro de Bauru teve sua pontuação reduzida em 2005 para 7,8 em virtude de um problema com os queimadores de gás, assunto que já foi resolvido;
- Tem conhecimento do projeto de recuperação de gás para transformação em energia, mas o projeto não está sendo trabalhado em sua diretoria, e considera que não foram recebidas propostas firmes ainda por parte de empresas interessadas, uma vez que ainda não saiu o edital.

8.1.4 Entrevista com o presidente da EMDURB Bauru

Tendo em vista a validação do modelo proposto, além da entrevista com o diretor de Limpeza Pública, foi realizada entrevista com o presidente da Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano de Bauru, conforme descrito a seguir.

Nome: Carlos Alexandre Barbieri

Função: presidente (desde janeiro de 2007) da Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano de Bauru (EMDURB), que tem entre outras a responsabilidade de estabelecer diretrizes para o setor, coletar o lixo urbano e gerenciar o aterro municipal de Bauru, desde janeiro de 2007. Anteriormente foi secretário municipal da SEMMA. É ex-diretor da Associação Nacional de Administradores de Meio Ambiente (ANAMMA-SP), Seção São Paulo, entidade nacional que congrega secretários municipais do meio ambiente e sugere políticas para o setor.

Aplicação do Questionário

a) Qual o problema enfrentado pela comunidade de Bauru quanto aos resíduos urbanos (dimensões quantitativas e qualitativas)?

O entrevistado afirma que falta ao município uma política única para coleta, tratamento e destinação final que abranja todos os tipos de resíduos. Os resíduos de serviços de saúde (RSS) vão hoje para uma vala séptica, numa área especial dentro do aterro municipal, especialmente preparada para isso. No entanto, essa área está se esgotando, e a CETESB vem dificultando a abertura de novas valas sépticas, o que torna difícil a expansão dessa solução. O resíduo industrial, de responsabilidade do gerador, usualmente vai para o ESTRE em Paulínia, distante 240 km, mas há uma pressão constante da indústria para que o aterro municipal receba também esse resíduo. Do ponto de vista organizacional, o município sente falta de uma política única que defina o que cada ente deve tratar: a coleta regular e a varrição de ruas, por exemplo, estão por conta do Departamento de Limpeza Pública (DLP), da EMDURB; a coleta seletiva e o recolhimento dos entulhos de construção civil estão a cargo da SEMMA, e não há nenhuma diretriz comum que defina a cooperação e responsabilidades de cada órgão.

O entrevistado começou a trabalhar nessa integração quando era secretário da SEMMA; no entanto, agora do outro lado, na direção da EMDURB, com as novas responsabilidades, afirma que ainda não pode finalizar o processo. O desafio principal é terminar bem essa atual administração e deixar para o município uma política, o que faz falta ao município.

O entrevistado também afirma que sente falta de compromisso da cidade de Bauru em relação ao serviço de coleta e tratamento de resíduos. O munícipe entende que o lixo é um problema dele só enquanto o está gerando. Entende que, ao dispor o saco de lixo na porta de sua casa, o seu problema acabou. Que não é mais responsável pelo seu resíduo, não se responsabilizando por aquilo que gerou. Informa que são feitas campanhas massivas sobre a questão do lixo, mas não existe um retorno adequado da população. Complementa que, do ponto de vista institucional, o município acaba sendo refém de situações. Vem o Estado e determina, o município obedece, ou regulamenta o que Estado determinou, porém, muitas vezes, no ato de determinar regras, o município acaba por afetar interesses locais. Fica difícil se aprovar determinadas leis, como as de Resíduos Sólidos Urbanos, que afetam interesses locais. A tensão acaba por chegar até a Câmara Municipal, onde vereadores defendem interesses

diversos. Ao se onerar, por exemplo, o setor produtivo, gera-se um impasse entre os vereadores. A imposição de um Decreto Municipal pode não ter o peso de uma Lei, o que dificulta a sua adoção em larga escala.

Quanto à possibilidade de uma política, ou enfoque regional, considera que os municípios da região têm que caminhar muito para atingir o desempenho de Bauru (que teve uma nota abaixada pela CETESB no inventário de 2005, por razão de um episódio com os queimadores do gás emitido (*flares*), problema que já foi resolvido e a nota subiu para 8,7 em 2006).

O presidente da EMDURB lembra que, segundo a CETESB, a cidade vizinha Jaú, tem nota 5,2, Lins tem nota 4,0, e Marília ainda está no estágio do lixão. A CETESB recomenda a todos esses municípios que se espelhem nas técnicas adotadas em Bauru. Considera que embora o aterro de Bauru seja antigo, necessita abrir agora uma quarta camada, mesmo assim é o melhor da região.

Já participou de reuniões do Conselho de Desenvolvimento Regional (CODER), um dos órgãos que arbitra essa questão, onde têm assento também a FIESP e a CIESP. Sua percepção é de que há pessoas que acabam por influenciar certas decisões, sem que se discuta realmente com os municípios qual seria a melhor política para o grupo. Já participou de reuniões em que os dados apresentados sobre geração dos resíduos, por um professor da UNESP, não correspondiam à verdadeira situação de Bauru, que conta com o único aterro licenciado da região.

A grande preocupação com Bauru é no sentido de impedir que a cidade retroaja ao estágio desses municípios vizinhos. Entende que ao se formar um grupo, todos têm que se deslocar em conjunto, para atingir um estágio mais avançado, sem que Bauru, que está no estágio mais avançado, perca posição. Mas acredita que as coisas podem ter evoluído, e poderia se retomar essa discussão conjuntamente.

Outro grave problema é o da coleta seletiva, com a prática de um modelo que não se mostra sustentável. O município gasta R\$ 500 mil ao ano e gera uma receita para as famílias de R\$ R\$ 100 mil ao ano. Seria mais econômico se a prefeitura simplesmente subsidiasse essas famílias. As cooperativas de catadores são ineficientes no trabalho de separar o material

proveniente da coleta seletiva, entregue pela prefeitura, e então de auferir renda. Existe uma grande ineficiência do atual sistema.

Talvez a solução esteja em abrir totalmente, passando a responsabilidade para essas cooperativas, com terceirização total da coleta seletiva, por conta do rombo anual de R\$ 400 mil. Hoje além de todo o prejuízo do processo, as Cooperativas pedem que a prefeitura pague por encargos sociais desses trabalhadores, que têm uma função autônoma. Se houvesse uma usina de separação profissional, com esteiras e um processo bem definido, talvez a situação fosse melhor.

Existe ainda o conflito com os catadores, que se antecipam à coleta seletiva. Como as rotas dos caminhões são previamente divulgadas para que a população se prepare, eles passam antes da coleta seletiva oficial. A situação desses trabalhadores também é preocupante, inclusive com possibilidade de trabalho escravo nos depósitos de reciclagem, não obstante o presidente da EMDURB, junto com o representante do Ministério Público local, tenha trabalhado para coibir estes abusos e diminuir a problemática dos depósitos clandestinos.

O entrevistado afirma que a solução da coleta seletiva deve passar por um acordo com as cooperativas, que devem essas assumir responsabilidades para a melhoria da eficiência. E em não havendo acordo, será pedido a elas que assinem um termo em que se declarem afastadas do processo, dando a liberdade ao município para trabalhar sua política, incluindo a possibilidade de trazer a iniciativa privada para operar a coleta seletiva profissionalmente. Quem vier a oferecer mais benfeitorias ao município, poderá vir a assumir essa operação. Mesmo tendo o atual modelo passado pela Conferência das Cidades, ainda não atingiu estágio de eficiência. Conclui afirmando que o modelo praticado no Brasil ainda não está acabado, precisando ser aperfeiçoado.

b) Quais as forças que favorecem a resolução dos problemas?

O entrevistado considera que a força que mais contribui para a resolução do problema dos resíduos urbanos em Bauru é o fato de o atual modelo estar esgotado e não dar mais para esperar. Ainda nesse ano, 2007, pretende que o município tenha uma nova política para o setor. Independente de movimentos da região, Bauru terá que se movimentar para achar o seu modelo de gestão. A situação chegou num ponto em que o município precisa resolver. Essa

força está empurrando para que encontre uma solução (no momento da entrevista o presidente da EMDURB foi convocado para uma reunião com o Ministério Público, na tentativa de conciliação com o Sindicato dos Trabalhadores da Limpeza Urbana, prestes a decretar greve por reajuste salarial).

No momento têm vários caminhões de coleta quebrados, não se consegue investir na frota, e os trabalhadores pedem reajuste salarial, tudo isso faz com que as engrenagens estejam travadas. Considera que a Prefeitura terá que investir no tratamento de resíduos e que a sociedade deve ser chamada a participar da solução do problema.

O Centro das Indústrias do Estado de São Paulo (CIESP), que congrega os geradores de resíduos industriais, entende o problema, e é parceiro. A Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) também participa das discussões, e a Câmara Municipal está sensível ao problema. Tudo deságua para uma solução política do problema, definindo inclusive se continua ou não com o aterro sanitário, ou parte para outras tecnologias. Precisa decidir se monta uma estação de tratamento para a reciclagem, ou se terceiriza todo o processo, ou ainda se deve ou não ser feito compostagem.

O primeiro passo seria o estabelecimento dessa política, não a longo prazo, mas com ações a curto e médio prazos. O aterro está se esgotando em um ano, no máximo um ano e meio. Precisa ter uma solução, senão Bauru não terá onde pôr o lixo. Foi construída uma grande lagoa de estabilização do chorume, de recirculação, mas o custo da manta de revestimento é de mais de R\$ 300 mil, dinheiro que hoje não está disponível na EMDURB, e a Prefeitura Municipal terá que apoiar. A quarta camada, que a CETESB prometeu liberar diante da melhoria em curso da lagoa de chorume, também dá uma sobrevida de apenas dois anos, quando o problema estará de volta.

Afirma que, em 2005, recebeu visitas de empresas privadas interessadas em operar um aterro em Bauru. Tentou-se instalar um projeto de emergência, que não foi bem recebido pela sociedade. Portanto, a solução de terceirizar, se for escolhida, tem que ser feita com calma e convencimento da sociedade.

Hoje, em 2007, afirma que, a proposição de qualquer tipo de terceirização pode ser contestada *a priori*, em função do processo anterior, e está descartada até o estabelecimento de uma

política bem definida para o setor. Há uma questão moral envolvida, e o foco no momento é o do investimento, para manter o que se tem operando. Também existem várias empresas interessadas na coleta do gás do aterro, e também isso carece de uma política, antes da tomada de decisão.

c) Quais as forças que inibem a resolução do problema?

Com relação ao tratamento dos resíduos em si, o que trava o sistema é a falta de recursos. A situação financeira do município não é adequada, e da empresa que dirige, a EMDURB, pior, com uma dívida que exige o pagamento de R\$ 280 mil por mês (quantia suficiente para comprar três caminhões de coleta de lixo) só de refinanciamento da dívida, consequência de decisões tomadas em gestões anteriores. Gostaria de investir numa autoclave para RSS, por exemplo, mas não é possível. Sobre as novas tecnologias, informa que conhece estudos empíricos do plasma, mas que não tem conhecimento como solução efetiva no tratamento de resíduos.

No caso da coleta seletiva o que trava é a participação massiva da população. O modelo atual pede a separação dentro da residência, o que só vai funcionar se todos aderirem. Só assim seria possível tirar os 40% a 60% de parcela reciclável do resíduo.

d) Com base nesta análise, quais são as três principais alternativas para resolver o problema de resíduos urbanos em Bauru?

- Estruturação de uma política para os resíduos sólidos do município;
- Deslocamento de recursos do poder público para o município vindos dos governos estadual ou federal ou mesmo de receitas do município para a EMDURB que opera o setor em Bauru;
- Parceira entre o município e uma organização que aportasse conhecimentos específicos do setor e que ajudasse o município a se direcionar para o melhor aproveitamento de soluções técnicas.

e) Adotando o modelo de decisão proposto para comparar as alternativas, qual aquela a ser escolhida?

Quando exposto o modelo, o entrevistado afirma que, como engenheiro florestal, e como administrador público, pensaria na adoção da solução mais eco-eficiente, manifestada numa planta de tratamento do resíduo por plasma, acompanhada de soluções de coleta seletiva para minimização do resíduo, de separação para aproveitamento de materiais, de aumento do poder calorífico e da transformação do resíduo em energia. Obviamente que há restrições de custo, que devem ser ponderadas, mas essa seria, pelo apresentado, a solução ideal, pois daria o melhor retorno ambiental para o município e diminuiria os encargos futuros que os aterros acabam por gerar, mesmo após a sua desativação.

Considerou muito útil, além da abordagem quantitativa do método, como as questões gerais podem ser trabalhadas qualitativamente, afinando para a tomada de decisão.

f) Com base na aplicação do modelo de decisão proposto, quais são as dimensões críticas para sua implantação?

O entrevistado avalia que a possibilidade de chamar as forças sociais corretas para a participação nas decisões como ponto crítico do modelo. Acha que o modelo pode ser adotado no município para encontrar a solução de compromisso, diante das restrições financeiras atuais, delineando o futuro programa de tratamento de resíduos. Dispôs-se a oferecer seu município para implantar um programa piloto deste modelo de decisão. De ante-mão revela sua preferência pela tecnologia do processamento a plasma pelas suas características de adequação ambiental.

8.1.5 Conclusões sobre o caso de Bauru

O modelo proposto, na visão do executivo, ainda agrega a possibilidade de se estabelecer soluções de compromisso até mesmo a curto prazo. Pode substituir a discussão, que acaba por desaguar na Câmara Municipal, com vereadores defendendo propostas parciais, representativas dos setores que representam. Quer sejam empresários preocupados com a viabilização de seus negócios, procurando soluções mais econômicas para tratamento dos resíduos que suas indústrias geram, quer sejam as parcelas da população sensíveis aos interesses dos excluídos, buscando uma alternativa de renda para as cooperativas de catadores. Ou ainda as parcelas conscientes da questão ambiental, preocupadas com soluções que não venham a degradar a terra, o ar e a água.

A Figura 37 apresenta a aplicação do modelo para a Região de Bauru.

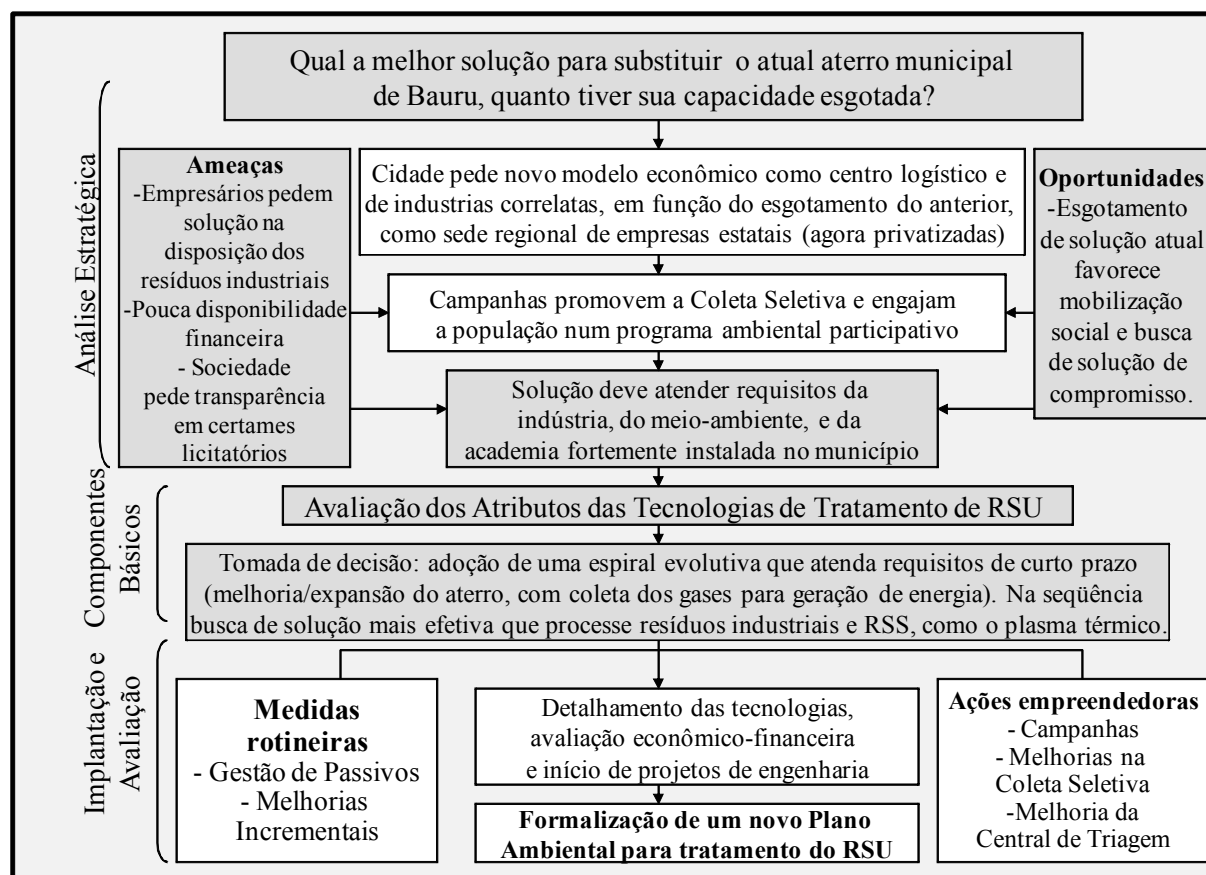


Figura 37 – Aplicação do Modelo na Região de Bauru

A apresentação do modelo ao principal executivo de gestão dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Bauru teve um retorno positivo, nem tanto pelos resultados técnicos apresentados, mas principalmente por oferecer a possibilidade de uma abordagem integrada. A atual abordagem praticada no município, pelos relatos descritos, evidencia-se totalmente fragmentada. A opção manifesta pelo executivo é por esgotar ao máximo a capacidade do atual aterro, promovendo melhorias conforme apontado no modelo, e quando do seu esgotamento implantar uma solução mais avançada, como o processamento a plasma.

8.2 Aplicação do Método em Santos

A Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS) é composta de nove municípios: Bertioga, Cubatão, Guarujá, Itanhaém, Mongaguá, Peruíbe, Praia Grande, Santos e São Vicente. Possui uma área territorial de 2.372 km² (correspondendo a menos de 1% da superfície do Estado de São Paulo). É a terceira maior região do Estado de São Paulo em

termos populacionais, com uma população com mais de 1,4 milhão de moradores fixos, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007).

Nos períodos de férias, acolhe igual número de pessoas, que se instalam na quase totalidade em seus municípios. (EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO, 2007).

A RMBS caracteriza-se pela grande diversidade de funções presentes nos municípios que a compõem. Além de contar com o parque industrial de Cubatão e o complexo portuário de Santos, desempenha outras funções de destaque em nível estadual, como a atividade industrial e de turismo, e outras de abrangência regional, como o comércio atacadista e varejista, o atendimento à saúde, educação, transporte e sistema financeiro. Têm presença marcante na RMBS atividades de suporte ao comércio de exportação, originadas pela proximidade do complexo portuário. O Porto de Santos é o maior e mais importante complexo portuário da América do Sul, responsável por mais de um terço de todo o comércio exterior do Brasil e por atender cerca de 17% do território brasileiro, onde é gerada 55% da renda nacional. Com aproximadamente 13 km de cais, quase 500 mil m² de armazéns, movimenta 40 milhões de toneladas de carga geral por ano, 43% do movimento nacional de contêineres. Para o Estado de São Paulo, a presença do Porto representa enorme avanço econômico, permitindo o direcionamento de grande parcela de suas atividades industriais e agrícolas para o suprimento de mercados internacionais. As atividades industriais, localizadas predominantemente em Cubatão, importante pólo siderúrgico em escala regional, assim como as portuárias em Santos e as ligadas ao comércio, serviços e atividades de turismo e veraneio, têm reflexos diretos na economia da RMBS. Respondem pela geração de um Produto Interno Bruto de US\$ 7,4 bilhões ou, ainda, por uma renda per capita de US\$ 5.023 (EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO, 2007).

