

# **GUIA**

## **PARA A RECUPERAÇÃO DE ENERGIA E MATERIALES (REM) A PARTIR DE RESIDUOS SOLIDOS**

Original in English sponsored by InterAmerican Development Bank

***Authors:***

***NICKOLAS J. THEMELIS, MARIA ELENA DIAZ BARRIGA,  
PAULA ESTEVEZ, AND MARIA GAVIOTA VELASCO***

***EARTH ENGINEERING CENTER, COLUMBIA UNIVERSITY***

Portuguese translation by

**GUSTAVO QUEIROZ DE SOUSA**

*Vitória, ES, Brazil*

*Sponsored by: Presidential Global Initiative Fund of Columbia University*

*Edited by: Sergio Guerreiro Ribeiro, Chair, WTERT-Brazil  
([www.wtert.com.br](http://www.wtert.com.br))*



***EEC/GWC, March 2016***

## SUMÁRIO EXECUTIVO

### Introdução e Escopo

*O desenvolvimento econômico e o crescimento da população urbana da América Latina e Caribe (ALC) tem resultado na geração de uma quantidade crescente de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), que está ultrapassando a capacidade existente de aterros sanitários. Esta situação tem levado os governos a avaliarem alternativas como redução de geração de resíduos, reciclagem e aproveitamento energético do RSU (em inglês, WTE, sigla para waste-to-energy), de modo a desviar o fluxo de resíduos que vai para os aterros.*

*WTE é uma tecnologia de tratamento térmico com aproveitamento energético, e se tornou uma das alternativas preferidas na maioria dos países da Europa do Norte, Japão e várias cidades dos EUA, e vem sendo adotada de forma crescente na China. Entretanto, os altos investimentos e custos operacionais desta tecnologia, e a falta de informação e comunicação com a população, relativa aos impactos ambientais do WTE, têm impedido seu desenvolvimento na ALC.*

*O objetivo deste documento é fornecer uma Nota de Orientação Técnica, com o intuito de disponibilizar informações básicas sobre finanças, tecnologias e meio ambiente relacionados às instalações de WTE. Espera-se que esta Nota de Orientação habilite legisladores e gestores de serviços de RSU na ALC a tomar decisões embasadas sobre viabilidade desta opção de tratamento de resíduos. Este Guia é dividido em duas partes: capítulos 1 a 6 descrevem os aspectos gerais das tecnologias e desenvolvimento de projeto para o WTE; Capítulos 7 a 10 apresentam vários estudos de caso de aplicações de WTE na ALC.*

### Aspectos Técnicos do WTE

*Há várias abordagens e tecnologias para melhorar as práticas de tratamento de resíduos sólidos, que variam desde a redução da geração de resíduos através de um melhor conceito de projeto de produto e embalagens, até a reciclagem de materiais, compostagem de resíduos orgânicos e combustão com recuperação energética. A nível mundial, mais de 80% do RSU pós-reciclagem é aterrado (aproximadamente 1 bilhão de toneladas por ano) e apenas 20% deste resíduo é disposto em aterros sanitários.*

*Seguindo a Hierarquia de Gestão de Resíduos, várias das nações mais desenvolvidas estabeleceram a meta de redução de disposição de resíduos sólidos em aterros, através de crescentes taxas de redução da geração de resíduos, de reciclagem e de aproveitamentos energético, como opções viáveis para a gestão de resíduos.*

*O Capítulo 1 deste GUIA examina os fatores que determinam a energia química armazenada nos vários componentes do RSU. Plásticos e outros petroquímicos se constituem majoritariamente de carbono e hidrogênio, portanto têm o maior conteúdo energético. Eles são seguidos pelos materiais biogênicos, como papel, alimentos e resíduos de poda e jardinagem, que também são constituídos de carbono e hidrogênio, mas também contêm aproximadamente 50% de oxigênio. Estes são seguidos por metais e outros compostos inorgânicos que não têm nenhuma energia utilizável. O conteúdo de umidade do RSU absorve calor durante a combustão e assim reduz o seu poder calorífico.*

*O Capítulo 2 descreve as tecnologias de combustão que foram desenvolvidas para recuperação energética do RSU. De forma geral, envolvem a combustão de RSU “como recebido” numa grelha móvel (“grelha de combustão”), a trituração do RSU e sua combustão em uma grelha móvel ou em um leito fluidizado, e os tratamentos mecânico-biológicos do RSU.*

*O Capítulo 3 descreve os processos que utilizam a combustão parcial do RSU para a produção de um gás sintético (“gaseificação”) ou o aquecimento dos rejeitos petroquímicos na ausência de oxigênio para a produção de um combustível líquido (“pirólise”).*

*O Capítulo 4 examina o estado atual da indústria WTE, incluindo os números e tipos de plantas que utilizam as várias tecnologias WTE. Aproximadamente 80% da capacidade instalada de WTE no mundo baseia-se nas tecnologias de “grelha de combustão”, e isto inclui as plantas que foram construídas ao redor do mundo na década passada. Isto deve principalmente à sua facilidade de operação, alto índice de disponibilidade operacional (por exemplo, número de horas de operação plena por ano- alguns fornecedores de fornos a grelha de combustão garantem disponibilidade superior a 8.000 horas/ano), e uma quantidade requerida de pessoal relativamente baixa.*

#### Aspectos Ambientais e Econômicos do WTE

*O Capítulo 5 se concentra na tecnologia dominante do WTE, isto é, combustão numa grelha móvel. O capítulo fornece informações detalhadas da operação de uma planta WTE, o material típico e o balanço de energia, a energia recuperada por tonelada de RSU, os controles ambientais (sistemas de controle de poluição do ar usados e as*

*emissões resultantes) e a gestão das cinzas de fundo e cinzas em suspensão geradas durante o processo de combustão.*

*O Capítulo 5 também discute as projeções de custos de capital e operacionais, receitas e requerimentos de terreno para tais plantas. Adicionalmente descreve como implementar o WTE em um município, incluindo: procedimentos a serem seguidos para o convite de fornecedores de tecnologias de WTE para um processo de concorrência de um novo projeto, as partes interessadas que estão envolvidas neste processo, e outras informações para orientar autoridades que estão considerando a construção de uma nova unidade WTE.*

*O Capítulo 6 apresenta as conclusões tiradas no desenvolvimento deste Guia.*

### Estudos de Caso

*Com base em algumas considerações hipotéticas, Capítulos 7 a 9 avaliam a viabilidade de alguns projetos específicos de WTE em três cidades da ALC: Valparaíso (Chile), Toluca (México), e Buenos Aires (Argentina). As cidades foram escolhidas levando em consideração: (i) economia de escala (considerando que os custos por tonelada do tratamento térmico diminuem consideravelmente com o tamanho da planta), e (ii) a capacidade econômica destas cidades (considerando o alto investimento e custos operacionais deste tipo de tecnologia). A tecnologia selecionada para os três casos é “grelha de combustão”, pois é a mais amplamente testada tecnologia WTE.*

*Os estudos de caso mostram qual informação deve ser desenvolvida para a construção de tal planta, incluindo qualidade e quantidade de RSU, o estado atual e projetado do sistema de gerenciamento de RSU, os custos de capital e operacionais projetados, as fontes de receita projetadas e cálculos do valor presente líquido (VPL) e Taxa interna de Retorno (TIR).*

*A principal conclusão destes estudos de caso é que, considerando as taxas de disposição de RSU em aterros na América Latina, usualmente as alternativas de WTE apenas serão economicamente viáveis se houver suporte governamental. Por exemplo, para que o projeto de WTE no Chile seja pago num período de 20 anos, a uma TIR de 5%, a taxa de disposição requerida seria de US\$ 38 por tonelada. Adicionalmente conclui-se que para que haja uma taxa de disposição módica para o projeto WTE, é necessária uma alta disponibilidade da planta de WTE. Isto está ligado à quantidade e qualidade do RSU disponível para a planta, isto é, a solução de WTE deve considerar as taxas de disposição e transporte e a robustez do sistema de gestão de resíduos como um todo.*

*O Capítulo 10 examina a aplicação do WTE em ambientes de ilha, descrevendo três plantas existentes em ilhas do Caribe e do Atlântico Norte.*

#### *Processo de tomada de Decisão*

*Esta Nota Técnica propõe que os governos nacionais coloquem a gestão sustentável de resíduos no topo da sua lista de prioridades de projetos de infraestrutura, de forma similar ao que foi feito no passado com a infraestrutura de água potável, eletricidade e coleta e tratamento de esgoto. Especificamente para a alternativa de WTE, uma análise de curto e longo prazo dos seus impactos no sistema de gestão de resíduos devem considerar os custos e análises financeiras, qualidade e quantidade do RSU necessário para garantir a operação contínua do projeto, a adição de uma fonte de energia renovável, a quantidade de terra conservada devido à menor quantidade de resíduos encaminhada aos aterros e os benefícios do ponto de vista ambiental e de emissão de gases de efeito estufa do WTE em relação às demais alternativas de tratamento e disposição.*

*Nas últimas duas décadas a indústria WTE na Europa, América do Norte e Ásia desenvolveu tecnologias capazes de alcançar níveis aceitáveis de emissões, representando fontes viáveis de energia termoelétrica. Por larga margem, a tecnologia dominante de WTE, aplicada em mais de 600 plantas e mais de 40 países, é a de “grelha de combustão” de RSU “como recebido” com produção de eletricidade e calor. Entretanto processos alternativos, como combustão em leito fluidizado circulante, estão sendo desenvolvidas e é possível que uma ou mais delas possam resultar em menor custo de capital por tonelada de RSU processado em relação à tecnologia de grelha de combustão para material conforme recebido. Portanto, processos de concorrência para a construção de uma usina WTE devem estar abertos para todas as tecnologias contanto que sejam atendidos os critérios técnicos e ambientais.*