O crescimento exacerbado em Santos, Cubatão e Guarujá, aliado a outras atividades geradoras de emprego nos setores de comércio e serviços, provocou um movimento altamente pendular em direção a outros municípios, com melhores condições de habitabilidade e espaço. Os municípios de São Vicente, Praia Grande e o distrito de Vicente de Carvalho, no Guarujá, adquiriram características de cidades-dormitório, apresentando intensa conurbação entre si, só prejudicada pela presença de restrições de ordem física, que os impedem, aqui e ali, de apresentar uma mancha urbana contínua.

Apesar da função portuária, importante para um crescente intercâmbio, e em face do processo de globalização, do expressivo pólo siderúrgico e da indústria de turismo, a RMBS apresenta problemas comuns aos grandes aglomerados urbanos, como, por exemplo, os relacionados com a questão ambiental, carência de infra-estrutura, saneamento ambiental, transporte e habitação (EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO, 2007).

8.2.1 Situação dos resíduos na RMBS

A situação dos resíduos dos municípios da RMBS pode ser observada na Tabela 15. Dos nove municípios, quatro dispõem em Santos (Bertioga, Cubatão, Guarujá e Santos), no aterro particular Terrestre, dois dispõem em Mauá (Praia Grande e São Vicente), no aterro particular Lara, distante 90 km. Estes seis municípios têm uma situação aceitável (Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) acima de 8, Peruíbe tem situação controlada (IQR = 6,2), e Itanhaém e Monguaguá têm IQR insuficiente, dispondo em aterros controlados. Pode-se observar que a avaliação caiu de 2005 para 2006.

Cubatão dispõe em Santos, mas para efeito da atuação da CETESB se constitui numa região independente, possivelmente em função de, no passado, ser considerado um dos municípios mais poluídos do mundo.

Tabela 15 – Classificação dos Aterros na Região Metropolitana da Baixada Santista

Município	ton/dia- 2006	IQR* - 2005	IQR* - 2006	Índice - 2006	Observação
Bertioga	23,0	9,6	9,4	A	Dispõe em Santos, aterro privado
Cubatão	60,2	9,6	9,4	A	Dispõe em Santos, aterro privado
Guarujá	185,8	9,6	9,4	A	Dispõe em Santos, aterro privado
Itanhaém	38,4	4,3	3,5	I	
Monguaguá	21,1	3,2	2,4	I	
Peruíbe	27,3	6,2	6,2	C	
Praia Grande	155,7	9,2	8,9	A	Dispõe em Mauá
Santos	249,5	9,6	9,4	A	Aterro Privado
São Vicente	197,1	9,2	8,9	A	Dispõe em Mauá
Total	958,1	-		-	-

*IQR - Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos

A - Condição Adequada; C = Condição Controlada; I = Condição Inadequada

Fonte: CETESB, 2007a.

8.2.2 Auditoria ambiental do município de Santos

A população da cidade de Santos, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007) era de 418.375 habitantes em 2006. Há quinze anos a Prefeitura de Santos já vinha enfrentando problemas na disposição dos RSU. Em 3 de abril de 1992, firmou Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) com o Ministério Público do Estado de São Paulo, visando à implantação de novo aterro sanitário, sob pena de multa diária no valor correspondente a 50 (cinquenta) salários mínimos por dia.

Esse acordo não foi cumprido e o Ministério Público promoveu ação de execução em abril de 1994. O processo judicial foi extinto, tendo em vista que um novo termo de ajustamento de conduta foi firmado entre o Município e o Ministério Público. Decidiu-se então adotar a orientação do “Plano Diretor de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana da Baixada Santista”, objeto de deliberação do Conselho de Desenvolvimento da Baixada Santista (CONDESB).

A solução indicada para o período de 2000 a 2006, foi o envio dos RSU de Santos para aterro a ser implantado no Sítio dos Areais, no Município de Cubatão, e para o período de 2007 a 2015, o envio desses resíduos para o incinerador que seria implantado na área continental de São Vicente, rodovia Padre Manoel da Nóbrega, Km 68, no município de São Vicente.

No entanto, em 22 de fevereiro de 2000, a Câmara Municipal de Cubatão alterou a Lei Orgânica daquele município, criando dispositivo que proibiu o Poder Executivo Municipal de realizar convênio, consórcio ou associação que importe no ingresso de lixo de outros municípios. Cubatão, que ainda tem em sua memória o fato de anos atrás ser considerado um dos mais poluído do mundo, tomou uma atitude defensiva, por meio da síndrome chamada pelos americanos de *NIMBY (not in my backyard)*, sem entrar no mérito dos efeitos ambientais da solução.

Dessa forma, a alternativa indicada pela CONDESB e contida no “Plano Diretor de Resíduos Sólidos” da RMBS tornou-se inviável. Foi analisada então a alternativa de utilização, como área de aterro, de área na região continental de São Vicente. A Prefeitura de Santos procurou viabilizar, em conjunto com a de São Vicente, uma solução única para a utilização da área, o que também não se concretizou. Restou, então, a área conhecida como Sítio das Neves, de

propriedade particular, localizado na rodovia Cônego Domênico Rangoni, km 72, (antiga Piaçaguera-Guarujá).

A Empresa de Saneamento e Tratamento de Resíduos Ltda. (ESTRE), em parceria com a empresa Terra, opera desde 2003 por intermédio do Consórcio denominado Terrestre, o aterro sanitário do Sítio das Neves, na área continental de Santos, para onde são destinadas cerca de 500 t/d de lixo. Esse aterro substituiu o antigo depósito de lixo no Bairro de Alemoa. A obra, orçada em cerca de R\$ 3 milhões, tem área total superior a 1 milhão de m², com dez células previstas para acomodação e tratamento dos resíduos. Para a Secretaria de Meio Ambiente do Município (SEMAM), o aterro sanitário do Sítio das Neves está em perfeita consonância com a legislação ambiental atual. O terreno, após os serviços de terraplenagem, foi coberto com argila e recebeu a aplicação de uma manta de polietileno de alta densidade (PEAD), que garante a impermeabilização do solo. A manta, na seqüência, foi coberta com uma nova camada de argila e já está recebendo os resíduos domésticos. Em toda a área do terreno, foram construídos dutos para receber os líquidos percolados (chorume) e destiná-los à lagoa de acumulação, que tem capacidade nominal de 500 m³, onde os produtos, posteriormente, passarão por tratamento adequado na CETESB. Em torno da célula, foram instalados drenos para canalização e queima dos gases produzidos pelos detritos. O aterro está apto para receber resíduos classes II e III desde sua instalação. O Consórcio Terrestre encontra-se com seu projeto de MDL em curso, e em breve estará vendendo energia para as empresas sediadas em Cubatão (distantes cerca de 6 km), e créditos de carbono.

Os resíduos sólidos gerados no Porto de Santos têm um programa próprio de gestão integrada, com a incineração dos resíduos perigosos ocorrendo em Mauá (SP), distante 90 km. Os principais resíduos gerados nos navios são resíduos oleosos resultantes do funcionamento dos motores (mistura de água de condensação com óleo combustível) e da manutenção que envolve estopas, embalagens, panos e trapos, papelão, serragem e uniformes impregnados com óleos e graxas. O tratamento destes resíduos está sob controle direto da CETESB.

8.2.3 Dados complementares

O principal posicionamento político e sociocultural do município, em relação aos resíduos, manifesta-se no Programa de Coleta Seletiva da Prefeitura de Santos. Desenvolvido por meio de uma parceria entre as Secretarias de Meio Ambiente (SEMAM), Assistência Social

(SEAS), Saúde (SMS) e PRODESAN, o programa visa incentivar a coleta seletiva como forma de preservar o meio ambiente e, ao mesmo tempo, desenvolver ações sociais que permitam a ressocialização de pessoas carentes.

O programa é responsável pela coleta mensal média de 120 toneladas de produtos recicláveis – papel, metais, vidros e plásticos – que, após a seleção, são embalados e comercializados com empresas especializadas definidas por intermédio de concorrência pública. A coleta abrange todo o Município – zonas Leste e Noroeste, Morros e Área Continental – e utiliza infra-estrutura composta de caminhões basculantes e coletores, pascarregadeiras e uma equipe de 98 pessoas. A coleta seletiva em Santos atende a todos os bairros diariamente, com exceção dos domingos e feriados (PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTOS, 2006).

8.2.4 Entrevista com o secretário do meio ambiente

Tendo em vista a validação do modelo proposto foi realizada entrevista com o secretário de Meio Ambiente do município de Santos, conforme descrito a seguir.

Nome: Flávio Rodrigues Correa

Função: Secretário do Meio Ambiente de Santos, engenheiro e professor universitário. Anteriormente ao atual cargo trabalhou por mais de vinte anos na Companhia de Saneamento Ambiental de São Paulo (SABESP).

a) Qual o problema enfrentado pela comunidade de Santos quanto aos resíduos urbanos (dimensões quantitativas e qualitativas)?

O secretário de Meio Ambiente do Município considera que o principal problema a ser enfrentado, a médio prazo, é do aterro particular Terrestre, onde o município dispõe os seus resíduos, que terá sua capacidade esgotada em 2012. Hoje já se discute o que se deve fazer para sua substituí-lo.

Esse aterro está localizado na área de uma antiga pedreira desativada. O aterro tem avaliação de 9,6 pela CETESB e, segundo o entrevistado, a nota nunca deverá chegar ao máximo, pois o

entorno é constituído de mata nativa fechada, o que derruba a avaliação, uma vez que há o risco de contaminação ambiental.

O atual aterro de Santos, que tinha a previsão de receber resíduos do município de Santos por vinte anos, hoje recebe resíduos de Bertioga, Cubatão e Guarujá, totalizando 500 toneladas diárias, e deverá estar esgotado por volta de 2012. Portanto, é imediato que se desenhe uma nova solução, pois se sabe que o processo pode levar de quatro a cinco anos, desde a decisão do que fazer, a obtenção de licença até a efetiva implantação da solução. Ressalta que não existem áreas disponíveis no município que possam ser degradadas para se a instalar um novo aterro, tampouco o atual poderá ser expandido, visto que está implantado em área de proteção ambiental permanente de Mata Atlântica.

O problema do dia-a-dia da questão dos RSU é a coleta seletiva em Santos que já existe desde 1990, com 100% da população atendida ao menos uma vez por semana, mas cujo volume não se amplia, apesar das campanhas contínuas de esclarecimento. O trabalho agora está sendo desenvolvido na base, com divulgação de campanha sobre educação ambiental por meio do Diário Oficial do Município, órgão responsável por divulgar dados e campanhas oficiais. Faz-se também um trabalho sobre a educação ambiental nas escolas, com a expectativa de conseguir a adesão dos jovens, e de que esses jovens também consigam convencer seus familiares a mudarem seus hábitos de consumo e de disposição. Existe uma central de triagem onde 60 pessoas pertencentes a um programa de inclusão social, portadores de algum grau de deficiência, juntamente com 20 ex-catadores trabalham no processo de separação e encaminhamento do material para a indústria. Um importante apoio recente é o das igrejas que passaram a incentivar a coleta seletiva e a reciclagem.

No entanto, independentemente de todas essas campanhas, o volume coletado está estabilizado. O secretário considera que um dos fatores dessa estabilização é a concorrência de carrinheiros e sucateiros que têm uma ação efetiva, como em outros municípios adiantando-se à coleta seletiva.

Uma das idéias em curso para disciplinar o trabalho desses carrinheiros é melhorar suas condições com a adoção da “recicleta”, uma bicicleta com um compartimento para acomodação dos materiais coletados, visando à redução de esforço dos atuais catadores independentes. Pretendem uniformizar esses catadores, delimitar áreas e definir datas

específicas para a coleta, de tal modo que criem identidade com a população do bairro, disciplinando o processo.

b) Quais as forças que favorecem a resolução do problema?

O entrevistado afirma que o município de Santos tem agora a oportunidade de participar de um programa do Ministério das Cidades para tratamento de RSU, cujo piloto deverá ser desenvolvido, além de Santos, em São Bernardo do Campo, Embu e Barueri, na Região Metropolitana de São Paulo.

Ressalta que tal programa tem também a participação da SEMA (SP) e da CETESB, que vem desenvolvendo uma parceria com o Estado Alemão da Baviera, para trazer ao Brasil a tecnologia da incineração. Os estudos apontam para situar esse incinerador na área do atual aterro, situada na área continental de Santos, pois não há espaço na área insular. A depender da tecnologia adotada para o processamento do resíduo, existe a possibilidade de aproveitar o lixo atualmente enterrado como combustível para geração de energia elétrica, que poderá ser vendida ao pólo industrial de Cubatão, restabelecendo parte da área que foi degradada, antigamente como pedreira e atualmente como aterro sanitário.

c) Quais as forças que inibem a resolução do problema?

Como fatores restritivos, afirma haver a incompreensão das características de funcionamento dos atuais incineradores. Ao se falar em incineração, vêm à lembrança das pessoas modelos antigos, ambientalmente incorretos, que vem sendo desativados. Há desconhecimento sobre os novos modelos ambientalmente seguros e adequados, e deverá haver campanhas de esclarecimentos para a população.

A solução proposta ainda teria a desvantagem de se manter a planta distante 32 km da área central de Santos, com a necessidade de uma central de transbordo e logística complexa, porém a vantagem seria a de entregar energia elétrica para indústria de Cubatão, situada a menos de 6 km do atual aterro.

Quanto ao problema imediato dos carrinheiros, o principal fator impeditivo para a implantação da idéia é a falta de recursos, para isso está sendo trabalhada uma parceria com a Petrobras que poderá financiar o projeto.

d) Com base nesta análise, quais as três principais alternativas para resolver o problema de resíduos urbanos em Santos?

O secretário trabalha no momento com duas alternativas para o tratamento dos RSU:

- Implantação de um sistema de incineração a ser instalado junto ao atual aterro, ainda antes que este se esgote;
- Controlar a ação dos carrinheiros, oferecendo melhor condição de trabalho, áreas definidas de coleta, uniformes e um veículo adequado para a coleta.

e) Adotando o modelo de decisão proposto para comparar as alternativas, qual aquela a ser escolhida?

O secretário afirma que a opção atual seria pelo incinerador, pela conveniência da tecnologia vinda da Baviera por meio do acordo com o governo estadual. Desconhecia até então o processamento a plasma térmico, mas afirma que se informará a respeito, pois a opção tecnológica, pelos dados apresentados, deve ser considerada. Ressalta que o custo inicial de se implantar um aterro é baixo. No entanto, o custo de operação se mantém pelo tempo total de operação, de 15 a 20 anos, e prolongar-se-á após o seu encerramento, por igual período, em virtude da necessidade contínua de controle de emissões, mesmo após o término da vida útil. Ao se colocar no valor presente todos esses custos, as soluções podem empatar, sendo que a solução de incineração apresenta atualmente dano ambiental muito menor, com baixo comprometimento de áreas, menor emissão, etc. O entrevistado mostrou fotos do sistema de incineração da Baviera, Alemanha, localizado em área urbana.

f) Com base na aplicação do modelo de decisão proposto, quais as dimensões críticas para sua implantação?

Dentre os fatores críticos para implantação o secretário do Meio Ambiente de Santos ressalta:

- Deve haver o convencimento do Conselho Ambiental do Município;
- Deve haver o convencimento do Conselho Econômico do Município;
- O certame licitatório deve ser claro e transparente.

8.2.5 Conclusões sobre o caso de Santos

O tratamento dos resíduos urbanos na Baixada Santista é ilustrativo da dificuldade de comunicação, de se trabalhar com visão sistêmica e de consenso para uso de novas tecnologias, mesmo quando há esse interesse explícito no seu uso. Como a questão de área é crucial nessa região, desenhou-se, há mais de dez anos, como melhor solução o uso do incinerador, solução patrocinada pela CETESB, que efetuou seminários, trazendo como exemplo a solução do Estado da Baviera, na Alemanha, considerada uma das mais eficazes em todo o mundo. A Figura 38 apresenta a aplicação do modelo na Região, destacando-se a preferência pela solução de incineração com tecnologia da Baviera.

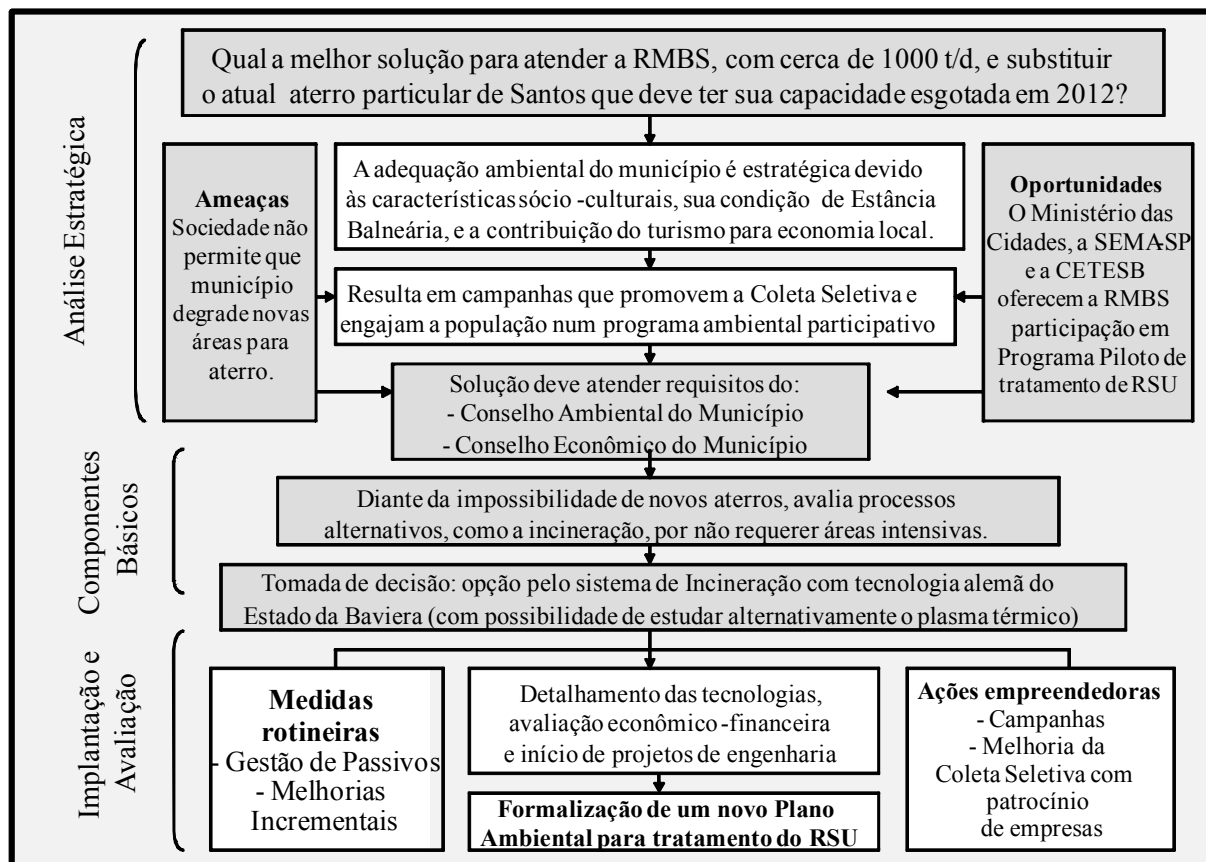


Figura 38 – Aplicação do Modelo para a RMBS

Se efetivamente adotada a incineração, com o apoio do Ministério das Cidades, da SEMA-SP e da CETESB, poderá haver uma solução regionalizada, tratando inclusive dos resíduos da conurbada São Vicente, que leva seus resíduos para Mauá distante 90 km serra acima.