*O arranjo contratual para a construção de um projeto WTE deve incluir o compromisso tácito do construtor de que a planta vai operar dentro da disponibilidade especificada (horas por ano na capacidade máxima), entrega para a rede a taxa especificada de eletricidade por tonelada de RSU processada, e atender continuamente às especificações ambientais. O município contratante é também contratualmente engajado para coletar e fornecer para a planta WTE a quantidade especificada diária e anual de RSU e para que este material esteja dentro da faixa de poder caloríficos especificados.*

*Apesar de ser uma opção importante de tratamento, WTE usualmente não é economicamente viável sem algum tipo de suporte governamental. Entretanto como cidades da ALC estão saindo dos lixões em direção aos aterros sanitários, o custo real de aterrar crescerá até o ponto que a solução de WTE poderá ser economicamente*

viável, devido à recuperação energética, requerimento muito menor de área, e outras vantagens potenciais. Além disso, as comparações econômicas desenvolvidas neste Guia são baseadas em um ciclo de 20 anos da planta WTE, enquanto algumas plantas WTE já alcançaram 40 anos de operação e continuarão a operar no futuro próximo. Portanto investir numa planta WTE representa um patrimônio que o município contratante cede às futuras gerações.

## **Reconhecimentos**

Os autores reconhecem com gratidão a importante contribuição de especialistas internacionais que revisaram os primeiros esboços do Guia IDB e que fizeram sugestões de melhorias: Sr. Jorgen Haukohl e Srta. Bettina Kamuk da Ramboll Energy, Dinamarca, Drs. Johannes Martin e Ralf Koralewska da Martin GmbH, Alemanha, Dr. Atilio Savino da ISWA e ARS, Argentina, e Sr. Anthony Orlando e engenheiros sêniores da Covanta Energy, EUA ; e ao Sr. Antonis Mavropoulos, EPEM-Grécia e D-waste pela revisão final de manuscrito para o IDB.

Os autores estão em débito com Dr. Horacio Cristian Terraza e sua equipe no Banco Interamericano de Desenvolvimento (IDB) por iniciar este esforço, sua árdua revisão do esboço final do Guia e por fazer muitas recomendações úteis de melhorias. Também são devidos agradecimentos ao Sr. Nathiel Egosi da RRT Projeto e Engenharia por fornecer uma estimativa preliminar dos custos de capital e o leiaute de Planta de Recuperação de Materiais (Apêndice 5); Srta. Claudine Ellyin, Mestre em Ciências em Engenharia de Recursos da Terra (EEC), Universidade de Columbia, pela sua análise da tecnologia Energos e por dados do ISWA 2004; e Srta. Liliana Themelis da EEC por participar e contribuir em todas as visitas de campo.

Os autores também agradecem às seguintes pessoas pelas suas importantes contribuições aos estudos de caso:

### **Valparaiso – Chile:**

Srta. Paula Estevez, Mestre em Ciências em Engenharia de Recursos da Terra (EEC), Universidade de Columbia e autora principal do caso do Chile (Santiago, Chile) e por preparar as reuniões e apresentação da equipe do Projeto em Santiago e Valparaiso.

Sr. Esteban Alvez, gerente geral do Aterro Stericycle de El Mole (Valparaiso, Chile) e revisor do estudo de caso de Valparaiso.

**Toluca-México:**

Srta. Maria Gaviota Velasco, Mestre em Ciências em Engenharia de Recursos da Terra, Universidade de Columbia e autor principal do estudo de caso do México.

Sr. Jorge A. Mejia Leon, gerente do Aterro RED Ambiente de Toluca.

Sr. Santiago Velasco, por intermediar reuniões e contatos da equipe do Projeto em Toluca, México.

**Buenos Aires, Argentina:**

Srta. Natalie Pelcman Ganfer, Mestre em Ciências em Engenharia de Recursos da Terra, Universidade de Columbia por sua importante contribuição para o estudo de caso da Argentina.

Dr. Atilio Savino, executivo sênior da ARS (Argentina) e ISWA por contribuir com o estudo de caso da Argentina e por preparar as reuniões e apresentação da equipe do Projeto em Buenos Aires.

Sr. Marcello Rosso gerente de operações do CEAMSE (Argentina), por revisar e contribuir para o estudo de caso de Buenos Aires.

Profª. Marcella Delucca, do instituto de Engenharia Sanitária da Universidade de Buenos Aires por prover informações sobre geração e composição do RSU em Buenos Aires.

Profª. Ana Corbi por intermediar reuniões da equipe do Projeto com representantes do setor de energia em Buenos Aires.

Srta. Florencia Thomas do CEAMSE (Argentina) pela revisão do primeiro esboço do estudo de caso de Buenos Aires.