Pode ser dada solução também para os resíduos do Porto de Santos que são encaminhados igualmente para Mauá.

8.3 Aplicação do Método em Piracicaba

Piracicaba é o centro de uma sub-região administrativa pertencente à Região Administrativa de Campinas. Fica a 152 km da capital, e consolidou-se como importante área de produção de cana-de-açúcar no Estado, em torno da qual se formou um complexo agro-industrial de açúcar e álcool. O parque industrial é bastante diversificado com indústrias de grande porte e tecnologia avançada, nos setores sucroalcooleiro, metal-mecânico, alimentos, papel e têxtil.

As principais estradas de acesso ao município são a rodovia Luiz de Queiroz (SP-304), que se liga às rodovias Anhangüera (SP-330) e Bandeirantes (SP-348), em direção a capital e Campinas; e a Rodovia do Açúcar (SP-308), que se liga à Rodovia Castelo Branco (SP-280), rumo a Sorocaba.

8.3.1 Situação dos resíduos na sub-região administrativa de Piracicaba

A Tabela 16 apresenta os dados da CETESB para a subregião de Piracicaba. Destacam-se positivamente as avaliações dos municípios de Águas de São Pedro, Corumbataí, Rio Claro, Santa Gertrudes e São Pedro.

A nota de Piracicaba, atribuída em 2005 e em 2006, já prenunciava o fechamento do aterro, que veio efetivamente a ocorrer, após inúmeros termos de ajustamento de conduta realizados com o Ministério Público e a CETESB.

Tabela 16 – Classificação dos Aterros na Sub-Região de Piracicaba

Município	ton/dia	IQR* - 2005	IQR* - 2006	Índice	Observação
Águas de São Pedro	0,8	8,3	7,4	C	Dispõe em São Pedro
Analândia	1,2	4,6	4,1	I	-
Charqueada	5,3	7,7	8,1	A	-
Corumbataí	0,8	8,4	8,3	A	-
Ipeúna	1,9	6,2	8,1	A	Dispõe em Charqueada
Piracicaba	212,4	5,7	5,2	I	Interditado em janeiro 2007
Rio Claro	93,2	8,2	8,1	A	-
Rio das Pedras	10,1	4,8	5,2	I	-
Saltinho	2,1	8,3	8,0	C	-
Santa Gertrudes	8,2	8,2	8,1	A	Dispõe em São Pedro
Santa Maria da Serra	1,6	7,2	7,2	C	-
São Pedro	11,1	8,3	7,4	A	Aterro Privado
Total da Região	348,7	-	-	-	-

*IQR - Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos

A = Condição Adequada; C = Condição Controlada; I = Condição Inadequada

Fonte: CETESB, 2007a.

8.3.2 Auditoria ambiental no município de Piracicaba

Piracicaba é a 19ª cidade do Estado de São Paulo em desenvolvimento econômico. No *ranking* nacional das maiores exportadoras, aparece em 8º lugar. Piracicaba tem 366 mil habitantes os segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007), referentes a 2006.

A produção de lixo doméstico em Piracicaba em 2006 foi de 85,6 mil toneladas de resíduos, contra 80,5 mil toneladas recolhidas no mesmo período de 2005, um aumento 5 mil toneladas, ou 6,2%. Atinge agora aproximadamente 7 mil toneladas de lixo por mês segundo dados da Secretaria Municipal de Defesa do Meio Ambiente (SEDEMA). Por dia, em média, são recolhidas atualmente 239 toneladas de lixo na cidade (dado da Prefeitura, ligeiramente superior ao da CETESB), o que resulta numa produção média de 650 g/hab, índice acima da média nacional, que é de 500 gramas *per capita* diariamente para este tamanho de população. Por mês, cada habitante produz, em média, 19,5 kg de lixo, totalizando 234 kg ao final de um ano.

A CETESB negou o pedido de prorrogação da vida útil do aterro sanitário do Pau Queimado. A decisão obrigou a prefeitura a exportar todo o lixo produzido na cidade, desde o dia 6 de

janeiro de 2007, para o aterro sanitário particular ESTRE, em Paulínia, que cobra R\$ 67 por tonelada de lixo doméstico recebido, incluindo o transporte. A empresa contratada para levar o lixo até Paulínia - cidade que fica a 64 km de Piracicaba é a própria ESTRE, que envia carretas para Piracicaba.

O Centro de Gerenciamento de Resíduos de Paulínia da ESTRE tem a mais completa estrutura para tratamento e disposição final de resíduos da região Metropolitana de Campinas. São 705 mil m² e capacidade para aproximadamente 6,5 milhões de toneladas de resíduos em sua etapa inicial. O Centro é composto de aterro, unidade de biorremediação e usina de triagem de materiais recicláveis. Está habilitado para receber resíduos de classes IIA e IIB, além de tratar resíduos da classe I.

8.3.3 Outros dados

Conforme dados obtidos com os engenheiros da prefeitura de Piracicaba, a coleta seletiva abrange cerca de 30% da área do município. O secretário municipal de Defesa do Meio Ambiente, sr. Rogério Vidal, defende a ampliação da coleta seletiva e reforço das iniciativas de reciclagem como forma de compensar o aumento da produção do lixo que é gerado não apenas pelo crescimento populacional, mas também pelos hábitos da população.

A cidade é pioneira no mercado de reciclagem com a instalação pelas empresas Klabin, Tetrapak, Alcoa, TSL Ambiental e a EET Brasil Alumínio e Parafina Ltda., da primeira unidade de plasma voltada exclusivamente para reaproveitamento de embalagem do tipo longavida. A fábrica, sediada na Klabin Piracicaba, maior produtora e exportadora de papéis do Brasil, faz uso inédito de tecnologia 100% nacional, que permite a separação total do alumínio e do plástico sem a emissão de poluentes ou a suspeita de outros danos ambientais. A unidade de plasma tem capacidade para processar 8 mil toneladas anuais de plástico e alumínio, o que equivale à reciclagem de 32 mil toneladas de embalagens longavida. A emissão de poluentes na recuperação dos materiais é próxima a 0 (zero), feita na ausência de oxigênio, sem queimas, e com eficiência energética próxima a 90%. A Klabin adquire o material por meio das cooperativas de reciclagem, usa o papel reaproveitado e vende o plástico e o alumínio para a TSL. Além de todos os pontos fortes, o sistema de reciclagem por plasma é único, porque fecha o ciclo dos materiais. Eles são reciclados para retornar à posição inicial de produção e, num último estágio, voltar ao mercado como antes.

Uma equipe de especialistas da USP de São Carlos efetuou o zoneamento ambiental para orientar a ocupação do solo de Piracicaba, aos novos núcleos habitacionais, para o desenvolvimento agrícola ou para investimentos privados, industriais, funcionando assim como um instrumento que orienta o planejamento urbano. Neste estudo foi possível determinar tecnicamente os pontos com potencial para receber o novo aterro sanitário doméstico. Concluído o estudo, detectaram-se algumas áreas adequadas para sua instalação. A área escolhida responde a todos os critérios básicos necessários para que o aterro não se torne um problema futuro. É uma área de 13 alqueires paulistas (pouco mais de 300.000 m²) localizada a 4,5km do bairro Água Santa, que terá um cinturão verde e tudo que for necessário para esse tipo de empreendimento. O novo aterro tem capacidade para durar vinte anos, mas se for corretamente utilizado poderá durar até quarenta anos. Técnicas como a compostagem e reciclagem poderão lhe dar mais fôlego. O custo estimado para a implantação desse aterro é de R\$ 7 milhões, segundo os engenheiros da prefeitura de Piracicaba.

O município de Piracicaba tem ainda como problema ambiental os resíduos da forte indústria metal-mecânica que nasceu correlata à indústria canavieira. As indústrias de fundição produzem hoje de torneiras a blocos de motor e como parte de seu processo produtivo geram areias contaminadas. A areia de fundição é um grave problema ambiental, pois, depois de utilizada em moldes, fica contaminada por metais pesados, principalmente cobre e chumbo, e por fenóis originados das resinas empregadas na sua compactação. Piracicaba e as cidades vizinhas de Indaiatuba, Sorocaba, Limeira e Sumaré abrigam o principal pólo de fundições do Estado de São Paulo. A região produz cerca de 10 mil t/mês de areia de fundição, mais de 120 mil t/ano. Se esta areia toda fosse para os aterros, custaria cerca de R\$ 3,6 milhões, no mínimo, a cada ano para as metalúrgicas. Este preço é ainda onerado pelo frete, que custa, em média, R\$ 22,00 por tonelada.

Na tentativa de resolver o problema, a CETESB regional e um grupo de 22 empresas de fundição iniciaram, em 1997, o projeto de montagem de uma usina de reciclagem de areia, uma vez que uma lei municipal impede que sejam construídos aterros industriais no município, um contra-senso com a sua vocação industrial.

8.3.4 Entrevista na Secretaria de Defesa do Meio Ambiente de Piracicaba

A entrevista ocorreu na sede da Secretaria de Defesa do Meio Ambiente (SEDEMA), na Prefeitura de Piracicaba, com participação da equipe que gerencia os resíduos sólidos urbanos, composta pelo engenheiro civil Ludmar Antônio Romanini, pela engenheira agrônoma e assessora do secretário Lídia Isabel Maria d'Arce Martins, orientados pelo secretário, também engenheiro agrônomo, funcionário de carreira da Prefeitura Municipal, sr. Rogério Vidal.

a) Qual o problema enfrentado pela comunidade de Piracicaba quanto aos resíduos urbanos (dimensões quantitativas e qualitativas)?

Os entrevistados abordam que o grande problema, quanto aos resíduos sólidos urbanos em Piracicaba, deve-se ao fato do antigo aterro do Pau Queimado ter sido desativado pela não renovação do termo de ajustamento de conduta (TAC), com o Ministério Público. O aterro do Pau Queimado vinha tendo seu gás captado em pequena escala pela empresa Brás Metano, que montou no local um sistema motor gerador para transformar o gás em energia elétrica. No entanto, tratou-se de um projeto experimental, que se encerrou com a desativação do aterro.

Depois de várias tentativas de negociação, não houve a renovação do TAC, e o lixo passou a ser disposto, no início de 2007, em Paulínia, no aterro do ESTRE, distante 64 km. O custo da tonelada transportada e aterrada é de R\$ 67,00, correspondendo a uma despesa mensal de cerca de R\$ 500 mil. Fica uma insegurança, pois se trata de uma relação comercial com uma empresa privada, em outro município. Ponderam sobre o que poderá ocorrer se futuramente as prefeituras se desinteressarem em operar os aterros públicos, deixando o setor totalmente nas mãos dos setores privados, como vem acontecendo em vários municípios.

Os entrevistados consideram o custo de implantação de um aterro muito municipal alto. Estimam que para montar um novo aterro deva ser investido cerca de R\$ 7 milhões, incluindo a área que deve ser desapropriada. Estimam que os valores de todo o processo, poderá vir a custar R\$ 147,37 por tonelada. Isso implica tirar área onde se planta cana-de-açúcar ou qualquer outra cultura (o último aterro, agora desativado, era um sítio de plantação de laranjas). Recente estudo, efetuado no município por pesquisadores da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo aponta como área ideal as localizadas em terrenos

de material geológico antigo, bem sedimentado, para promover a impermeabilização necessária e não contaminar os lençóis freáticos. No entanto, lembram que este tipo de terreno é altamente agricultável, o que pode levar a uma demanda judicial dos proprietários que não querem ceder terra de boa qualidade para os aterros sanitários.

Dada a restrição orçamentária do município, procuram um esquema de concessão dos serviços ou ainda a parceria público-privada (PPP). Porém lembram que o modelo de concessão foi questionado pela prefeitura de São Paulo, e receberam um parecer negativo da Procuradoria do Estado quanto a liberar este tipo de contrato. Consideram que quem vier a operar o futuro aterro deverá assumir a gestão do passivo ambiental do antigo. Lembram ainda que não existem recursos do BNDES para financiar concessão, dificultando a participação da iniciativa privada.

Quanto aos resíduos de serviços de saúde, há muito tempo são transportados para incineração fora do município, pois não há tecnologia para isso em Piracicaba. Quanto ao empresariado local, as grandes indústrias têm suas soluções próprias. Preocupam-se com as pequenas indústrias metalúrgicas que usam areia para moldar suas peças e não têm onde dispor. Acabam por ceder essa areia para fabricar blocos de concreto, mas não se têm certeza do processo de inertização dessa areia, que entra em contato com metais durante a moldagem das peças. Uma lei municipal não permite a instalação de aterros industriais em Piracicaba, o que impede também uma solução comum para indústria local.

b) Quais as forças que favorecem a resolução do problema?

A única força lembrada para se buscar uma solução alternativa em transportar os RSU para Paulínia é a possibilidade de economia para o município. Além disso, só vêm restrições. Diante da falta de alternativas para resolver o problema citam o exemplo de Jundiaí que se resigna a enterrar o seu resíduo em Paulínia, sem buscar uma solução local.

c) Quais as forças que inibem a resolução do problema?

A solução é um aterro com uma tecnologia diferenciada de tratamento biomecânico, nos moldes do que se pratica em São José do Rio Preto, com um sistema próximo da compostagem pode dobrar a vida útil do aterro. No entanto, a modalidade de contratação por

concessão foi questionada pelo Tribunal de Contas, que sugeriu subjetividade na escolha da tecnologia. Hoje o grande problema é convencer o Tribunal de Contas da lisura do processo, uma vez que foi despertada a possibilidade de haver direcionamento no edital, e a solução não é utilizada em grande escala no Brasil.

d) Com base nesta análise, quais as três principais alternativas para resolver o problema de resíduos urbanos em Piracicaba?

- Continuar a mandar para o aterro de Paulínia, permanentemente;
- Conseguir no Tribunal de Contas a liberação do processo de parceria público-privada ou mesmo concessão (os entrevistados consideram que a diferença nas duas modalidades estaria na forma de remuneração);
- Incentivar uma empresa privada a construir um aterro em Piracicaba, o que faria reduzir no mínimo os atuais R\$ 23,00 gastos por tonelada transportada.

e) Adotando o modelo de decisão proposto para comparar as alternativas, qual aquela a ser escolhida?

A equipe insiste que a solução mais conveniente para Piracicaba é o aterro antecedido de um processo de seleção mecânica e subsequente tratamento biomecânico que levaria a uma redução para 40% do volume inicial a ser aterrado, prolongando a vida útil do aterro.

Como também praticam a coleta seletiva (cerca de 30% da área do município é atendida e poderiam expandi-la), consideram que esta solução poderia estar acima das soluções convencionais de aterro, o que adaptado ao modelo teria uma avaliação próxima de 0,5, numa escala até 1. Não buscam no momento uma solução mais radical como a incineração ou o plasma, preocupados que estão com a pressa na implantação e viabilidade financeira qualquer que seja o projeto. Mas se interessaram em pesquisar a experiência com as embalagens Tetrapak praticada em seu município nas instalações da Kablin.

f) Com base na aplicação do modelo de decisão proposto, quais são as dimensões críticas para sua implantação?

Consideram que o modelo deveria ser adaptado para trabalhar a solução proposta, já adotada no município de São José do Rio Preto. Quanto a adaptar o modelo para atender aos

stakeholders do município, não vêm vantagens, pela qualidade dos entrevistados que contribuíram na elaboração do modelo. Consideram que as forças políticas locais, e até mesmo organizações não-governamentais não têm opinião formada para modificar as tendências apresentadas.

8.3.5 Conclusões sobre o caso de Piracicaba

Apresenta-se na Figura 39 um desenho do modelo qualitativo aplicado à situação do município de Piracicaba.

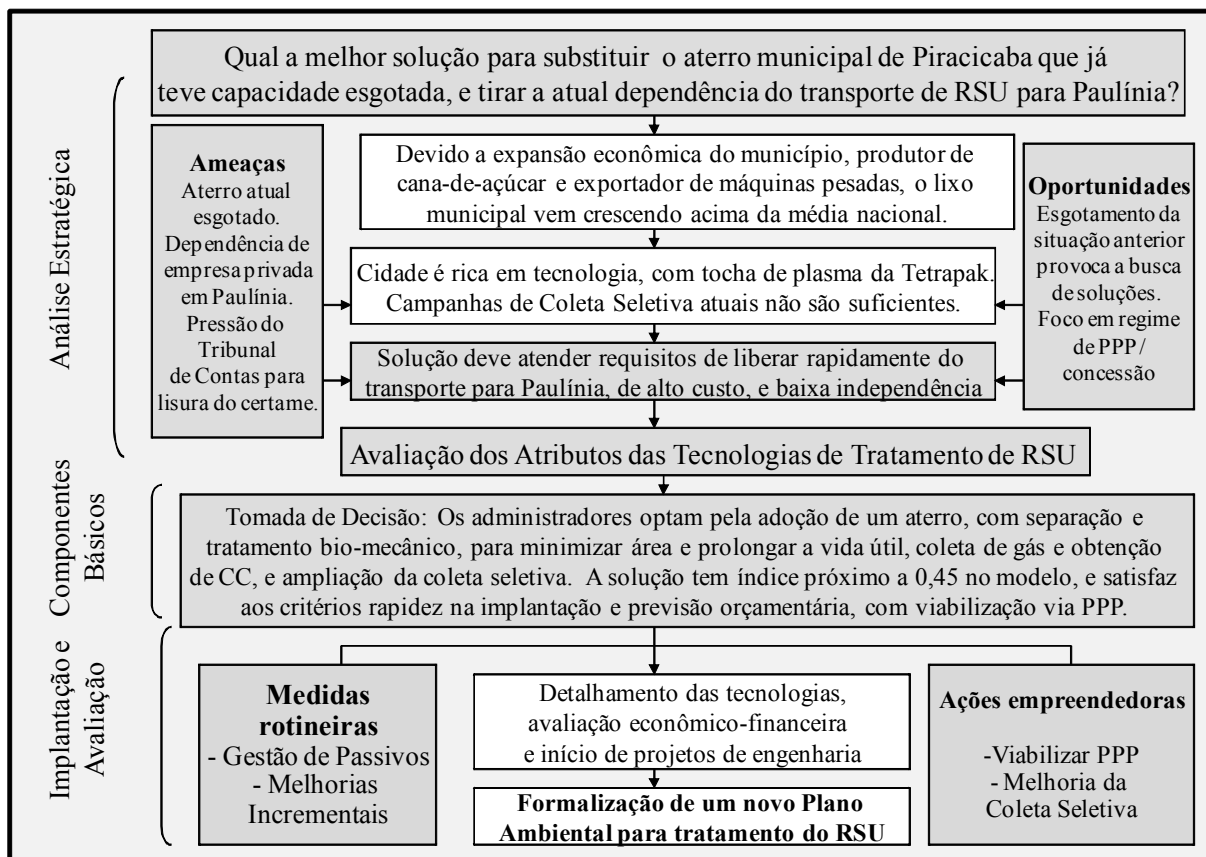
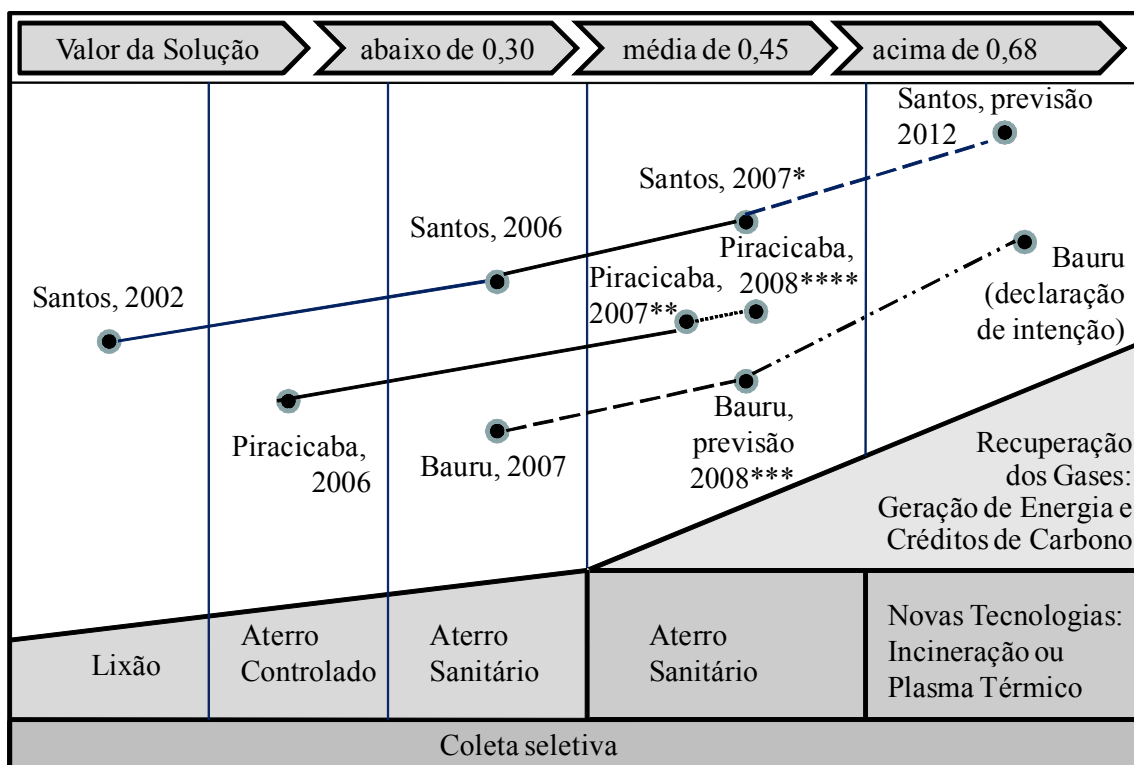


Figura 39 – Aplicação do Modelo em Piracicaba

Ressalte-se a opção do aterro melhorado, acompanhado de compostagem e de recuperação de energia pela captura do gás de aterro, como a solução preferida pelos decisores, neste momento.

8.4 Avaliação da Aplicação do Método Proposto

A Figura 40 apresenta um quadro que resume a aplicação dessas soluções para os três municípios analisados, considerando as pontuações das soluções calculadas nesta tese, e a intenção da melhoria pelo município numa linha de tempo.



* Terrestre, MDL em aprovação; ** ESTRE, MDL aprovado, em Paulínia; *** Aterro Municipal, com MDL; **** Aterro no município, com tratamento biomecânico, operado em regime de PPP.

Figura 40 – Evolução das Alternativas Escolhidas nos Três Municípios

O modelo proposto demonstrou ser ferramenta de auxílio nos três municípios analisados, conforme detalhado a seguir.

Para Bauru o aspecto principal do modelo seria de buscar uma solução de compromisso entre as forças da cidade, internas e externas à gestão municipal. Declaram uma preferência tecnologicamente mais avançada para substituir futuramente o bem operado aterro atual, mas que tem restrições para o tratamento do resíduo de serviços de saúde e não atende aos interesses do empresariado local, em expansão. Poderia também, com uma solução mais avançada, atender aos municípios da região que não estão conseguindo soluções adequadas à

qualidade do resíduo industrial gerado, como em Jaú, e que não têm escala para uma solução tecnologicamente mais avançada, obrigando o transporte do resíduo industrial para Paulínia.

Para Santos, o modelo corrobora a decisão dos gestores municipais de um futuro sistema de incineração, ou mesmo de tratamento a plasma térmico, apoiando-se na parceira proposta pelo Ministério das Cidades, SEMA (SP) e CETESB.

Para Piracicaba, o modelo auxiliaria em dar credibilidade na solução já escolhida, que tem a restrição do Tribunal de Contas, que pede critérios objetivos no certame licitatório em curso.

8.5 Avaliação das Variáveis Trabalhadas

Conforme visto na revisão da literatura e reforçado na definição do método multiatributo, é condição necessária para a sua aplicação que exista independência de preferência dos decisores quanto aos atributos. Ou seja, a preferência por um atributo não pode condicionar a preferência por outro, ou, do ponto de vista matemático, devem tratar-se de dois conjuntos que não se superpõem.

Adicionalmente, independência preferencial mútua é condição necessária para fazer uso da função utilidade aditiva (ordinal) apropriada para a tomada de decisão sem incerteza. Então, quando as preferências do decisor assumem independência preferencial mútua, a função utilidade aditiva pode ser usada.

Conforme se desenvolviam as entrevistas, tanto com os *stakeholders* quanto com os executivos, coube ao pesquisador o cuidado de verificar se a independência de preferência não tinha sido ferida no processo de montagem da hierarquia de valor. Conforme preconizado na teoria, a avaliação de independência dos atributos deve ser feita dois a dois, para os atributos com a maior possibilidade serem redundantes. É importante ressaltar que não foram solicitadas nem a exclusão nem a inserção de novas variáveis pelos entrevistados, evidenciando a adequação da abordagem.

8.5.1 Análise do Subobjetivo denominado “Infra-estrutura” e suas medidas

O subobjetivo infra-estrutura foi dividido, para obter senso de valor dos *stakeholders*, em quatro medidas: custo inicial, custo de operação e manutenção (O&M), área total e distância em relação à área urbana.

Numa primeira observação, pode-se supor dependência de preferências dentro do próprio subobjetivo infra-estrutura para as medidas custo inicial e custo de O&M. Essa dúvida foi sanada na entrevista efetuada com o secretário municipal do Meio Ambiente de Santos (ver item 8.2.4). Este afirmou que enquanto as soluções de aterro exigiam menor custo de investimento (supondo que houvesse área disponível em seu município), os seus custos de operação seriam mantidos igualmente por todo o tempo de operação, e mais no mínimo quinze anos, ao se acompanhar os efeitos desse aterro na área de proteção ambiental em que ele está inserido.

O secretário assim revelou de forma clara sua preferência pelo atributo custo de instalação em vez de atributo custo de operação, demonstrando preocupação em não passar para as administrações futuras passivos de sua gestão, lembrando que a gestão de um aterro extrapola a vida útil dessa solução. Assim de forma clara se estabeleceu a fronteira entre os custos de investimento e os custos de O&M, revelando esse decisor, a preferência pelo primeiro.

Isso também ficou evidente na entrevista com os administradores de Piracicaba (ver item 8.3.4), que tentam, até agora em vão, embutir o custo do controle do passivo do aterro já encerrado para a nova solução de aterro projetada. Portanto, o processo de entrevistas esclareceu que havia uma clara independência de preferência entre os dois perfis de desembolso, embora ambos possam ser expressos em reais, com suas conseqüências pesando no custo final.

As medidas de área e distância também não caracterizam dependência. No caso de Santos, o incinerador projetado, que pela tecnologia poderia ser alocado em qualquer ponto do município, poderá ser alocado no mesmo local do atual aterro, por uma questão de preferência do decisor, para oferecer a energia gerada ao pólo industrial de Cubatão, localizado a cerca de 7 km de distância.

8.5.2 Análise do Subobjetivo denominado “Qualidade do resíduo” e suas medidas

Quanto ao subobjetivo qualidade do resíduo, a componente classe do resíduo revela a amplitude da estratégia do *stakeholder*, se ele apenas pretende dar conta das obrigações mais corriqueiras ou pretende implantar um centro de serviços completo de tratamento de resíduos, a exemplo do que acontece hoje em outros países.

A medida nível de separação, que recebeu o maior peso médio pelos *stakeholders*, revela a visão sistêmica do gestor, pois a separação antes da disposição final embute a expectativa não de solução única, mas da possibilidade de se dar destinação adequada a cada parcela de resíduo. São, portanto, medidas de valor totalmente independentes.

8.5.3 Análise do Subobjetivo denominado “Receitas” e suas medidas

As duas medidas geradoras de receitas, venda de energia e venda de subprodutos, apresentaram os menores pesos relativos, demonstrando que não há preocupação explícita dos *stakeholders* em obter altos volumes de receitas por essas fontes.

A medida venda de subprodutos abarca tanto a possibilidade de vender os materiais resultantes do processo de transformação, como a rocha vítrea, após a incineração ou o plasma, quanto os produtos resultantes da coleta seletiva. Ficou corroborado nas entrevistas com os gestores municipais que, quando propõem um processo de coleta seletiva, há a possibilidade de inserção social e resgate da auto-estima de camadas marginalizadas, não vendo essa variável como uma fonte real de receita.

Quanto à possibilidade de receita de venda de energia elétrica, embora seja algo desejado, não se atribuiu peso significativo. Talvez pelo fato da energia elétrica ser relativamente barata e abundante no Brasil, não há um interesse explícito. Talvez, no futuro, com maior necessidade de obter energia de fontes renováveis, com o esgotamento das fontes atuais, particularmente a disseminação do conceito *waste-to-energy*, essa variável venha a ganhar mais peso no processo de decisão. As duas variáveis não demonstraram dependência uma da outra, nem das demais, durante o processo de entrevistas.

8.5.4 Análise do subobjetivo e medida Créditos de Carbono

Todas as soluções analisadas pressupõem a possibilidade em graus variados da obtenção de créditos de carbono. O atributo não condiciona a preferência por outros atributos e não revela nenhum tipo de imposição de preferência sobre as outras medidas. Esta variável é estratégica do ponto de vista da sustentabilidade do planeta, e espera-se que no futuro venha a receber pontuações mais significativas dos formadores de opinião.

8.5.5 Análise do Subobjetivo e medida Tempo

A análise da medida tempo revela a preocupação dos gestores com a situação atual do município. Em Santos, onde a solução atual se esgotará em 2012, os gestores têm melhores condições de montar a sua estratégia futura, sem grandes pressões. Em Piracicaba, onde a solução está esgotada, recorrendo à disposição em Paulínia, há menos tranquilidade para a busca da melhor estratégia. Até mesmo pelo pouco valor atribuído a essa medida (a terceira menor) pelos *stakeholders*, não se pode afirmar que ela imponha a preferência sobre outra variável, até mesmo porque a atividade que mais toma tempo nesse processo, a obtenção da licença ambiental, é comum para todas as soluções, deixando os resultados muito próximos.

8.6 Confirmação da Adequação das Variáveis

Finalizadas as principais etapas da pesquisa ainda persistiam dúvidas quanto à correta modelagem das variáveis quanto à sua abrangência e a possibilidade de independência de preferência do decisor frente a elas. Para tanto, recorreu-se a uma entrevista com um pesquisador da área de tratamento de resíduos sólidos urbanos, o Prof. Dr. Ângelo José Consoni, que por meio de duas entrevistas avaliou a adequação das variáveis escolhidas nesta tese.

a) Abrangência e concisão

O entrevistado avaliou inicialmente que todas as dez variáveis escolhidas eram pertinentes ao processo. Além dessas dez sugeriu a adoção de mais três, detalhadas a seguir.

- Imagem - Aceitação pela população da solução escolhida

É um problema sério a ser enfrentado pela administração pública, visto que pode existir rejeição *à priori*, qualquer que seja a solução adotada. São vários os movimentos contra a instalação de aterros (além de desconforto podem trazer a desvalorização dos imóveis próximos), contra os incineradores (principalmente os de tecnologia antiga) e mesmo contra a o plasma térmico pode haver algum grau de rejeição, pois, em princípio, todos querem manter distância de processos de tratamento de resíduos.

Embora seja uma preocupação pertinente, a quantificação do nível de rejeição da solução talvez seja mais cabível numa consulta pública específica à população, caso haja realmente a necessidade de alocar a estação de tratamento em área urbanizada. E promover campanhas de esclarecimento e convencimento junto à população, a partir dessas consultas.

- Nível de risco associado às externalidades potenciais

Quanto a preocupação com as externalidades produzidas pelas diferentes tecnologias analisadas, levantadas pelo entrevistado, na revisão da literatura se abordaram alguns processos de decisão que levaram em conta essa variável.

Na proposta desta tese pretende-se enfatizar a questão dos créditos de carbono, que trata das conseqüências principalmente para o ar, portanto atendendo parcialmente a preocupação do entrevistado. No entanto, os processos de atribuição de créditos de carbono acabam por avaliar os processos de tratamento em toda a sua extensão, e não são outorgados créditos de carbono a soluções ultrapassadas, ou que gerem outras externalidades, portanto pode-se inferir que nesse processo as conseqüências para a terra ou mesmo a água, em algum grau já estão consideradas.

- Adequação da capacidade da tecnologia

O entrevistado levantou preocupação quanto a adequação da capacidade da solução frente ao problema do município, o que eventualmente pode levar a necessidade de organização de um consórcio de municípios diante da folga de capacidade da solução, para que seja obtida uma

escala que ocupe totalmente a capacidade disponível. Noutro extremo pode haver a necessidade de mais de uma planta para atender a um único município.

Essas são considerações importantes que podem ser resolvidas no âmbito do projeto, o que não se trabalhou nesta tese, por ser muito específico para cada município. Como também é a avaliação da composição do lixo, da parcela orgânica, do poder calorífico, itens de difícil generalização, e que devem ser tratados nos projetos específicos.

b) Independência das Variáveis

Quanto à independência das variáveis o entrevistado demonstrou preocupação com as referentes à área e a distância em relação às populações urbanas, e que poderiam acabar por condicionar a variável custo de instalação.

A escolha da variável distância buscou avaliar o quanto agressiva era a solução para as populações do entorno, a ponto de se necessitar um espaçamento que promovesse o distanciamento das populações do malcheiro e dos vetores. A variável de área, por sua vez, impacta a extensão territorial que será inutilizada para que se instale a estação de tratamento.

Embora se reconheça que essas variáveis têm conseqüências sobre o custo do empreendimento, as suas motivações são diferentes, e o que se pretende medir é a independência de preferência do decisor, e não o nível de conseqüência que se obtém. Portanto, não se pode afirmar que ao se escolher entre as variáveis de área ou distância, se esteja condicionando a variável de custo, embora tenham implicações sobre o custo.

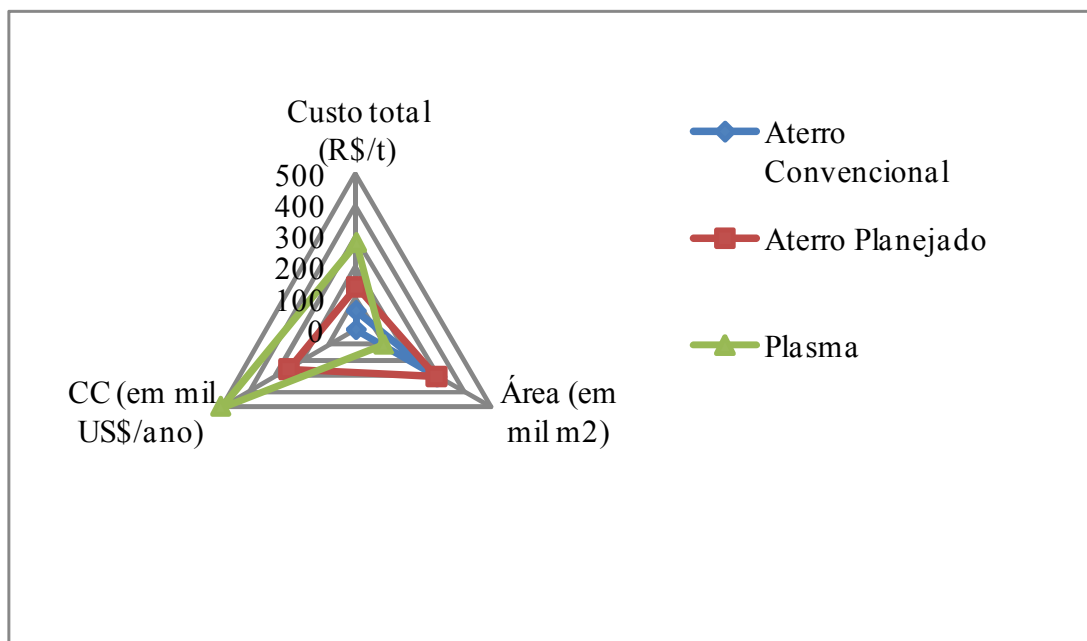
8.7 Avaliação do Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos com Negócio

Para se avaliar o tratamento dos resíduos sólidos como negócio se recorrerá aos dados obtidos em Piracicaba (SP), município que estuda o problema no momento, em função do recente fechamento de seu aterro pelos órgãos de controle ambiental. A tabela 17 apresenta dados relevantes na escolha da solução para esse município.

Tabela 17 – Dados sobre os Resíduos Sólidos Urbanos de Piracicaba

Resumo dos dados de Piracicaba	Quantidade	Unidade
População (2006)	366.000	habitantes
Quantidade de resíduo gerado (2006)	650	gramas/dia/habitante
Quantidade de resíduo gerado (2006)	85.600	t/ano
Custo da disposição do resíduo em Paulínia	44	R\$/t
Custo do transporte do resíduo para Paulínia	23	R\$/t
Investimento inicial para abertura de um novo aterro em Piracicaba	7.000.000	R\$
Custo total considerando a implantação aterro convencional	60	R\$/t
Custo total considerando tratamento dos passivos e geração energia	147	R\$/t
Custo total de implantação de processamento por plasma	280	R\$/t
Estimativa de Créditos de carbono que podem ser obtidos	250.000	US\$/ano
Estimativa de Ocupação de Área	300.000	m ²

A Figura 41 apresenta o comportamento de três variáveis principais que permeiam o processo de escolha (custo total por tonelada – considerando a soma dos custos de instalação mais o custo de operação e manutenção; a área total ocupada; e créditos de carbonos possíveis de serem obtidos), para as três alternativas, aterro convencional, aterro com compostagem prévia para redução do volume depositado e sistema de tratamento de gases conforme planejado e o processamento pela tocha de plasma.

**Figura 41 – Escolha da Solução para Piracicaba**

O triângulo na cor azul, interno, representa a solução básica de construção de um aterro bastante convencional, com uma infra-estrutura simples prevista apenas para receber o resíduo da classe II sem contar com a obtenção de créditos de carbono ou geração de energia.

O triângulo na cor verde, externo, representa a solução da tocha de plasma, com a obtenção máxima de créditos de carbono e a possibilidade de tratar qualquer tipo de resíduo, incluindo o industrial, o de serviços de saúde e o lodo de esgoto. Essa solução requer uma área bem menor que o aterro convencional, suficiente para operar equipamentos e para efetuar a compostagem da matéria orgânica retirada do lixo, no processo de geração de RDF.

Acompanhada de coleta seletiva, recuperação de gases, separação para obtenção de RDF e geração de energia, essa solução é classificada nesta tese como a alternativa mais eco-eficiente. Deve-se ressaltar que essa solução pode inclusive utilizar a matéria atualmente depositada no aterro do Pau Queimado como combustível para oferecer energia elétrica, recuperando essa área, com terra de boa qualidade, que anteriormente a ser desapropriada pela prefeitura foi uma plantação de laranjas. As estimativas de área, custos e créditos de carbono, utilizadas para a tecnologia de plasma, também podem ser extrapoladas para os processos mais modernos de incineração, cujo orçamento e desempenho estão muito próximos.