## Índice

<i>SUMÁRIO EXECUTIVO</i> .....	2
<i>Reconhecimentos</i> .....	6
<i>Índice</i> .....	8
<i>Lista de Figuras</i> .....	12
<i>Lista de Tabelas</i> .....	14
<i>Introdução</i> .....	16
<i>PRIMEIRA PARTE</i> .....	18
<i>1 A necessidade de uma gestão de resíduos sustentável para os resíduos sólidos</i> .....	18
1.1 <i>A situação atual da gestão de resíduos no mundo</i> .....	18
1.2 <i>Introdução à gestão de resíduos sólidos</i> .....	18
1.3 <i>Recuperação de materiais (“reciclagem”) e energia (WTE)</i> .....	27
<i>2 Tecnologias de tratamento térmico</i> .....	29
2.1 <i>Energia química armazenada no RSU</i> .....	29
2.2 <i>Efeito da umidade e materiais inerte no PCI do RSU</i> .....	29
2.3 <i>Grelha de combustão</i> .....	32
2.4 <i>Combustão de combustível derivado de refugos (RDF)</i> .....	33
2.5 <i>Combustão em leito fluidizado</i> .....	35
2.6 <i>Produção de combustíveis secundários através de tecnologia de Tratamento Mecânico Biológico</i> .....	38
<i>3 Tecnologias de Gaseificação</i> .....	44
3.1 <i>Processo de derretimento direto JFE</i> .....	44
3.2 <i>Processo de Grelha de combustão e Gaseificação Energos</i> .....	45
3.3 <i>Tecnologia de leito fluidizado Ebara</i> .....	49
3.4 <i>Processo Thermoselect de gaseificação e derretimento</i> .....	50
3.5 <i>Processo WTE auxiliado por Plasma</i> .....	51
3.6 <i>Pirólise</i> .....	53
3.7 <i>Aplicação de vários processos WTE no Japão</i> .....	54
3.8 <i>Comparação preliminar de alternativas WRTE</i> .....	55
<i>4 Estado atual da tecnologia WTE</i> .....	63
<i>5 Planejando e construindo uma planta WTE</i> .....	70
5.1 <i>Aplicação de plantas WTE</i> .....	70

5.2 Seleção do tamanho e da fornalha e da planta WTE.....	74
5.3 Materiais que podem ser processados na grelha de combustão.....	74
5.4 Configuração da planta	
WTE.....	77
5.5 Seleção do local para a planta WTE.....	78
5.6 Instalações de recebimento e fosso de resíduos.....	81
5.7 Câmera de combustão.....	81
5.8 Recuperação de energia.....	82
5.9 Fator R1 de eficiência térmica da União Européia.....	83
5.10 Controle de emissões de plantas WTE.....	84
5.11 A cinza do WTE.....	96
5.12 Balanços de massa e energia.....	98
5.13 Aspectos econômicos do WTE.....	99
5.14 Combinando os planos de uma nova WTE e aumento na reciclagem...	103
5.15 Padrões de emissão.....	105
5.16 Quadro de Pessoal para planta WTE de médio porte e três linhas.....	105
5.17 Custos de capital e operacionais.....	106
5.18 Receitas.....	107
5.19 Partes principais de uma planta WTE.....	108
5.20 Fornecedores de plantas WTE.....	108
5.21 Modelos de negócios usados para a gestão de uma planta WTE durante um período de tempo (usualmente 20 anos).....	109
5.22 Ciclo de projeto.....	109
5.23 Processo de Contratação.....	110
5.24 Uso de Consultor Independente e monitoração do processo de contratação.....	111
5.25 Obrigações contratuais do Fornecedor principal e do poder público....	111
5.26 Cronogramas típicos para a conclusão do projeto.....	112
5.27 Questões regulatórias, sociais, e outras.....	113
5.28 Riscos e efeitos positivos relacionados com a implantação do WTE.....	115
5.29 Projetos WTE na América Latina e Caribe.....	117
6 Conclusões do Guia.....	122
Apêndices da Parte 1.....	124
Apêndice 1: Lista de fornecedores WTE.....	124
Apêndice 2: Custo de capital divulgado de algumas plantas WTE.....	125
Apêndice 3: Plantas WTE operando no mundo.....	126
Bibliografia da Parte 1.....	127
Referências adicionais da parte 1.....	129
SEGUNDA PARTE .....	132
7 Estudo de Caso 1: Valparaíso, Chile .....	132
7.1 Fatos sobre o país.....	132
7.2 Gestão de resíduos no Chile.....	132
7.3 Razões para a escolha de região de Valparaíso para o estudo de caso do Chile.....	133
7.4 Visão geral de Valparaíso.....	133
7.5 Gestão de resíduos na região de Valparaíso.....	134