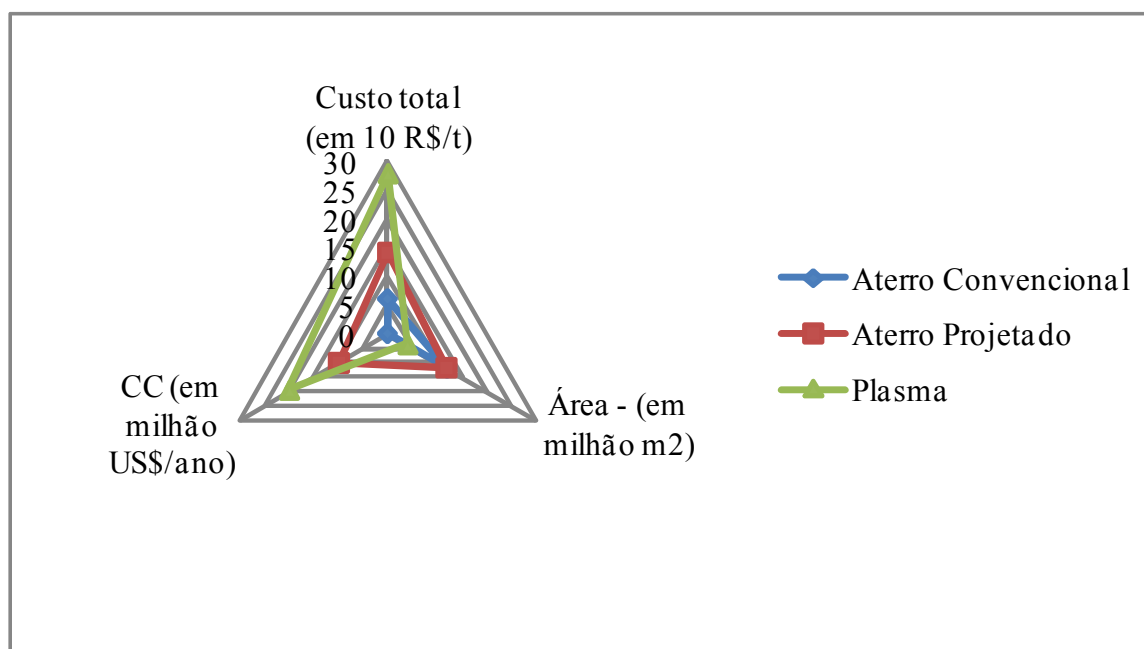
O triângulo na cor vermelha, em posição intermediária, representa a solução planejada pelos técnicos do município de Piracicaba, com um custo intermediário da tonelada tratada, que inclui o tratamento de todos os passivos ambientais atuais decorrentes do fechamento do aterro do Pau Queimado. Requer praticamente a mesma ocupação de área do aterro convencional e a vida útil deste aterro é prolongada por um processo prévio de compostagem que reduz o volume que se deposita. Conta com uma obtenção média de créditos de carbono, cerca da metade do que pode ser obtido com a solução de processamento por plasma.

A Tabela 18 e a Figura 42 apresentam uma extrapolação dessas soluções para toda a área alvo dessa tese, as cidades médias do Estado de São Paulo.

Tabela 18 – Dados Estimativos para os Municípios Médios do Estado de São Paulo

Estimativa a partir dos dados obtidos para o ano de 2006	Quantidade			Unidade
	Aterro Convencional	Aterro Planejado	Tocha de Plasma	
População alvo da tese (cidades médias)	14.000.000			habitantes
Quantidade de resíduo gerado	600			gramas/dia/habitante
Quantidade total de resíduo gerado	3.000.000			t/ano
Custo total da disposição do resíduo	60	140	280	R\$/t
Estimativa de créditos de carbono	0	10.000.000	20.000.000	US\$/ano
Estimativa de ocupação de Área	12.000.000	12.000.000	4.000.000	m ²

Esses valores podem ser generalizados para o conjunto dos municípios do Estado de São Paulo com população entre 100 mil e 600 mil habitantes, com uma composição do lixo próxima à encontrada em Piracicaba. Essa população é da ordem de 38 vezes a população de Piracicaba, portanto, considerando a possibilidade de formação de consórcios entre municípios, aproximadamente 38 centrais de processamento, independente da solução escolhida, aterro, incineração ou plasma térmico, seriam suficientes para atender a esses municípios. Esse número pode variar em função de aspectos logísticos, que não são abordados nesta tese. A Figura 42 demonstra os dados comparativos para atendimento de todas as cidades médias do Estado de São Paulo, trabalhadas nesta tese.

**Figura 42 – Dados de Mercado para Cidades Médias do Estado de São Paulo**

A solução de aterro convencional, uma melhoria do que se pratica hoje, considerando uma geração de 3 milhões t/ano de resíduos, representaria um mercado de cerca R\$ 180 milhões de reais/ano para o tratamento. A solução de um aterro mais completo e sofisticado, com compactação por compostagem, aproveitamento de gases, e geração de energia, representaria para esse volume um mercado estimado em R\$ 420 milhões de reais. A solução de plasma, ou incineração ambientalmente correta, com direito a créditos de carbono, representaria um mercado de R\$ 840 milhões/ano. Esses sistemas teriam uma vida útil de 20 anos, e projetam-se números estáveis por esse período, pois o possível aumento de volume de resíduo anual gerado pela sociedade seria absorvido com a tendência do aumento da reciclagem.

Quanto aos créditos de carbono que poderiam ser obtidos pelo conjunto dessas cidades, estima-se ao ano nenhum crédito de carbono para a solução de aterro simples, US\$ 10 milhões/ano para a solução de aterro do aterro projetado, e de US\$ 20 milhões/ano para tecnologias mais avançadas como o plasma térmico ou a incineração atual. Obviamente são ordens de grandeza que dependerão da evolução do mercado.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentam-se a seguir as considerações finais da pesquisa. Os resultados apontam que os resíduos devem ser tratados sistemicamente, apoiados pela teoria de ciclo de vida do produto. Dentro desse conceito, a reciclagem e o reaproveitamento energético levam a eco-eficiência para minimizar o impacto ambiental.

Todos os processos analisados têm sua importância, mesmo aqueles que vêm sendo mal-utilizados como a compostagem ou insuficientemente utilizados como a reciclagem. As corretas seleção e combinação dos processos levam a maior eco-eficiência, resultando em menor dano ambiental para as terras, para as águas, para o ar e, particularmente, pensando na continuidade do planeta, a um menor aquecimento global.

9.1 Considerações sobre as Hipóteses

São apresentadas as considerações a seguir quantos às hipóteses iniciais que a pesquisa se propôs a verificar.

9.1.1 Existência de alternativas tecnológicas

A hipótese da existência de novas tecnologias mais avançadas, do que as usualmente praticadas no Brasil, foi confirmada, na medida em que já existem projetos certificados com ao menos duas das tecnologias abrangidas, a recuperação do gás de aterro e a incineração. A terceira tecnologia, a de plasma térmico, já está implementada no Brasil em âmbito industrial, para reciclagem das embalagens da Tetrapak, em Piracicaba (SP), e da Ecochamas, em Resende (RJ). O caminho, portanto, já está traçado, trata-se agora de uma questão da viabilização econômica para a popularização dessas tecnologias.

9.1.2 Investimento em novas tecnologias

Pode-se constatar que o tratamento de resíduos sólidos com tecnologias inovadoras é factível num equilíbrio social, econômico e ambiental, contribuindo para o conceito de desenvolvimento sustentável. As novas tecnologias abordadas também estão confirmadas, na

medida em que vários projetos, como o NovaGerar e o Aterro Bandeirantes, com energia do gás de aterro; e o Usina Verde, com incineração, estão viabilizados e recebendo créditos de carbono. Notou-se que alguns gestores revelam preferência por tecnologias mais tradicionais como o aterro, alegando serem mais baratas. Pode-se estar incorrendo em erro por não colocar nos cálculos a indisponibilidade para as gerações futuras daquela área, bem como os custos de monitoração constante que, pela legislação atual deverão ser feito por décadas.

Mesmo os aterros privados, que vêm sendo montados no interior do Estado, para atender aos resíduos industriais, mas que aceitam a co-disposição do resíduo municipal em células apropriadas separadas, já vem sendo concebidos no paradigma de eco-eficiência e mínimo comprometimento ambiental, tendo já na origem a preocupação em obter créditos de carbono e a venda de energia elétrica.

Todavia, mais importante do que viável, a pesquisa apontou ser extremamente necessário a busca por novas tecnologias, em função do esgotamento de efetividade ambiental das atuais que, no mínimo, precisam ser melhoradas.

Nesse sentido há de se reconhecer os esforços das prefeituras, uma vez que, aberto um programa do Ministério das Cidades para apoiar a obtenção de créditos de carbono, os municípios médios do Estado de pronto se propuseram a participar. Em particular os três municípios onde houve entrevista. O que falta são linhas de crédito, pois a atual estrutura arrecadatória de impostos do Brasil deixa os municípios em situação de atender minimamente as demandas de saúde e educação.

9.1.3 Efetividade do Protocolo de Kyoto no tratamento de RSU

A hipótese sobre o financiamento via mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Kyoto ser uma variável importante para a escolha da tecnologia visto que traz ganhos sociais, econômicos, e ambientais ao município, também foi confirmada. Mostrou-se um fator importante no processo de decisão. Nas entrevistas de campo constatou-se que se não houvesse os créditos de carbono, poderiam não ser viáveis as propostas de coleta de gás de aterro para geração de energia elétrica, uma vez que essa é uma tecnologia que ainda não se paga sozinha, e os créditos de carbono estão, nesse caso, bem calibrados para promover uma melhoria ambiental.

Diante do momento de inflexão, e com a conscientização social do problema ambiental, faz-se necessário buscar o aperfeiçoamento do modelo, deixando de ser reativo, ao premiar as soluções adequadas, e passando a ser propositivo, ajudando na busca de soluções tecnológicas de menor emissão, por meio de políticas de financiamento do Estado para o desenvolvimento de novas tecnologias.

9.2 Considerações sobre os Resultados Obtidos

Apresentam-se a seguir as perspectivas para o processo de aterro sanitário.

9.2.1 Situação dos aterros

A pesquisa apontou que a técnica do aterro convencional, na forma dos lixões ou valas, está definitivamente condenada e seu sucessor, o aterro sanitário, continua em seu processo evolutivo, devendo se configurar no futuro como um biorreator, um organismo vivo fornecedor de energia, sob condições controladas.

Os aterros continuarão a ocupar extensas áreas que devem necessariamente estar localizados bem distantes dos centros urbanos, por questões de saúde. Por outro lado, os aterros podem deixar de serem fortes emissores de poluição ambiental, pois os processos de geração de chorume serão mais bem controlados, além da contenção de lixiviação, por meio da melhoria dos processos de impermeabilização do solo para impedir a contaminação dos lençóis freáticos.

Dentro da visão sistêmica, diferentemente da que se pratica hoje, em que os produtos rejeitados *a priori* pela sociedade são aterrados, os processos de coleta seletiva e separação devem se aperfeiçoar de tal maneira que somente a parcela realmente desprovida de utilidade, no sentido da reciclagem, deve ir para lá e na sua decomposição virar energia. Essa parcela de material deve ser composta de, prioritariamente, papéis engordurados, papéis pobres em fibras, por já ter passado por vários processos de reciclagem, e também restos de borracha e material plástico que tem bom poder calorífico.

Com a evolução das técnicas como a do plasma térmico, esses materiais, que podem levar de 300 a 1.000 anos para se decompor, podem também virar insumo para geração de energia, o que então, num futuro que parece ser ainda distante, representaria o fim desta técnica.

No entanto, o aterro sanitário, pelo critério do valor presente líquido, sem dúvida, será ainda a solução no Brasil economicamente mais viável, por algum tempo. Essa solução pode ser melhorada com a coleta dos gases do aterro, contanto para isso, de imediato, com os créditos de carbono.

9.2.2 Incineradores

Quanto aos incineradores, constatou-se que também rejuvenesceram e passaram a ter suas emissões bastante controladas e agora estão sendo inseridos na proposta *waste-to-energy*, com o aproveitamento da energia térmica liberada, entregando vapor ou água quente para indústria.

O processo de separação denominado RDF tem sua efetividade ao potencializar a geração de energia, separando a parcela orgânica que pode ser encaminhada para aterro ou compostagem.

Durante a entrevista de campo em Santos, teve-se contato com a proposta da tecnologia de incineração da Baviera, que atende a todos os requisitos ambientais. Essa proposta vem sendo patrocinada pela SEMA (SP), para se implantar um projeto piloto em Santos, Taboão da Serra, São Bernardo do Campo e Barueri.

9.2.3 Plasma térmico

O processamento a plasma deve passar a concorrer diretamente com os incineradores, com vantagens dentro do conceito *waste-to-energy*, uma vez que, ao liberar o gás de síntese mais uniforme do que os emitidos pelos incineradores, requer menos investimento e recursos operacionais para sua limpeza, barateando o seu uso em geradores de energia. Esse processo deve se potencializar com as técnicas de RDF.

O plasma também terá um papel importante na recuperação de áreas atualmente degradadas de aterro, pois poderá processar o material depositado transformando-o em energia.

Em termos de logística, durante a pesquisa notou-se que a localização de estações de tratamento a plasma, por exemplo, no Japão, está em áreas urbanas, por razão de os sistemas apresentarem menores emissões e mais facilidade em seu controle. Isso poderá provocar grandes mudanças, na medida em que as estações poderão se situar mais próximas dos centros de geração de resíduos. Diferentemente do aterro, também não há uma necessidade de dimensões populacionais mínimas para a formação de escala, definidas pelos entrevistados em 450 mil habitantes, para que o sistema seja economicamente exequível. Poderão existir módulos processando o resíduo dentro de um condomínio fechado, de um shopping center, de uma fazenda, ou de qualquer outro ponto de geração, entregando energia diretamente para o consumo local, com redução de custos de coleta e conseqüente redução de emissão por menores trajetos de caminhões.

9.2.4 Reciclagem

A reciclagem tem um papel fundamental na recuperação de matéria-prima, uma vez que uma riqueza imensa vem sendo mal-proveitada e, conseqüentemente enterrada ou incinerada, o que seria inaceitável diante dos conceitos da teoria de ciclo de vida do produto e de eco-eficiência que vêm econômica e socialmente se desenvolvendo.

A reciclagem, mais do que ser uma necessidade social, é uma necessidade econômica. A principal organização não-governamental atuante no Brasil, focalizada na ação de coleta e reciclagem, tem o financiamento de algumas das principais empresas multinacionais com atuação no Brasil.

Esse não é um fenômeno local ou isolado, e está ligado à exaustão de matéria-prima do planeta, portanto, se deve acelerar. O modelo brasileiro de coleta seletiva oficial, praticado pelas prefeituras, que sofrem pressão dos catadores, foi ao mesmo tempo defendido e criticado durante as entrevistas.

Os defensores de técnicas efetivas do tratamento de resíduos consideram a coleta seletiva uma perpetuadora de condições subumanas, enquanto os defensores da reciclagem consideram que já se tem um modelo brasileiro de reciclagem pronto, formatado de acordo com as nossas realidades logística, social, econômica e ambiental; não sendo, portanto, necessária a inspiração em modelos europeus. Faltaria no momento a sua extensão, ligando-o mais

fortemente à indústria receptora de coletores oficiais ou não, o que deveria passar por uma ação de Estado, aí representado pelas prefeituras municipais. Uma verdade foi constatada em todas as entrevistas: os sucateiros se proliferam e se organizam velozmente, e se antecipam às coletas seletivas oficiais. Enquanto os catadores utilizam pequenas carroças, os sucateiros já possuem veículos motorizados, e conhecimento dos planos das prefeituras, e por isso se antecipam à atividade dos catadores. Isso ficou evidente em Santos, onde, embora as campanhas pela coleta seletiva sejam extensivas, o volume coletado não cresce há anos, pelo desvio de rota praticado pelos sucateiros que, trabalhando motorizados e ligados aos “ferros-velhos”, lidam com maiores volumes e conseguem melhores preços no mercado junto às indústrias.

9.2.5 Compostagem

A compostagem foi apontada como uma solução de pequena escala e que, ao ser reproduzida em maior escala, pode demonstrar deficiências de processo que resultam em contaminação e reaproveitamento do composto resultante para o uso agrícola, como fertilizante, por razão da presença de metais pesados. Seu futuro, de acordo com o apontado na literatura, por meio de experiências da Califórnia e Austrália, está ligado à implementação do conceito de lixo zero. Na verdade a parcela orgânica, por esse princípio não deveria entrar na coleta oficial e ser retida *a priori*, evitando a possibilidade de contaminação.

Observou-se na proposta de Piracicaba, inspirada no processo de São José do Rio Preto, o uso da compostagem, não para gerar fertilizantes (uma vez que estes devem ter um controle extremo para não contaminar os alimentos com metais pesados), mas para fazer uma redução de volume antes da disposição final. É bom lembrar que a compostagem, quando corretamente praticada, também dá direito a créditos de carbono.

9.2.6 Outras tecnologias

Além das tecnologias aqui trabalhadas, não se detectou nenhuma outra emergente com potencial de aplicação nos próximos dez anos no Brasil. A ação microbiológica terá seu espaço em nichos para o resíduo industrial e não para o municipal, mas a lentidão do processo e a baixa efetividade foram apontadas nas entrevistas. Tecnicamente, no futuro, a questão

mais importante pode ser o fato dos aterros serem importante fonte de coleta de hidrogênio para abastecer veículos movidos a célula de hidrogênio, tecnologia já factível.

9.3 Considerações sobre o Método

Para a elaboração desta tese buscou-se a opinião de importantes *stakeholders* na política nacional de resíduos sólidos e com atuação no Estado de São Paulo. Para o município, a percepção de importância das variáveis para atribuição de pesos pode ser obtida com atores presentes no município, obtendo soluções mais próximas à realidade local. Aqui se usou a ferramenta *Logical Decisions* pela facilidade de simulação. Porém o método, apesar de se basear numa matemática complexa, faz uso de cálculos aritméticos simples e pode ser empregado com o uso de planilhas eletrônicas em qualquer computador pessoal.

O método adotado mostrou-se eficaz, com abordagem quantitativa coerente com a percepção qualitativa obtida das entrevistas. Sugere-se aos municípios que o método sirva de referência a obtenção de *insights* locais, ou seja, replicado e complementado de maneira adequada às suas condições locais.

Conforme apontado na literatura internacional, o método pode ser usado para a realização de um seminário, com o preenchimento das planilhas quantitativas ao final dos debates, quando se espera que já tenha ocorrido um processo de mútua influência, com algum grau de convergência. A busca da convergência não é o objetivo ou proposta esperada desta técnica, porém pode ajudar a criar unidade em torno da solução de compromisso.

9.4 Contribuição Teórica

A principal contribuição teórica apresentada nesta tese é a reunião dos métodos de *system analysis* e *decison analysis*. A primeira apresenta uma abordagem sistêmica do problema, a partir da pesquisa da literatura internacional, buscando indícios das perspectivas futuras das tecnologias de tratamento de resíduos sólidos urbanos.

Esses dados foram estruturados sistemicamente, de forma que o pesquisador os transpôs para um questionário, para que os *stakeholders* pudessem opinar sobre uma situação hipotética futura mais adequada, após apresentados os *trade-offs* pertinentes, e não sobre uma situação

real, como usualmente é feito. Não se trata, portanto, de uma tomada de decisão só para a ação imediata, mas sim de um desenho do futuro mais adequado, a ser expresso em políticas públicas.

A questão diferencial desta pesquisa está na maneira como foi aplicado o método de decisão, uma vez que previamente foram levantadas as tendências de tratamento dos RSU, foram selecionadas no nível macro da sociedade, as pessoas envolvidas que representassem os corretos arquétipos das posições evidentemente conflitantes, e então foi desenhada a solução ambientalmente mais adequada.

9.5 Considerações sobre Políticas Públicas

Quanto às políticas públicas, pode-se constatar que são adequadas e não há ressalvas a elas. No entanto, o Estado brasileiro por si só não conseguirá dar uma solução a este grave problema. São necessários altos financiamentos, e o instrumento da parceria pública privada poderia ser a solução de viabilização, conforme levantado nas entrevistas e preconizado no capítulo asiático da Convenção da Basiléia.