7.6 Disposição atual de RSU na região de Valparaíso.....	136
7.7 Taxas de despejo.....	138
7.8 Capacidade proposta e potencial de geração de energia.....	138
7.9 Local selecionado para a planta	
WTE.....	138
7.10 Limites projetados de emissões.....	139
7.11 Custos projetados da planta WTE.....	141
7.12 Receitas projetadas da planta WTE.....	142
7.13 Análise financeira para a WTE da área de	
Valparaíso.....	145
7.14 Partes interessadas .....	146
7.15 Conclusão do Estudo de Caso do Chile.....	147
Apêndices para o Estudo de Caso do Chile.....	150
Apêndice 1: Arcabouço legal.....	150
Apêndice 2 para o Estudo de Caso do Chile: Potenciais partes interessadas.....	152
Referências para o Estudo de Caso do Chile.....	154
8 Estudo de Caso 2: Toluca , México.....	155
8.1 Fatos sobre o país.....	155
8.2 Gestão de resíduos no México.....	155
8.3 Outras informações básicas relevantes.....	156
8.4 Razões para selecionar o Município de Toluca para o Estudo de Caso do México.....	156
8.5 Visão geral de Toluca.....	157
8.6 Gestão de Resíduos em Toluca.....	157
8.7 Disposição atual do RSU em Toluca.....	160
8.8 Potencial proposto de capacidade e geração de energia.....	162
8.9 Local selecionado para a planta	
WTE.....	162
8.10 Limite de emissões projetado.....	163
8.11 Custos projetados da planta WTE.....	164
8.12 Receitas projetadas da planta WTE.....	166
8.13 Análise Financeira para a WTE de Toluca.....	168
8.14 Partes interessadas .....	170
8.15 Conclusões sobre o Estudo de Caso do México.....	171
Apêndices para o Estudo de Caso do México.....	173
Apêndice 1: Arcabouço legal.....	173
Apêndice 2 do Estudo de Caso do México: Bancos de Desenvolvimento....	176
Apêndice 3 do Estudo de Caso do México: Partes Interessadas potencias.....	178
Referências para o Estudo de Caso do México.....	181
9 Estudo de Caso 3: Buenos Aires, Argentina.....	183
9.1 Fatos sobre o país.....	183
9.2 Gestão de resíduos na Argentina.....	183
9.3 Razões para seleção da Região Metropolitana de Buenos Aires para o Estudo de Caso da Argentina.....	185
9.4 Visão Geral da Região Metropolitana de Buenos Aires.....	185
9.5 Gestão de resíduos na Região Metropolitana de Buenos Aires.....	187
9.5.1 Gestão de Resíduos Sólidos na cidade de Buenos Aires.....	187

9.5.2	Gestão de Resíduos Sólidos na Grande Buenos Aires.....	193
9.6	Taxa de despejo.....	194
9.7	Capacidade da planta WTE e potencial de geração de energia proposto.....	194
9.8	Seleção de local para a planta WTE.....	195
9.9	Custos projetados da planta WTE.....	196
9.10	Receitas Projetadas da Plana WTE.....	197
9.11	Análise financeira do WTE de Buenos Aires.....	199
9.12	Conclusões para o Estudo de Caso de Buenos Aires.....	200
Apêndices para o Estudo de Caso da Argentina.....		202
Apêndice 1: Arcabouço legal.....		202
Apêndice 2: Pesquisa de gestão de resíduos em Buenos Aires.....		203
Referências do Estudo de Caso da Argentina.....		208
10	Aplicação do WTE em Ilhas.....	208
10.1	Introdução.....	208
10.2	Bermuda.....	210
10.3	Martinica.....	212
10.4	Saint Barth.....	215
10.5	Jamaica.....	217
10.6	Conclusões para a Aplicação do WTE em ilhas.....	220
Referências para a Aplicação de WTE em Ilhas.....		222

## Lista de Figuras

- Figura 1: Gestão de resíduos integrada sustentável*
- Figura 2: A Hierarquia da Gestão e Resíduos*
- Figura 3 Subindo a Escada de Gestão Sustentável de Resíduos pela recuperação de materiais e energia do RSU*
- Figura 4: Efeito dos componentes e umidade no poder calorífico do RSU*
- Figura 5: Variação do poder calorífico do RSU para plantas WTE europeias*
- Figura 6: Partes de uma planta WTE de grelha de combustão (Koralewska, R., Martin GmbH, apresentação no encontro bi anual de WTER, Outubro 2006)*
- Figura 7: Entradas e saídas de materiais e energia em uma planta WTE (desenho esquemático da EEC)*
- Figura 8: Diagrama esquemático da unidade de combustão da SEMASS (figura da EEC)*
- Figura 9: Mudança de comportamento do leito de sólidos com o aumento do fluxo de gás e queda de pressão através do leito (F. Neubacher , tecnologia de leito fluidizado WTE, ESST (Springer) p. 11853)*
- Figura 10: O reator de leito fluido Neumuenster queimando RDF*
- Figura 11: A WTE de leito fluido circulante (LFC) da Universidade Zhejiang*
- Figura 12: Ilustração do leito fluido borbulhante*
- Figura 13: Diagrama do processo TMB*
- Figura 14: Produção de SRF pelo processo TMB na Europa em 2008 (em milhares de toneladas)*
- Figura 15: Custos de produção e utilização de uma tonelada de SRF em 2006*
- Figura 16: Fluxo e balanço de massa simplificados da planta TMB de biosecagem de Nehlsen em Stralsund, Alemanha*

*Figura 17: O processo JFE de redução direta*

*Figura 18: O gaseificador e a unidade de combustão da Energos*

*Figura 19: As unidades de recuperação de calor e Controle de poluição Atmosférica da Energos*

*Figura 20: O processo de gaseificação em leito fluido da Ebara*

*Figura 21: O processo de gaseificação Thermoselect*

*Figura 22: A chama de plasma da Europlasma*

*Figura 23: O reator para destruição de asbestos da Europlasma*

*Figura 24: O gaseificador a plasma Alter NRG*

*Figura 25: Número de plantas versus capacidade de plantas na Europa (ISWA, dados de 2004) (EEC)*

*Figura 26: Correlação entre PIB/ano e a implantação da incineração de resíduos (EEC)*

*Figura 27: Correlação entre PIB/capita e a implantação da incineração de resíduos (EEC)*

*Figura 28: Economia de escala da incineração de resíduos*

*Figura 29: Vista elevada do leiaute de uma WTE do tipo grelha de combustão (EEC)*

*Figura 30: Planta de locação para uma unidade de 2 linhas e 960 t/dia (EEC)*

*Figura 31: Câmara de combustão de WTE com grelha móvel inclinada (Koralewska, R., Martin GmbH, apresentação no encontro bi anual de WTER, Outubro 2006)*

*Figura 32: Emissões de dióxido de carbono (toneladas métricas de CO<sub>2</sub>/MWh) de várias fontes de energia*

*Figura 33: Emissões de dióxido de enxofre (g/MWh) de várias fontes de energia*

*Figura 34: Emissões de óxido de nitrogênio (g/MWh) de várias fontes de energia*

*Figura 35: Seção transversal de um filtro de mangas*

*Figura 36: Blocos de concreto feitos de cinzas de WTE usados para proteção e aterro da costa*

*Figura 37: Custos de capital de investimento do WTE (EEC)*

*Figura 38: Custos de operação do WTE (EEC)*

*Figura 39: Fluxo de materiais para dentro e para fora de uma planta WTE (EEC)*

*Figura 40: Partes interessadas do WTE*

*Figura 41: Local da Região de Valparaíso no Chile (EEC)*

*Figura 42: Área geográfica do Estudo de Caso de Valparaíso (EEC)*

*Figura 43: Foto aérea do aterro de El Molle (EEC)*

*Figura 44: Distribuição da geração de RSU no México (2008) (EEC)*

*Figura 45: Locação geográfica de Toluca e Cidade do México (EEC)*

*Figura 46: Composição do RSU de Toluca em 2009 (EEC)*

*Figura 47: Geração projetada de RSU em Toluca: 2009-2015(EEC)*

*Figura 48: Composição projetada do RSU de Toluca em 2015 (EEC)*

*Figura 49: Locação dos dois aterros sanitários e aterros clandestinos de Toluca (EEC)*

*Figura 50: Mapa de Toluca mostrando o local potencial para a planta WTE de Toluca (EEC)*

*Figura 51: Área de San Antonio la Isla mostrando áreas adicionais em volta o aterro sanitário (EEC)*

*Figura 52: A Cidade de Buenos Aires e seus 48 bairros (EEC)*

*Figura 53: A Cidade de Buenos Aires e Gran Buenos Aires (em azul) (EEC)*

*Figura 54: Taxas de geração de RSU na Cidade de Buenos Aires (EEC)*

*Figura 55: Rotas de coleta de RSU na Cidade de Buenos Aires (EEC)*

*Figura 56: Divisão atual da Cidade em seis zonas e locação das três estações de transferência (EEC)*

*Figura 57: Mapa mostrando o aterro Acceso Norte III e as três estações de transferência que servem a Cidade de Buenos Aires (EEC)*

*Figura 58: Rotas de coleta na Cidade de Buenos Aires (EEC)*

*Figura 59: Coordenadas do aterro Acceso Norte III (EEC)*

*Figura 60: Composição do RSU de Bermuda (2000) (EEC)*

*Figura 61: Unidade de tratamento de resíduos Tynes Bay (EEC)*

*Figura 62: Fontes de resíduo na Martinica (EEC)*

*Figura 63: A planta WTE da Martinica (EEC)*

*Figura 64: A planta WTE de St. Barth (EEC)*

*Figura 65: Fontes de resíduo em St. Barth (2009) (EEC)*

*Figura 66: Caracterização do resíduo da Jamaica (EEC)*

*Figura 67: Locais de disposição da Jamaica (EEC)*

## Lista de Tabelas

*Tabela 1 Emissões da Planta Averoy (a 11% de O<sub>2</sub>)<sup>21</sup>*

*Tabela 2 Parâmetros operacionais das plantas Energos<sup>20,22,25</sup>*

*Tabela 3 Tecnologias de tratamento térmico usadas no Japão*

*Tabela 4 Análise SWOT das alternativas de tecnologia WTE*

*Tabela 5 – Tipo de carga, produção de energia e capacidade total das tecnologias WTE existentes*

*Tabela 6 – Caldeiras WTE construídas desde 2000 usando tecnologias Martin de grelha de combustão*