Não se pôde comprovar durante as entrevistas a validade da hipótese de Porter para o Brasil, que considera que elevar o nível da legislação obrigando as empresas a se adequar, acaba por elevar o patamar tecnológico como um todo, e traz vantagem competitiva para quem adere em primeira mão. Comentários obtidos nas entrevistas apontam para a baixa eficácia na aplicação dessas leis no Brasil, que acabam por aumentar o nível de adequação de quem já é cumpridor de obrigações ambientais e marginalizando ainda mais os que não as cumprem. O caminho apontado nas entrevistas passa por auto-regulamentação do setor, por campanhas educativas, por financiamentos, principalmente internacionais, por parceria público-privada e incentivo fiscal. E para problemas globais, como o do aquecimento, por programas de compensação (*offset*) como o Protocolo de Kyoto.

9.6 Conclusões

Após um mergulho em profundidade neste problema do tratamento dos resíduos sólidos, o pesquisador conclui que:

- As tecnologias de tratamento de resíduos para um mundo mais limpo já estão disponíveis;
- Essas tecnologias não são de conhecimento da grande maioria dos gestores públicos;
- As prefeituras encontram-se sob restrições orçamentárias enormes e sem o apoio de órgãos estaduais e federais, além de financiamentos internacionais e subsidiados, não conseguirão se adequar às necessidades ambientais com rapidez;
- A iniciativa privada se beneficia de um processo de coleta seletiva ineficiente. As prefeituras, efetivamente comprometidas em fazer um trabalho social nessa área, devem intermediar e disciplinar as relações dos sucateiros, dos catadores autônomos e das cooperativas de catadores com a indústria, para que ela pague o real valor do material para a reciclagem;
- Há um engessamento do processo decisório, diante da incapacidade do poder público municipal de comprovar suas intenções, por falta de um modelo de decisão estruturado e isento;
- Esse engessamento leva à obsolescência das soluções em prática nas cidades de médio porte, criando oportunidades para que empresas operadoras de resíduos, ligadas a grandes grupos empresariais, venham a implantar soluções às quais as prefeituras estão sendo submetidas, sem ter controle de escolha de processos ou de preços;
- A operação privada de aterros sanitários e industriais é oligopolizada diante da necessidade de capital intensivo. As sedes das grandes empresas, algumas visitadas nas entrevistas, estão no Itaim Bibi, bairro nobre da cidade de São Paulo, junto às grandes construtoras, que eventualmente são suas controladoras;
- A presença desses aterros privados é notada na região do ABC, em Santos, Paulínia, Ribeirão Preto e estão se disseminando pelo interior do Estado de São Paulo;
- A melhor solução para resolver os dilemas expostos acima seria a prefeitura ter uma solução de compromisso, reunindo expectativas das forças atuantes em seu município e atuando como reguladora. Para isso, é necessário disciplinar os processos de coleta seletiva e valorizar empresarialmente a ação dos catadores, possibilitando uma geração substantiva de receitas e não de subsistência;
- Do ponto de vista das soluções de destino final dos RSU, devem-se promover as parcerias público-privadas que fariam com que a força empreendedora dos grandes grupos empresariais atuantes no setor se somasse às ações reguladoras do Estado;

- Com essas parcerias seria possível minimizar a baixa capacidade de investimento do Estado; agregar o espírito empreendedor do empresariado brasileiro; reincorporar parcelas sociais dispersas em atividade e empregos dignos; e trilhar o caminho da eco-eficiência traçado nesta tese.

9.7 Limitações da Pesquisa

Embora a pesquisa tenha caráter prescritivo, orientando o administrador para a tomada de decisão, sugere-se a seguinte avaliação: se as condições trabalhadas nesta tese estão próximas às condições reais encontradas no município? Em havendo resposta negativa ou a necessidade de se incorporar mais alguma variável ou tecnologia na análise, o método tem a flexibilidade adequada.

No caso da atribuição de valor das alternativas, a avaliação baseou-se na literatura nacional e internacional completada com a percepção dos respondentes. Eventualmente essa avaliação pode ser posta em discussão por especialistas que tenham outros pontos de vista sobre a utilidade das soluções.

As entrevistas com os *stakeholders* aqui transcritas inevitavelmente apresentam um viés do pesquisador e podem ser, há qualquer momento, contestadas. No entanto, é importante ressaltar que em nenhum momento a visão do pesquisador, que considera todas as soluções avaliadas extremamente úteis, se chocou com a opinião dos entrevistados, tendo sempre sido uma oportunidade de aprendizado. O pesquisador espera, dentro de suas limitações, ter juntado sistemicamente todas diferentes visões que captou do problema.

9.8 Continuidade da Pesquisa

Essa pesquisa poderá ter continuidade ao:

- Discutir novas tecnologias de tratamento de resíduos sólidos, além das aqui trabalhadas, incluindo-as no modelo;
- Discutir as soluções mais adequadas num seminário e, posteriormente, aplicar o modelo de decisão para o planejamento do município;

- Desenvolver pesquisa-ação sobre a implantação deste modelo num determinado município;
- Acrescentar outros *stakeholders* envolvidos neste processo de decisão;
- Usar outros métodos de decisão, diferentes do aqui não utilizado, para classificar as alternativas, com o intuito de se comparar com os resultados aqui obtidos;
- Aplicar o método aqui utilizado para avaliar alternativas tecnológicas para outros sistemas emissores de gases de efeito estufa;
- Aplicar o método aqui utilizado para outras funções da administração pública, como a escolha de sistemas de geração de energia, a priorização de orçamento de uma prefeitura, etc.

REFERÊNCIAS

ALBRITTON, D. L. et al. **Summary for policymakers: a report of Working Group I of the intergovernmental panel on climate change.** Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2006.

ARVAI, L. Joseph; GREGORY, Robin; McDANIELS, Timothy L. Testing a structured decision approach: value-focused thinking for deliberative risk communication. **Risk Analysis**, New York, v. 21, n. 6, p. 1065–1076, Dec. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS. **Perfil do setor de tratamento de resíduos e serviços ambientais.** São Paulo: ABETRE, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS – ABETRE. **Consulta geral a homepage.** Disponível em: <<http://www.abetre.com.br/>>. Acesso em: 12 jan. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS PÚBLICAS E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Consulta geral a homepage.** Disponível em: <<http://www.abrelpe.com.br/>>. Acesso em: 12 jan. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **Resíduos sólidos – Classificação** - Número de referência - ABNT NBR 10004, 71 páginas, 2004.

BASEL CONVENTION REGIONAL CENTRE IN CHINA. Asia Pacific Regional Centre for Hazardous Waste Management – Training and Technology Transfer. **Development of the decision supportive tools for hazardous waste management.** Beijing: Basel, 2006. 157p. Disponível em: <<http://www.basel.int/stratplan/oweg1/projdocs/china/newpartn/3.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2006.

BASIC. **Project basic.** Disponível em: <<http://www.basic-project.net/>>. Acesso em: 25 ago. 2006.

BELL, David E.; KEENEY, Ralph L.; RAIFFA, Howard. **Conflicting objectives in decisions.** Great Britain: International Institute for Applied Systems Analysis, 1977.

BERNOULLI, Daniel. Exposition of a new theory on the measurement of risk. **American Economic Review**, Nashville, v. 22, n. 1, p. 23-36, Jan. 1954. (tradução do latim de Louise Summer do original Specimen Theoriae Novae de Mensura Sortis, 1738).

BIOGÁS-AMBIENTAL, **Consulta geral a homepage.** Disponível em <<http://www.biogas-ambiental.com.br/>>. Acesso em: 15 jan. 2007.

BULGARANOVA, Janetta. Plasma chemical gasification of sewage sludge. **Waste Management and Research**, London, v. 21, n. 1, p.38-41, Feb. 2003.

BULKELEY, Harriet; BETSIL, Michele M. **Cities and climate change – urban sustainability and global governance.** New York: Routledge, 2005.

BURKE, E. J.; BROWN, S. J.; CHRISTIDIS, N. Modelling the recent evolution of global drought and projections for the twenty-first century with the hadley centre climate mode. **Journal of Hydrometeorology**, Boston, v. 7, n. 5, p. 1113–1125, 2006.

CALDERONI, Sabetai. **Os bilhões perdidos no lixo**. 4. ed. São Paulo: Humanitas, 2003.

CALLAN, Scott J.; THOMAS, Janet M. **Environmental economics & management: theory, policy, and applications**. 3. ed. Mason, Ohio: Thomson South-Western, 2004. 585p.

CHAMBAL, Stephen; SHOVIK, Mark; THAL JUNIOR., Alfred E. Decision analysis methodology to evaluate integrated solid waste management. **Environmental Modeling and Assessment**, Amsterdam, v.8, n.1, p. 25-34, Mar. 2003.

CHANG, Shoou-Yuh; BINDIGANAVILLE, Kumar. LCA and multicriteria evaluation of solid waste recycling. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR ENVIRONMENTAL; INFORMATION SCIENCES. **Environmental informatics archives**. Regina, CA: ISEIS, 2005. v. 3, cap. 2, p.118 – 129. (Publication Series Number P002). Disponível em: <<http://www.iseis.org/eia/pdfstart.asp?no=05016>>. Acesso em: 20 jan. 2007.

CHEREMISINOFF, Nicholas P. **Environmental technologies handbook**. Maryland, USA: Government Institutes, 2005.

CHURCH, John A.; WHITE, Neil J. A 20th century acceleration in global sea-level rise. **Geophysical Research Letters**, Washington, v.33, n.1, 2006.

CIRCEO, Louis J.; MARTIN JR., Robert C.; SMITH, Michael E. **Achieving “zero waste” with plasma arc technology**. Atlanta: Plasma Applications Research Program, Georgia Tech Research Institute, 2005.

CLEMEN, Robert T.; REILLY, Terence. **Making hard decision with decision tools**. California: Duxbury, 2001.

COMISSÃO MUNDIAL PARA O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO – CMMAD. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: FGV, 1988.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares: relatório de 2006**. São Paulo: CETESB, 2007. 98p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 16 maio 2007a.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Consulta geral a homepage**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 04 mar. 2007b.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PELA RECICLAGEM – CEMPRE. **Consulta geral a homepage**. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em: 28 fev. 2007.

CONNETT, Paul. **Incineração do lixo municipal – uma solução pobre para o século 21**. In: CONFERÊNCIA ANUAL DE ADMINISTRAÇÃO INTERNACIONAL DE LIXO PARA ENERGIA, 4., 1998, Amsterdã. Disponível em: <http://www.abrelpe.com.br/iswa_artigos.php?codeps=Nw>. Acesso em: 13 dez. 2006.

CONNETT, Paul; SHEEHAN, Bill. **A citizen's agenda for zero waste – a United States / Canadian perspective**: a strategy that avoids incinerators and eventually eliminates landfills. Cotati: GRRN, 2001. 28p. Disponível em:
<http://www.grrn.org/zerowaste/community/activist/citizens_agenda_2_read.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2007.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTAVEL. **Roteiro básico para elaboração de um projeto de MDL**. Rio de Janeiro: Câmara de Mudanças Climáticas, [2006]. Disponível em:
<<http://www.cebds.org.br/cebds/mc-publicacoes.asp>>. Acesso em: 06 maio 2006.

CONSELHO NACIONAL PARA O MEIO AMBIENTE. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 jul. 2002. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html/>>. Acesso em: 05 jan. 2007.

CORFEE-MORLOT, Jan; HÖHNE; Niklas. Climate change: long-term targets and short-term commitments. **Global Environmental Change**, Oxford, v. 13, n. 4, p. 277-293, Dec. 2003.

COX, P. M. et al. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. **Nature**, v. 408, n. 6809, p. 184-187, 9 Nov. 2000.

CRUZ, Antonio Carlos. **Aplicação da tecnologia de plasma para tratamento de resíduos sólidos urbanos**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 24 fev. 2006. Entrevista concedida a Walter Furlan.

D'ALMEIDA, Maria Luisa O.; VILHENA, André (Coord.). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 370p. (IPT Pub. 2622).

DASGUPTA, Partha; MÄLER, Karl-Göran. **Poverty, institutions, and the environmental resource base**. Washington: World Bank, 1994. (Environment Paper 9)

DAYAL, A. R. et al. The design optimization of a plasma reactor for chemical waste destruction. **Plasma Chemistry and Plasma Processing**, New York, v.24, n.4, p. 573-584, Dec. 2004.

ECKE, H. et al. State-of-the-art treatment processes for municipal solid waste incineration residues in Japan. **Waste Management and Research**, London, v. 18, n. 1, p. 41-51, Feb. 2000.

ECOCHAMAS. **Consulta geral a homepage**. Disponível em:
<<http://www.ecochamas.com.br/>>. Acesso em: 4 fev. 2007.

ECOSECURITIES. **Projeto de aproveitamento do biogás de aterro sanitário – NovaGerar documento de concepção do projeto**. Oxford: EcoSecurities Ltd. Soluções Financeiras para o Meio Ambiente, 2004. Disponível em:
<http://www.mct.gov.br/upd_blob/5931.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2006.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO – EMPLASA. **Região Metropolitana da Baixada Santista**. Disponível em: <<http://www.emplasa.sp.gov.br/metropoles/RmBaixadaSantista.asp>>. Acesso em: 20 abr. 2007.

ERIKSSON, O. et al. ORWARE—a simulation tool for waste management. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 36, n. 4, p. 287-307, Nov. 2002.

EUROPEAN COMMISSION. **EU action against climate change - EU emissions trading —an open scheme promoting global innovation**. Belgium: European Communities, 2005. Disponível em: <http://europa.eu.int/comm/environment/climat/pdf/emission_trading2_en.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2007.

FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA. Universidade de São Paulo. **Consulta geral a homepage**. Disponível em: <<http://www.fsp.usp.br>>. Acesso em: 05 abr. 2007.

FREEMAN, Christopher. **The economics of hope: essays on technical change, economic growth and the environment**. London, New York: Pinter Publishers, 1992.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE. **Pesquisa da Atividade Econômica Paulista – PAEP**. São Paulo: Seade, 2001.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE. **Pesquisa de Municípios**. São Paulo: Seade, 2005.

GIORDANO, Samuel Ribeiro. Desenvolvimento sustentável e meio ambiente na virada do século. **Economia e Empresa**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 49-55, abr./jun. 1995.

GLADWIN, Thomas N.; KENNELLY, James, J.; KRAUSE, Tara-Shelomith. Shifting paradigms for sustainable management: implications for management theory and research. : **Academy of Management Review**, New York, v. 20, n. 4, p. 874-907, 1995.

GOELLER, Bruce F. **A framework for evaluating success in systems analysis**. California: Rand Corp Santa Monica, Jun. 1988.

GOLDEMBERG, José. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Edusp, 1998.

GRAEDEL, T. E. **Streamlined life-cycle assessment**. New Jersey: Prentice-Hall, 1998.

GREGORY, Robin. Using stakeholders values to make smarter environmental decisions. **Magazine Environment**, v. 42, n. 5, p. 34-44, 2000.

GREGORY, Robin; FISCHHOFF, Baruch; MCDANIELS, Tim. Acceptable input: using decision analysis to guide public policy deliberations. **Decision Analysis**, Hanover, v. 2, n. 1, p. 4-16, Mar. 2005.

GREGORY, Robin; KEENEY, Ralph L. Creating policy alternatives using stakeholders values. **Management Science**, Providence, v. 40, n. 8, Aug. 1994.

- GREGORY, Robin; WELLMAN, Katharine. Bringing stakeholders values into environmental policy choices: a community-based estuary case study. **Ecological Economics**, Washington, v.39, n. 1, p. 37-52, Oct. 2001.
- GRIPPI, Sidney. **Lixo, reciclagem e sua história**: guia para as prefeituras brasileiras. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.
- GÜNTHER, Hartmut. **Como elaborar um questionário**. Brasília, DF: UnB / Laboratório de Psicologia Ambiental, 2003. (Série: Planejamento de Pesquisa nas Ciências Sociais, 1)
- HANSEN, J. et al. Global temperature change. **Proceedings of the National Academy**, v. 103, p. 14288-14293; 2006.
- HEIJUNGS, R. et al. **Environmental life cycle assessment of products**: guide and backgrounds, national reuse of waste research program. Leiden, Netherlands: Centrum voor Milieukunde, 1992.
- HENKEN-MELLIES, Ulrich; GARTUNG, Erwin. Long-term observation of alternative landfill capping systems – field tests on a landfill in Bavaria. **Land Contamination & Reclamation**, London, v. 12, n. 1, p. 21-28, Dec. 2004.
- HENRIQUES, Rachel Martins. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos**: uma abordagem tecnológica. 2004. Dissertação (Mestrado) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- HERRBACH, A. Paul; BACON, Marc, P. Plasma assisted sludge oxidation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLASMA CHEMISTRY, 17., 2005, Toronto. **Proceedings...**Toronto: ISPC, 2005.
- HETLAND, Jens; LYNUN, Steinar. Multi-recovery from waste in a novel compound shaft-reactor plasma-mixing-destruction-chamber approach. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TECHNOLOGIES AND COMBUSTION FOR A CLEAN ENVIRONMENT, 6., 2001, Porto. **Proceedings...**Porto: Instituto Superior Técnico, 2001.
- HÖHNE, N. et al. **Options for the second commitment period of the Kyoto Protocol**. Berlin: Federal Environmental Agency, 2005. Disponível em: <<http://www.eldis.org/static/DOC21591.htm>>. Acesso em: 31 jan. 2007.
- HOWARD, R. Decision analysis: practice and promise. **Management Science**, Providence, v. 34, n. 6, p. 679-695., 1988.
- HUPPES, Gjalt; ISHIKAWA, Masabonu. A framework for quantified eco-efficiency analysis. **Journal of Industrial Ecology**, New Haven, v.9, n.4, p.25-41, Fall, 2005.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Consulta geral a homepage**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 31 jan. 2007.
- INTERNATIONAL INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEMS ANALYSIS - IIASA. **Consulta geral a homepage**. Disponível em: <<http://www.iiasa.ac.at>>. Acesso em: 28 maio 2007.

INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION – ISWA. **Consulta geral a homepage.** Disponível em: <<http://www.iswa.org/web/guest/home>>. Acesso em: 10 fev. 2007.

JOHN, Vanderley M.; ÂNGULO, Sérgio C.; AGOPYAN, Vahan. **Sobre a necessidade de metodologia de pesquisa e desenvolvimento para reciclagem.** São Paulo: USP/PCC, 2003.

JOSEPH, Kurian. **Sustainable landfills for municipal solid waste management.** Chennai: Centre for Environmental Studies / Anna University, 2002. Disponível em: <http://www.serd.ait.ac.th/sidaSWM/Project_docs/Sustainable%20landfills%20for%20SWM.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2007.

KEENEY, Ralph L. Decision analysis: an overview. **Operations Research**, Baltimore, v. 30; n. 5, p.803-808; Sept./Oct. 1982.

KEENEY, Ralph L. Making better decision makers decision analysis. **Decision Analysis**, Hanover, v. 1, n. 4, p. 193–204, 2004.

KEENEY, Ralph L. **Value-focused thinking: a path to creative decision making.** Cambridge, MA: Harvard University Press, 1992.

KEENEY, Ralph L.; RAIFFA, Howard. **Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs.** New York: Wiley, 1976.

KISH, L. **Statistical design for research.** New York: Wiley, 1987.

KNAEBEL, Kent S.; REINHOLD, Herbert E. Landfill gas: from rubbish to resource. **Adsorption**, Netherlands, v. 9, n.1, p. 87-94, Mar. 2003.

KRAUTKRAEMER, Jeffrey A. **Economics of natural resource scarcity: the state of the debate.** Washington, DC: RRF Press, 2005. 45p. Disponível em: <<http://www.rff.org/Documents/RRF-DP-05-14.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2006.

LA ROVERE, Emílio Lebre; COSTA, Claudia do Valle; DUBEAUX, Carolina Burle. Aterros sanitários no Brasil e o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL): oportunidades de promoção de desenvolvimento sócio-ambiental. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS E TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2006, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: [s.n.], 2006. 9p.