*Tabela 7 Combustão conjunta de resíduos hospitalares na Europa (ISWA, 2004)*

*Tabela 8 Combustão conjunta de lodo de esgoto na Europa (ISWA, 2004)*

*Tabela 9 Exemplos de requerimento de área de terreno*

*Tabela 10 Efeito da implantação de MACT pela indústria WTE do EUA<sup>33</sup>*

*Tabela 11 Principais Sistemas APC em plantas WTE*

*Tabela 12 Balanço de energia*

*Tabela 13 Balanço de massa*

*Tabela 14 Projetos de MDL registrados e os correspondentes CREs<sup>37</sup>*

*Tabela 15 Padrões de emissão*

*Tabela 16 Principais características da América Latina*

*Tabela 17 Fornecedores de WTE*

*Tabela 18 Custo de capital divulgado de algumas plantas WTE*

*Tabela 19 Geração de resíduos por município<sup>43</sup>*

*Tabela 20 Composição do RSU de Valparaíso e poder calorífico*

*Tabela 21 Custos de Coleta/disposição de vários municípios em 2010<sup>43</sup>*

*Tabela 22 Comparação de limites de WTE com padrões internacionais<sup>i</sup>*

*Tabela 23 Custo de capital estimado*

*Tabela 24 Custos operacionais*

*Tabela 25 preços spot (US\$/MWh)<sup>46</sup>*

*Tabela 26 VPL a taxas de desconto de 5%, 10% e 15%, e TIR para os três cenários*

*Tabela 27 Taxa de despejo para taxas de desconto de 5%, 10% e 15%, e TIR para os três cenários*

*Tabela 28 Lista de Potenciais partes interessadas*  
*Tabela 29 Composição do RSU de Toluca (2010) e poder calorífico*  
*Tabela 30 Dados operacionais dos dois aterros que atendem Toluca (Novembro de 2010)*  
*Tabela 31 padrões de emissão da NOM-098-SEMARNAT-2002 para instalações de incineração no México, em comparação com padrões de emissão da UE (11% O<sub>2</sub>, base seca)*  
*Tabela 32 Estimativas de Custo de capital*  
*Tabela 33 Custos de operação*  
*Tabela 34 Custos de geração da CFE*  
*Tabela 35 VPL a taxas de desconto de 5%, 10% e 15%, e TIR para os três cenários*  
*Tabela 36 Taxa de despejo a taxas de desconto de 5%, 10%, e 15%, e TIR para os três cenários*  
*Tabela 37 Partes interessadas envolvidas no desenvolvimento de uma instalação WTE em Toluca, México*  
*Tabela 38 RSU gerado na Argentina em 2004<sup>67</sup>*  
*Tabela 39 Crescimento populacional da cidade de Buenos Aires, Gran Buenos Aires e Argentina<sup>71</sup>*  
*Tabela 40 Composição do RSU de Buenos Aires (2008<sup>70</sup>) e poder calorífico*  
*Tabela 41 Características dos módulos do aterro Acceso Norte III<sup>72</sup>*  
*Tabela 42 Estimativas de Custo de capital*  
*Tabela 43 Custos de operação*  
*Tabela 44 Sumário de custos e receitas*  
*Tabela 45 VPL a taxas de desconto de 5%, 10% e 15%, e TIR*  
*Tabela 46 Taxa de despejo requerida para taxas de desconto de 5%, 20% e 15%*  
*Tabela 47 Área, população e PIB das ilhas membro mutuários do BID<sup>78</sup>*  
*Tabela 48 Emissões na chaminé<sup>86</sup>*  
*Tabela 49 Emissões garantidas*  
*Tabela 50 Emissões 2009<sup>96</sup>*  
*Tabela 51 PIB e geração de resíduo per capita*

## **Introdução**

*Desenvolvimento econômico e rápido crescimento da população urbana têm resultado na geração de enormes quantidades de RSU que não podem mais ser despejadas nos lixões de outrora. Isso levou a UE, os EUA e outros países desenvolvidos a adotar a chamada “hierarquia de gestão de resíduos”, que dá prioridade à redução de resíduos, reciclagem, compostagem e geração de energia com RSU (WTE) em relação ao aterramento sanitário. Os aterros sanitários protegem as águas superficiais e lençóis freáticos e reduzem a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera, de modo que são preferíveis em relação aos lixões a céu aberto. No entanto, estima-se que apenas 20% dos aterros do mundo sejam sanitários.*

*A gestão sustentável de resíduos é uma parte integral do desenvolvimento sustentável e tem se tornado cada vez mais importante na agenda de desenvolvimento urbano das cidades e nações da América Latina e Caribe (ALC). Embora esforços consideráveis tenham sido para o aumento das taxas de reciclagem, isto é, a recuperação de materiais do RSU, a experiência internacional mostrou que após toda a reciclagem possível, ainda resta uma grande fração de resíduo sólido que deve ser tratada termicamente para que se recupere o seu conteúdo energético, a chamada recuperação energética do RSU (WTE), ou direcionada para o aterro.*

*Desde 1995 o Centro de Engenharia da Terra (EEC) da Universidade de Columbia tem conduzido muitos estudos de pesquisa sobre todos os aspectos da gestão de resíduos, e publicado os resultados em mais de cem teses e artigos técnicos. A missão da ECC, e organizações irmãs em doze nações, é identificar e ajudar o avanço dos meios mais apropriados para a gestão de resíduos sólidos. Este estudo do ECC da Universidade de Columbia foi desenvolvido por solicitação do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), e se destina especificamente ao exame e descrição do estado*