LASTROCOM. **Consulta geral a homepage.** Disponível em: <http://www.lastrocom.com.br/recovery_energy/index.htm>. Acesso em: 27 jun. 2006.

LEMPERT, Robert J.; SCHWABE, William. **Transition to sustainable waste management.** Califórnia: RAND Corporation, 1993.

LOGICAL DECISIONS. **Software.** Disponível em: <<http://www.logicaldecisions.com/>>. Acesso em: 14 ago. 2006.

LOPES, Ignez Vidigal. **O mecanismo de desenvolvimento limpo – MDL: guia de orientação.** Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 2002.

MARCOVITCH, Jacques. Estratégia tecnológica na empresa brasileira. In: VASCONCELLOS, Eduardo (Coord.). **Gerenciamento da tecnologia: um instrumento para a competitividade empresarial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1992.

MARCOVITCH, Jacques. **Para mudar o futuro: mudanças climáticas, políticas públicas e estratégias empresariais**. São Paulo: Edusp, Saraiva, 2006.

MARCOVITCH, Jacques. **Crescimento Econômico e Distribuição de Renda: prioridades para a ação**. São Paulo: Edusp / Senac, 2007.

MCLAUGHLIN, S. et al. **Decontamination and beneficial reuse of dredged estuarine sediment: the Westinghouse plasma vitrification process**. [S.l: s.n.], 2005.

MEINSHAUSEN, Malte. **2°C Trajectories – a brief background note**. Berlin: KyotoPlus – Escaping the Climate Trap, 2006. (Working paper)

MELS, Adriaan et al. Sustainability criteria as a tool in the development of new sewage treatment methods, Great Britain: **Water Science Technology**; v. 39, n. 5., p. 243-250, 1999.

MESQUITA, Antônio Gilson. **Aquecimento global e o mercado de créditos de carbono**. Disponível em: <<http://www.carbonobrasil.com>>. Acesso em: 28 abr. 2006.

METHANE TO MARKETS PARTNERSHIP LANDFILL SUBCOMMITTEE. **United States profile of solid waste disposal practices and landfill gas management**. Washington, D.C.: Methane to Markets Partnership Landfill Subcommittee, 2005. Disponível em: <http://www.methanetomarkets.org/resources/landfills/docs/usa_lf_profile.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2006.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Consulta geral a homepage**. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/>>. Acesso em: 26 ago. 2006.

MONNI, Suvi et al. **Global climate change mitigation scenarios for solid waste management**. Finland: Espoo Technical Research Centre, 2006. 51p. (VTT Publications 603).

MULTIVÁCUO. **Consulta geral a homepage**. Disponível em: <<http://www.multivacuio.com.br/>>. Acesso em: 27 abr. 2006.

MUÑOZ, Susana Inês Segura. **Impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, SP: avaliação dos níveis de metais pesados**. Tese (Doutorado) - Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

NEW YORK CITY ECONOMIC DEVELOPMENT CORPORATION. New York City Department of Sanitation. **Evaluation of new and emerging solid waste management technologies**. New York:NYC, 2004. 175p. Disponível em: <<http://www.nyc.gov/html/dsny/downloads/pdf/pubnrpts/swmp-4oct/appendix-f.pdf>>. Acesso em: 8 nov. 2006.

NOGUEIRA, L. A. H.; WALTER, A. C. S. **Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: experiência e perspectivas**. In: O Uso da Biomassa no Brasil Potenciais para uma Política de Desenvolvimento Regional, n. 6, Rio de Janeiro, Set., 1997.

OLIVEIRA, Luciano Basto; 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.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 9., Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2002.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Consulta geral a homepage.** Disponível em: <<http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/>>. Acesso em: 12 jun. 2007.

OTANI, Choyu et al., **Efeito do Campo Magnético no Processo de Nitretação a Plasma de Aço inoxidável SAE 304.** Disponível em <<http://www.bibl.ita.br/ixencia/artigos/FundGustavoYuasa.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2007.

PANNELL, David J. Sensitivity analysis of normative economic models: theoretical framework and practical strategies. **Agricultural Economics**, Amsterdam, v. 16, n. 2, p. 139-152, May, 1997.

PARK, Young Jun; HEO, Jong. Vitrification of fly ash from municipal solid waste incinerator. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 91, n. 1-3, p. 83-93, 2002.

PDH ENGINEER. **Consulta geral a homepage.** Disponível em: <<http://pdhengineer.net/index.htm>>. Acesso em: 24 fev. 2007.

PORTER, Michael E.; VAN DER LINDE, Claas. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. **Journal of Economic Perspectives**, Nashville, v. 9, p. 97-118, 1995a.

PORTER, Michael E.; VAN DER LINDE, Claas. Green and competitive: ending the stalemate. **Harvard Business Review**, Boston, v. 73, n.5, p. 120-134, Sept./Oct. 1995b.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTOS. **Coleta seletiva preserva meio ambiente e implementa ação social;** comunicado de 23 ago. 2006. Disponível em: <<http://www.santos.sp.gov.br/cgi-bin/comunicacao/listanoticias.pl?3999023/08/2006>>. Acesso em: 20 abr. 2007.

PRICEWATERHOUSECOOPERS. **Estudo sobre o setor de tratamento de resíduos industriais.** [S.l.]: PwC 2006.

RAND CORPORATION. **Consulta geral a homepage.** Disponível em: <<http://www.rand.org/>>. Acesso em: 07 jul. 2007.

RINO, Carlos Alberto Ferreira; VENTURINI, Marilena Prado. Análise da coleta seletiva de resíduos sólidos em duas comunidades no Município de Bauru – SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...**Campo Grande: ABES, 2005.

ROOT, T. L. et al. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. **Nature**, v. 421, n. 6918, p.57–60, 2 Jan. 2003.

RUIZ, Mauro Silva; MACHADO, Eduardo Luiz. **Observatório da Tecnologia e Inovação: a experiência paulista no período 2002 – 2005.** São Paulo: IPT, 2006.

- SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process**: planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill, 1980.
- SACHS, Ignacy. Meio ambiente e desenvolvimento: estratégias de harmonização. In: ANDRADE, Manuel Correia de et al. **Meio ambiente, desenvolvimento e subdesenvolvimento**. São Paulo: Hucitec, 1975. p. 47-63.
- SAKATA, Masahiro; KURATA, Masaki; TANAKA, Nobuyuki. Estimating contribution from municipal solid waste incineration to trace metal concentrations in Japanese urban atmosphere using lead as a marker element. **Geochemical Journal**, Tokyo, v. 34, n. 1, p. 23-32, 2000.
- SAMSON, Danny. **Managerial decision analysis**. Homewood: Irwin, 1988.
- SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Gestão de tecnologias de tratamento de resíduos - modelos de gestão de resíduos sólidos para a ação governamental no Brasil. Aspectos institucionais, legais e financeiros**. São Paulo: SEMA / Cetesb, 1999. (Projeto BRA/92/017).
- SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Região Administração de Bauru**. Disponível em: <<http://www.planejamento.sp.gov.br/AssEco/textos/Bauru.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2007.
- SKOVGAARD, Mette; VILLANUEVA, Alejandro; VRGOC, Marko. **Outlooks for waste generation and methane emissions in Europe to 2020**. / Paper presented at ISWA Annual Congress 2006, 'Waste Site Stories', 1-5 October 2006/.
- SOMMER, B.; SOMMER, R. **A practical guide to behavioral research: tools and techniques**. New York: Oxford U Press; 1997.
- STAHEL, Andri Werner. De Estocolmo ao Rio: a mutação da problemática e do movimento ecológico. In: **Ciências ambientais**. Bragança Paulista: Edusf, 1995. p. 7-25.
- STERN, Nicholas. **Stern review on the economics of climate change**. (Final Report). Disponível em: <http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm>. Acesso em: 29 dez. 2006.
- TENDLER, Michael; RUTBERG, Philip; VAN OOST, Guido. **Plasma based waste treatment and energy production**. Bristol: Institute of Physics Publishing / Plasma and Physics Controlled Fusion, 2005.
- THEMELIS, Nickolas J.; MILLRATH, Karsten. The Case for WTE as a Renewable Source of Energy. In: NORTH AMERICAN WASTE TO ENERGY CONFERENCE, 12., 2004, Savannah. **Proceedings...**México: ASME, 2004.
- THORNELOE, Susan A. et al. The impact of municipal solid waste management on greenhouse gas emissions in the United States. **Journal of the Air and Waste Management Association**, Pittsburgh, v. 52, p.1000-1012, Sept. 2002. Disponível em: <<http://www.wte.org/docs/Thorneloe.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2006.

TSL AMBIENTAL. **Consulta geral a homepage.** Disponível em: <<http://www.tslambiental.com.br/>>. Acesso em: 03 jan. 2007.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY – USEPA; **Greenhouse gases emissions of management of municipal solid waste.** 3. ed. [S.l.]: EPA, 1998. 170p.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - UNFCCC. **Consulta geral a homepage.** Disponível em: <<http://unfccc.int/2860.php>>. Acesso em: 21 nov. 2006.

USINA VERDE. **Incineração de resíduos sólidos urbanos, com carga de composição similar ao RDF, evitando emissão de metano e promovendo geração de eletricidade para auto-consumo.** Rio de Janeiro: Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, COPPE / UFRJ, 2005. (UNFCCC MDL PDD).

VERHOEF, E. V. et al. Industrial ecology and waste infrastructure development: A roadmap for the Dutch waste management system. **Technological Forecasting and Social Change**, New York, v. 73, n.3, p. 302-315, Mar. 2006.

WIGLEY, T.M.L.; RAPER, S.C.B. Interpretation of high projections for global-mean warming. **Science**, v. 293, n. 5529, p. 451- 454, 20 July, 2001.

WILLIAMS, R. B.; JENKINS, B. M.; NGUYEN, D. **Solid waste conversion: a review and database of current and emerging technologies.** Berkeley: Interagency Agreement, University of California, USA, 2003. (Final Report).

WILLIS, Monique; WILDER, Martijn; CURNOW, Paul. **The clean development mechanism: special considerations for renewable energy projects by the renewable energy and international law project.** [S.l.]: Baker & McKenzie, 2006.

WORLD BANK. **The Kyoto Protocol on climate change and the World Bank Group.** Washington D.C.: World Bank, 1998. (Climate Change Information Toolkit for World Bank Operations Staff, Dissemination Note). Disponível em: <<http://www.worldbank.org/>>. Acesso em: 19 jan. 2006.

WORLD RESOURCES INSTITUTE - WRI. **World Resources 2000-2001: people and ecosystems: the fraying web of life.** Washington, DC: World Resources Institute; 2000.

YAREMKO, R. K. et al. **Handbook of research and quantitative methods in psychology.** Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1986.

YU, Abraham Sin Oih; ABREU, Vladimir Amâncio; CAMPANÁRIO, Milton de Abreu. **Uma avaliação de estratégias em plasma térmico para o IPT.** São Paulo: IPT, 1991.

YU, Abraham Sin Oih; AZEVEDO, Paulo Brito Moreira de. Análise de investimento em tecnologia: a experiência da Divisão de Economia e Engenharia de Sistemas do IPT. **Revista de Administração da USP**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 103-118, out./dez. 2000.

YU, Abraham Sin Oih; PRADO, Edmir Parada Vasques,. **Análise de decisão na terceirização da tecnologia de informação: um estudo de caso no setor químico brasileiro.** In: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO, SEMEAD VI, 2003, São Paulo, SP. **Anais...**São Paulo: USP/FEA, 2003.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABETRE	– Associação Brasileira de Tratamento de Resíduos
ABRELPE	– Associação Brasileira de Empresas Prestadoras de Limpeza Pública
AHP	– <i>analytical hierarchic process</i> – Processo Analítico Hierárquico
BTU	– <i>British thermal unity</i>
CDM	– <i>clean development mechanism</i> – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
CEMPRE	– Compromisso Empresarial pela Reciclagem
CETESB	– Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	– Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMDURB	– Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano de Bauru
ETS	– <i>European Union Emissions Trading Scheme</i>
GDL	– gás do lixo recolhido nos aterros ou biogás
GEE	– Gases de Efeito Estufa, o mesmo que <i>green house gases</i> - GHG
GLP	– gás liquefeito de petróleo
GWP	– <i>global warming potential</i> (potencial de aquecimento global)
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LCA	– <i>life cycle analysis</i>
MAUT	– <i>Multi-attribute Utility Theory</i> (Análise de Decisão Multiatributo)
MDL	– mecanismo de desenvolvimento limpo
PPP	– Parceria público-privada
pppv	– partes por milhão por volume
RDF	– <i>refused derived fuel</i> (seleção para aumento do poder energético do lixo)
RSS	– resíduos de serviços de saúde (hospitalar)
RSU	– resíduos sólidos urbanos
SEADE	– Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SEDEMA	– Secretaria de Defesa do Meio Ambiente de Piracicaba
SEMA	– Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo
SEMMA	– Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Bauru
SNISA	– Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico
UFRJ	– Universidade Federal do Rio de Janeiro
USP	– Universidade de São Paulo
VFT	– <i>value-focused thinking</i> (pensamento focado no valor)
WTE	– <i>waste-to-energy</i> (conversão do lixo em energia)

LISTA DE SÍMBOLOS

BTU	– <i>British Thermal Unity</i> , unidade de capacidade térmica. 1 BTU = 1.055,05585 J ou 12.000 BTU/h = 1 TR (tonelada refrigerada).
CH ₄	– Gás Metano
CO ₂	– Gás dióxido de carbono
€	– euro – moeda europeia
g	– grama
G	– giga – medida de 10 ⁹
Gg	– gigagrama equivalente a milhares de toneladas no sistema métrico (usada para diferenciar da tonelada inglesa, um pouco menor)
Gt	– giga tonelada
GtCO ₂ eq/ano	– gases com poder de aquecimento equivalente 10 ⁹ toneladas de gás carbônico emitidos em um ano
HF	– ácido fluorídrico
HCl	– ácido clorídrico
J	– Joule, unidade de energia, sendo 1 joule igual a 0,2388 calorias
Kcal/m ³	– quilocalorias por metro cúbico
M	– mega – medida de 10 ⁶
MgO ₂	– óxido de magnésio
MJ/m ³	– mega joules por metro cúbico
MW	– megawatt – unidade de potência em geração de energia elétrica
MWh	– megawatt hora – unidade de consumo de energia elétrica
ψ	– permissividade - condutividade hidráulica, expressa em inverso de segundos
N ₂ O	– óxido nitroso
NO _x	– óxido de nitrogênio
SiO ₂	– óxido de silício
SO _x	– óxido de enxofre
t	– tonelada
T	– Tera – medida de 10 ¹²
Tg	– teragrama
tCH ₄	– tonelada de gás metano
tCO ₂	– tonelada de gás carbônico
tCO ₂ eq	– quantidade de qualquer um dos gases de efeito estufa com poder de aquecimento global equivalente a uma tonelada de gás carbônico.
tGLP	– tonelada de gás liquefeito de petróleo
tN ₂ O	– tonelada de óxido nitroso
TWh/ano	– terawatt x horas / ano
USD/t	– dólares americanos por tonelada

GLOSSÁRIO DE TERMOS GERAIS

Aterro Controlado – confinamento dos resíduos sólidos que diariamente são cobertos com uma camada de material inerte. Produz-se, em geral, poluição localizada, não havendo, porém, impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas), nem sistema de tratamento de percolado (chorume mais água de infiltração) ou de dispersão dos gases gerados.

Aterro Industrial – aterro especialmente preparado para recepção de resíduos perigosos provenientes de processos industriais.

Aterro Sanitário – disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo (superior ao aterro controlado), por meio de confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde e à segurança, minimizando os impactos ambientais.

Chorume – líquido escuro que contém alta carga poluidora, o que pode ocasionar diversos efeitos sobre o meio ambiente pela alta concentração de matéria orgânica, reduzida biodegradabilidade, pela presença de metais pesados. Pode se originar de três diferentes fontes: a) umidade natural do lixo, aumentando no período chuvoso; b) da água de constituição da matéria orgânica que escorre durante o processo de decomposição; e c) das bactérias existentes no lixo, que expelem enzimas, que dissolvem a matéria orgânica com formação de líquido;

Co-disposição – processo de disposição de mais de um tipo de resíduo no mesmo local. Por exemplo, aterros sanitários que estão autorizados a receber resíduos industriais e perigosos.

Co-geração – processo de geração de energia elétrica com a queima de resíduos, acompanhada de algum combustível para elevação do poder calorífico, e estabilidade do fluxo de energia gerado.

Co-incineração – tratamento de resíduos perigosos em fornos de produção de cimento, por exemplo. Aproveita-se um processo produtivo para resolver um problema de disposição de resíduo.

Combustível de Biomassa – combustível composto por material biológico, por exemplo: madeira, derivados da madeira, casca de arroz, bagaço de cana-de-açúcar e esterco de porco ou vaca.

Dioxinas – substâncias tóxicas e cancerígenas. Plásticos, processos químicos industriais, incineração, óleos lubrificantes, herbicidas, entre outros resíduos, liberam dioxinas para o ambiente que se depositam nos resíduos sólidos urbanos.

Energia específica requerida (*Specific Energy Requirement – SER*) – montante necessário de energia para gaseificar e vitrificar uma tonelada do lixo específico.

Forçante Radiativa (*Radiative Forcing*) – alteração no balanço entre a radiação solar que chega a Terra e a emissão terrestre de radiação infravermelha. O aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera retém e aumenta a fração de radiação infravermelha, que ao invés de ser emitida para o espaço é emitida para a superfície terrestre e provoca o seu aquecimento.

Furanos – substância similar à dioxina, a diferença está na conformação e quantidade de seus constituintes, mas tem a mesma composição.

Lixão (ou vazadouro) – Forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos caracterizada pela descarga sobre o solo, sem critérios técnicos e medidas de proteção ambiental, ou à saúde pública, normalmente conhecida como “a céu aberto”.

Lixiviação – o processo que ocorre no solo quando algum tipo de matéria é levada ao lençol freático pelo movimento descendente da água da superfície. No caso dos aterros pode levar à contaminação.

GLOSSÁRIO DE TERMOS ESPECÍFICOS DO PROTOCOLO DE KYOTO

Acordo de Compra de Redução de Emissão – *Emission Reductions Purchase Agreement*. (ERPA) – acordos em que os governos compram e vendem ER's.

Acordos de Marraqueche (*Marrakech Accords*) – acordos firmados durante a Sétima UNFCCC–COP-7, no Marrocos, que representam decisões relativas à regulamentação do Protocolo de Kyoto, inclusive de implementação adicional e de MDL.

Adicionalidade (*Additionality*) – critério fundamental para que uma determinada atividade de projeto seja elegível ao MDL. Consiste na redução de emissões de GEE ou no aumento de remoções de CO₂, de forma adicional ao que ocorreria na ausência de tal atividade.

Aprovação pela Autoridade Nacional Designada (AND) – aprovação dada pela AND a um país onde são implementadas as atividades de projeto do MDL, no sentido de que tal atividade contribui para o seu desenvolvimento sustentável.

Atividades de Projeto (*Project Activities*) – atividades integrantes de um empreendimento ou projeto candidato ao MDL que proporcionem redução da emissão de gases de efeito estufa ou o aumento da remoção de CO₂.

Atividades de Projeto de Pequena Escala (*Small Scale Project Activities*) – são atividades de projeto de menor escala que, portanto, passam por um ciclo de projeto mais ágil e com menor custo de transação.

Atores (*Stakeholders*) – públicos interessados, incluindo os indivíduos, grupos e comunidades afetados ou com possibilidade de serem afetados pela atividade de projeto do MDL.

Autoridade Nacional Designada – AND (*Designated National Authority* – DNA) – os governos dos países participantes de uma atividade de projeto do MDL devem designar junto à UNFCCC uma Autoridade Nacional para o MDL, para atestar que a participação dos países é voluntária e, no caso do país onde são implementadas as atividades de projeto, que as ditas atividades contribuem para o desenvolvimento sustentável do país.

Carbon Asset – potencial de redução de emissão de gás de efeito estufa que um projeto pode gerar, e possível de ser vendido.

Cenário de Referência (*Business-as-usual Scenario*) – cenário que quantifica e qualifica as emissões de GEE na ausência da atividade de projeto do MDL.

Certificação (*Certification*) – parte de uma das etapas do Ciclo do Projeto. Garantia formal de que uma determinada atividade de projeto atingiu um determinado nível de redução de emissões ou aumento de remoção de CO₂ durante determinado período de tempo específico.

Certificado de Redução de Emissão *Certified Emission Reductions* (CERs) – uma unidade de redução de gás estufa emitido mediante negociação em bolsa, através MDL, medida em toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente.

Ciclo do Projeto (*Project Cycle*) – etapas às quais uma atividade de projeto do MDL deve necessariamente se submeter para que possa originar RCEs ou CERs, a última etapa do Ciclo do Projeto.

Comércio de Emissões – prevê que Partes Anexo I podem participar do comércio de emissões com outras Partes Anexo I, com o objetivo de cumprir os compromissos quantificados de limitação e redução de emissões assumidos. A unidade aplicável a este mecanismo é a Unidade de Quantidade Atribuída (UQA).

Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC) – estabelecida por Decreto Presidencial em 7 de julho de 1999, é a AND do Brasil. Avalia e aprova os projetos considerados elegíveis no âmbito do MDL, bem como pode definir critérios adicionais de elegibilidade àqueles considerados na regulamentação do Protocolo de Kyoto.

Conferência das Partes (*Conference of the Parties – COP*) – órgão máximo da UNFCCC que, composto por todos os países que a ratificaram, é responsável pela sua implementação. A COP se reúne anualmente.

Conselho Executivo do MDL (*CDM Executive Board*) – supervisiona o funcionamento do MDL. Entre as suas responsabilidades, destacam-se: o credenciamento das Entidades Operacionais Designadas; a validação e registro das atividades de projetos do MDL; a emissão das RCEs; o desenvolvimento e operação do Registro do MDL e o estabelecimento e aperfeiçoamento de metodologias para linha de base, monitoramento e fugas.

Dióxido de Carbono equivalente (*Carbon Dioxide Equivalent – CO₂e*) – Medida universal usada para indicar o GWP de cada um dos seis gases do efeito estufa.

Documento de Concepção do Projeto – DCP (*Project Design Document – PDD*) – a elaboração do DCP é primeira etapa do ciclo do projeto. Informações necessárias para as etapas posteriores deverão estar contempladas no DCP.

Documento de Design do Projeto (*Project Design Document – PDD*) – documento específico do projeto requerido sob as regras de CDM, os quais habilitam a entidade operacional a determinar se o projeto: a) foi aprovado pelas partes envolvidas no projeto; b) se resultará na redução adicional de emissão de gases de efeito estufa; c) se tem um *baseline* e um plano de monitoramento apropriado.

Emissão de CERs (*Emissions of RCEs*) – etapa final do Ciclo do Projeto, quando o Conselho Executivo tem certeza de que, cumpridas todas as etapas, as reduções de emissões de GEE decorrentes das atividades de projetos são reais, mensuráveis e a longo prazo.

Entidade Operacional (*Operational Entity – OE*) – entidade independente certificada pelo Comitê Executivo do CDM, que valida as atividades de projetos de CDM, verifica e certifica reduções de emissões geradas pelos projetos.

Financiamento de Carbono (*Carbon Finance*) – recursos providos pela geração de projetos (ou pela expectativa de geração) de redução da emissão de gás estufa (ou carbono) na forma de compra da emissão de redução.

Fuga (*Leakage*) – corresponde ao aumento de emissões de gases de efeito estufa que ocorre fora do limite da atividade de projeto do MDL que, ao mesmo tempo, seja mensurável e atribuível a essa atividade de projeto. A fuga é deduzida da quantidade total de CERs obtidas pela atividade de projeto do MDL.

Gases de Efeito Estufa – GEE (*Greenhouse Gases* – GHG) – são os gases listados no Anexo A do Protocolo de Kyoto: a) dióxido de carbono (CO₂); b) metano (CH₄); c) óxido nitroso (N₂O); d) hexafluoreto de enxofre (SF₆); e e) famílias de gases hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs).

Implementação Conjunta (*Joint Implementation*) – outro mecanismo do Protocolo de Kyoto (previsto pelo Artigo 6), que dispõe sobre a transferência ou aquisição de uma Parte Anexo I por qualquer outra Parte Anexo I, de unidades de redução de emissões – UREs, a fim de cumprir seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões de gases de efeito estufa.

Limites do Projeto (*Project Boundaries*) – o limite da atividade de projeto deve abranger todas as emissões de GEE, sob controle dos participantes da atividade de projeto, que sejam significativas e atribuíveis, de forma razoável, a tal atividade. Essas emissões devem ser contabilizadas na linha de base.

Linha de Base (*Baseline*) – a linha de base é o cenário que representa, de forma razoável, as emissões antrópicas de GEE por fontes que ocorreriam na ausência da atividade de projeto proposta, incluindo as emissões de todos os gases, setores e categorias de fontes listados no Anexo A do Protocolo de Kyoto que ocorram dentro do limite do projeto.

Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (*Clean Development Mechanism* – CDM) – um dos três mecanismos de implementação adicional. O MDL foi definido no Artigo 12 do Protocolo de Kyoto e regulamentado pelos Acordos de Marrakeche. Dispõe sobre atividades de projetos de redução de emissão GEE ou aumento de remoção de CO₂, implementadas em Partes Não Anexo I, que irão gerar Reduções Certificadas de Emissões (RCEs).

Mecanismos de Implementação Adicional – conferem certo grau de flexibilidade e ajudam as Partes Anexo I no cumprimento de suas metas de redução de gases de efeito estufa. São três: a) Implementação Conjunta, definida no Artigo 6 do Protocolo de Kyoto; b) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, definido no Artigo 12; e c) Comércio de Emissões, definido no Artigo 17.

Monitoramento (*Monitoring*) – quarta etapa do Ciclo do Projeto. Consiste no processo de coleta e armazenamento de todos os dados necessários para o cálculo da redução das emissões de GEE ou o aumento da remoção de CO₂, de acordo com a metodologia de linha de base da atividade de projeto.

Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) – painel constituído de cientistas de diversos países e áreas de conhecimento, com o objetivo de dar suporte científico e interagir com a UNFCCC. É o responsável pela divulgação e revisões do cálculo do GWP.

País Hospedeiro (*Host Country*) – país onde o projeto de emissão de redução está fisicamente localizado.

Participantes do Projeto (*Project Participants*) – para efeitos do MDL são aqueles envolvidos em uma atividade de projeto, podem ser Partes Anexo I, Partes Não Anexo I ou entidades públicas e privadas dessas Partes, desde que por elas devidamente autorizadas.

Período de Obtenção de Créditos – período em que as reduções de emissões de gases de efeito estufa decorrentes de atividades de projeto do MDL podem ser contabilizadas para efeito de cálculo das RCEs. As reduções de emissões só poderão ser contabilizadas para efeito de cálculo das RCEs, após o registro da atividade de projeto no Conselho Executivo do MDL.

Plano de Monitoramento (*Monitoring Plan*) – um conjunto de requisitos para o monitoramento e verificação das reduções das emissões obtidas por um projeto. Ainda que o processo de monitoramento faça parte da terceira etapa do Ciclo do Projeto, o Plano de Monitoramento, que define a metodologia para o processo, deve ser definido na primeira etapa, já que é parte integrante do DCP.

Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential, GWP*) – índice divulgado pelo IPCC e utilizado para uniformizar as quantidades dos diversos gases de efeito estufa em termos de dióxido de carbono equivalente, possibilitando que a reduções de diferentes gases sejam somadas.

Primeiro Período de Compromisso (*First Commitment Period*) – o primeiro período de compromisso refere-se ao período compreendido entre 2008-2012.

Reduções Certificadas de Emissões – RCEs – representam as reduções de emissões de GEE, decorrentes de atividades de projetos elegíveis para o MDL, e que tenham passado por todo o Ciclo de Projeto do MDL que culmina justamente com a emissão *ex post* das RCEs. São expressas em tCO₂.

Redução de Emissão (*Emission Reductions – ER*) – redução medida na emissão de GEE na atmosfera de uma atividade específica em uma área específica e num período específico de tempo.

Reduções de Emissão baseadas no Projeto (*Project-Based Emission Reductions*) – redução de emissões que ocorrem por JI ou CDM, ao invés de “comercialização de emissões” ou transferência de montantes designados.

Relatório de Verificação – *Verification Report* - relatório preparado por entidade operacional, ou por outra terceira parte independente, que reporta os achados do processo de verificação, incluindo o montante de redução de emissão de gases de efeito estufa que foram constatados ou gerados.

Seqüestro (*Sequestration*) – refere-se à captura do CO₂ de maneira a prevenir que seja emitido e solto na atmosfera, num determinado período de tempo.

Unidade de Redução de Emissão (ERU) – créditos emitidos por reduções ocorridas por mecanismos de JI. Cada ERU equivale a 1 tCO₂e.

Unidade Removida – (*Removal Units – RMU*) – créditos emitidos por melhorias efetuadas nos sumidouros de carbono. Cada RMU equivale a 1 t CO₂e.

Unidade de Quantidade Atribuída – UQA (*Assigned Amount Unit* – AAU) – equivalente a uma tonelada de gases de efeito estufa. Podem ser utilizadas por Partes Anexo I como forma de cumprimento parcial de suas metas de redução de emissão de gases de efeito estufa ou transferidas parcialmente para o segundo período de compromisso. Expressa em tCO₂e.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change.

Validação (*Validation*) – parte da segunda etapa do Ciclo do Projeto (Validação/Registro). É o processo de avaliação independente de uma atividade de projeto, no tocante aos requisitos do MDL.

Verificação (*Verification*) – parte da quinta etapa do Ciclo do Projeto (Verificação e Certificação). Processo de auditoria periódica e independente destinado à revisão dos cálculos acerca da redução de emissões de GEE enviados ao Conselho Executivo. Visa verificar se a redução de emissões efetivamente ocorreu na magnitude prevista e prevê ajustes em casos de diferenças.

ANEXO 1 – CARTA DE SOLICITAÇÃO DE ENTREVISTA

Assunto: Projeto de um Sistema de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos - RSU

Prezado Sr.

Solicito sua colaboração em responder essa pesquisa para tese em elaboração no programa de doutorado da Faculdade de Economia e Administração - FEA-USP. Aborda a tomada de decisão em projetos de tratamento de resíduos sólidos urbanos – RSU, e a importância da variável obtenção de créditos de carbono segundo o Protocolo de Kyoto, para esse processo de decisão, que desenvolvo sob a orientação do Prof. Jacques Marcovitch.

Muito Obrigado pelo apoio e a colaboração.

Pesquisador: Walter Furlan – wfurlan@ipt.br – fone 3767-4487.

ANEXO 2 – INFORMAÇÕES GERAIS DOS RESPONDENTES

Cargo:.....desde:.....

Idade:.....

Sexo: () Feminino () Masculino

Qual a relação de sua empresa / órgão com o setor de tratamento de resíduos:

() prestador de serviços () usuário de serviços () academia () órgão fiscalizador

Se aplicável responda as perguntas a seguir.

Principal atividade / tipo de resíduo processado pela sua empresa:.....

Número de empresas do setor de tratamento de resíduos em que já trabalhou anteriormente a esta:.....

Há quanto tempo trabalha nesta empresa / órgão:.....

Indique um e-mail para contato:.....

ANEXO 3 – ROTEIRO ABERTO DE ENTREVISTA

Como você vê os atuais sistemas de tratamento de resíduos urbanos baseados em aterros (sanitários ou não)? Estão num bom estágio de eficácia e de maturidade tecnológica, ou já tendem a obsolescência?

Você acredita ser o sistema de incineração uma proposta mais avançada do que os sistemas baseados em aterro? Quais seus pontos fortes e fracos?

A tecnologia de plasma térmico pode ser considerada superior aos sistemas de incineração? Quais seus pontos fortes e fracos?

Qual você acredita ser o principal problema para adoção de sistemas mais inovadores de tratamento de RSU pelos municípios? Falta de política pública para o setor? Custo alto? Falta de financiamento? Imaturidade das tecnologias?

Considerando que os aterros são grandes emissores de gases de efeito estufa, você acredita que o Protocolo de Kyoto e os créditos de carbono podem ter um papel importante para viabilizar novas soluções mais caras que as tradicionais?

Caso seja um prestador de serviços, qual destas tecnologias ainda não trabalha, mas tem planos para vir a trabalhar no futuro?

Além das tecnologias aqui apresentadas, você tem conhecimento de alguma outra tecnologia que considere relevante ser avaliada neste projeto?

ANEXO 4 – QUESTIONÁRIO FECHADO

Agora suponha que trabalhe numa equipe com a responsabilidade de projetar um novo sistema de tratamento de RSU para uma cidade média no Estado de São Paulo, no horizonte de 20 anos.

Além do tratamento do resíduo domiciliar, é desejável que o sistema em projeto esteja apto a tratar o resíduo da indústria local, em expansão, e até mesmo os de serviços de saúde. Serão avaliadas tecnologias tais como:

- Aterro sanitário
- Incineração
- Plasma térmico

Essas tecnologias podem ser acompanhadas de projetos de coleta seletiva, de venda de algum subproduto, ou de geração energética para consumo interno do sistema ou venda. Nesse caso seria possível uma separação do resíduo para aumentar o seu poder calorífico.

Para efeito de escolha do sistema mais adequado foram previamente selecionadas 10 variáveis que podem influenciar na escolha das diversas tecnologias, a quem pedimos que atribua o grau de importância que dá a ela. São apresentadas inicialmente suas faixas de variação para que facilite a compreensão da importância relativa dessas variáveis no processo de decisão. Pedimos também que declare a sua percepção de risco de negócio e do estágio de maturidade para cada tecnologia em análise.

Defina a seguir a importância que você atribui a cada variável abaixo no projeto:

• **Área de instalação** – área necessária para o processamento total e a disposição parcial/final de resíduos, inclui disposição de materiais resultantes como lixo não processado, chorume, cinzas, rochas inertes, etc. Pode variar de 30.000 m² a 300.000 m².

Você considera essa variável para o projeto:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Pouco importante			Moderadamente importante					Muito importante		

• **Localização** – a distância pode variar de zero, ou seja, o processamento efetuado em área urbana / habitada, com menor custo de logística ao mínimo de 5 km distante da área urbana para evitar problemas de vetores, contaminação ou malcheiro.

Você considera essa variável para o projeto:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Pouco importante			Moderadamente importante					Muito importante		

• **Custo de investimento** pode variar de R\$ 20,00 a R\$ 100,00 por tonelada processada.

Você considera essa variável para o projeto:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Pouco importante			Moderadamente importante					Muito importante		

• **Custo operação / manutenção** pode variar de R\$ 30,00 a R\$ 50,00 por tonelada processada.

Você considera essa variável para o projeto:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Pouco importante			Moderadamente importante					Muito importante		

• **Prazo** - tempo para início de operação pode variar de 1 ano de projeto mais 1 ano para implantação (total - 2 anos), até 2 anos de projeto, mais 3 anos de implantação (total - 5 anos).

Você considera essa variável para o projeto:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Pouco importante			Moderadamente importante					Muito importante		

• **Qualidade do resíduo tratado** - pode variar de tratar somente lixo urbano (classe II) a tratar lixo urbano mais resíduo industrial (classe I), e até resíduo de serviços de saúde.

Você considera essa variável para o projeto:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Pouco importante			Moderadamente importante					Muito importante		

• **Separação para geração de RDF** – Seleção energética - (*refused derived fuel*) está ligada à complexidade do processo, e pode variar de não necessitar separar nada, pois o sistema trata qualquer tipo de resíduo, até a necessidade de retirar até 20% do resíduo para aumentar o poder calorífico (a parcela de baixo poder calorífico necessitaria de aterro ou compostagem posterior).

Obs. É importante para sistemas de incineração, pois o lixo de baixo poder calorífico pode pedir um complemento calórico, por exemplo, com GLP, para que seja incinerado. Ou, no caso do plasma, pode haver necessidade de maior consumo de energia elétrica, caso o poder calorífico seja baixo. Processos de geração de RDF aumentam a eficácia energética, mas resultam em operação mais complexa, mais mão-de-obra, aumento do custo operacional e maior área de disposição de resíduo final, sem valor comercial.

Você considera essa variável para o projeto:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Pouco importante			Moderadamente importante					Muito importante		

• **Venda de subprodutos** pode variar de não obter renda a obter 10% do custo operacional com venda de subprodutos, materiais para construção civil (exemplo de pisos derivados do processamento por plasma, ou cinzas ricas em cálcio para correção de acidez de solo na agricultura, etc.), ou produtos da coleta seletiva.

Você considera essa variável para o projeto:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Pouco importante			Moderadamente importante					Muito importante		

• **Venda de energia elétrica** – o balanço energético (pode variar de negativo, importando 30% da energia que consome, até positivo, com entrega de 50 % do que gera para consumo externo).

Você considera essa variável para o projeto:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Pouco importante			Moderadamente importante					Muito importante		

• **Obtenção de Créditos de carbono** pode variar de baixa eliminação de gases de efeito estufa, não tendo direito a receber créditos de carbono, até a eliminação de até 90% dos gases de efeito estufa do resíduo tratado/disposto, recebendo os devidos créditos de carbono.

Você considera essa variável para o projeto:

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Pouco importante			Moderadamente importante					Muito importante		

Agora atribua sua percepção de maturidade tecnológica e risco ambiental e comercial, para cada uma das tecnologias em análise:

• **Você considera o Aterro Sanitário tecnologicamente:**

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Emergente			Maduro					Muito Maduro		

• **Você considera a tecnologia de Aterro Sanitário comercialmente:**

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
De alto risco			De médio risco					De Baixo risco		

• **Você considera a Incineração tecnologicamente:**

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Emergente			Madura					Muito Madura		

- **Você considera a tecnologia de Incineração comercialmente:**

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
De alto risco			De médio risco					De Baixo risco		

- **Você considera o tratamento por Plasma Térmico tecnologicamente:**

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Emergente			Maduro					Muito Maduro		

- **Você considera a tecnologia de tratamento por Plasma Térmico comercialmente:**

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
De alto risco			De médio risco					De Baixo risco		

Sobre os sistemas que podem ser adotados para complementar as tecnologias básicas:

- **Você considera a obtenção de energia a partir de gás de lixo tecnologicamente:**

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Emergente			Madura					Muito Madura		

- **Você considera a tecnologia de obtenção de energia a partir de gás de lixo comercialmente:**

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
De alto risco			De médio risco					De Baixo risco		

Sobre a coleta seletiva

- **Você considera a coleta seletiva praticada hoje em dia pelas prefeituras**

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Ineficaz			Eficaz					Muito eficaz		

ANEXO 5 – ROTEIRO DE ENTREVISTAS DE VALIDAÇÃO

- a) Qual o problema enfrentado pelo seu município quanto aos resíduos sólidos urbanos (dimensões quantitativas e qualitativas)?

- b) Quais as forças que favorecem a resolução do problema?

- c) Quais as forças que inibem a resolução do problema?

- d) Com base nesta análise, quais as três principais alternativas para resolver o problema de resíduos sólidos urbanos em seu município?

- e) Adotando o modelo de decisão proposto, para comparar as alternativas, qual aquela a ser escolhida?

- f) Com base na aplicação do modelo de decisão proposto, quais as dimensões críticas para sua implantação?

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)