*da arte das tecnologias de tratamento térmico que podem ser usadas na região da ALC.*

*Uma ampla gama de empresas do setor privado visita autoridades governamentais dos países membros do BID, e oferece várias novas tecnologias para o tratamento térmico do RSU. Entretanto essas autoridades podem não estar bem informadas sobre os fundamentos da conversão térmica, sobre as opções tecnológicas comercialmente disponíveis, seus impactos ambientais, e os custos de capital e operacionais associados. Portanto este Guia tem o objetivo de oferecer orientação técnica a esses países, avaliando a viabilidade da implantação de projetos WTE.*

*O Guia é organizado em duas partes. Parte 1 descreve a necessidade de uma gestão sustentável de resíduos, as várias formas de tratamento térmico do RSU, as tecnologias de gaseificação, o estado atual das tecnologias de WTE, e orientações para o planejamento e construção de uma instalação de WTE. A segunda parte, Estudos de Caso, apresenta três estudos de caso do que poderiam ser as primeiras usinas WTE, no Chile, Argentina e México; e o potencial para uso de WTE nas ilhas do caribe. Propositivamente a parte principal do Guia foi separada dos estudos de caso porque o material apresentado na Parte 1 pode ser aplicado a qualquer cidade enquanto cada estudo de caso se refere a uma cidade e país específicos e pode diferir dos outros estudos de caso apresentados no Guia. Eles devem ser usados pelos leitores para orientá-los sobre o tipo de informação eles necessitarão para desenvolver e o tipo de ação a ser tomada de forma a avançar na gestão sustentável de resíduos em sua cidade e país.*

*Uma explicação sobre os acrônimos usados pode ser encontrada no final do Guia.*

# PARTE 1

## 1 Necessidade de uma gestão sustentável de resíduos sólidos

### 1.1 Estado atual da gestão de resíduos no mundo

*Desde o início da história, os seres humanos têm gerado resíduos sólidos, e feito sua disposição em lixões ou realizado sua queima. Após a revolução industrial, próximo ao fim do século XVIII, a quantidade de bens usados e então descartados pelas pessoas cresceu tanto que as cidades criaram aterros e incineradores para a disposição de resíduos. A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) se tornou problemática desde meados do século XX quando o consumo de bens, e geração correspondente de resíduos, cresceu várias vezes.*

*Como resposta, os países mais avançados desenvolveram vários métodos e tecnologias para lidar com os resíduos sólidos. Estes variam desde a redução de resíduos através do design de produtos e embalagens, até a reciclagem de materiais reaproveitáveis, a compostagem de material orgânico, combustão com aproveitamento energético, comumente chamado WTE, e aterramento sanitário que previne emissões líquidas e gasosas para o ambiente. Estima-se que o RSU pós-reciclagem no mundo chega a 1,2 bilhão de toneladas [por ano] e 0,2 bilhões são tratados através das várias tecnologias WTE. Além disso, apenas 20% do RSU aterrado são dispostos em aterros sanitários que reduzem as emissões líquidas e gasosas para o ambiente.*

## **1.2 Introdução à gestão de resíduos sólidos**

*De acordo com Christensen (2011), a gestão de resíduos sólidos é tão antiga quanto a civilização, embora apenas seja considerada uma disciplina de engenharia há aproximadamente um século. A mudança do foco anterior de limpeza pública para a moderna gestão de resíduos foi inicialmente demandada pela industrialização, que introduziu novos materiais e produtos químicos, mudando dramaticamente os tipos e composição dos resíduos, e pela urbanização, que fez da gestão de resíduos em áreas urbanas uma operação logística complicada e custosa.*

*Resíduos sólidos podem ser classificados como sendo do tipo municipal (residencial e comercial), industrial, de construção e demolição, dentre outros. RSU é o material mais heterogêneo do mundo, pois inclui os resíduos de quase todos os materiais usados pela humanidade: Comida e outros orgânicos naturais, papéis, plásticos, tecidos, couro, metais, vidro, etc.*

*É importante perceber que vários sistemas lidam com resíduos ou itens que podem se tornar resíduos.*

*Seis diferentes sistemas podem ser convenientemente identificados:*

- Manejo de resíduo domesticamente: “Resíduo” pode ser utilizado nas instalações ou em uma simbiose industrial; este último ocorre quando uma indústria usa diretamente “resíduos” de outra indústria como um recurso em sua produção. Por exemplo, pedaços de madeira de baixa qualidade poderiam ser usados para geração doméstica de energia. A princípio este não é um “resíduo” de acordo com a nossa definição, mas o manejo doméstico do resíduo pode ser uma importante iniciativa para promover a redução ou minimização da geração de resíduos, como será discutido mais tarde.*
- Despejo/manuseio não controlado de resíduos: Descarte ordinário, em termos de material despejado nos campos e terrenos, ao longo de vias de transporte ou áreas públicas acontece em toda parte, embora em diferentes escalas. O despejo geralmente acontece na forma de embalagens e jornais, mas também de forma não frequente outros tipos de resíduo (como resíduo de reformas e eletrodomésticos velhos de linha branca) podem aparecer “jogados” na zona rural ou em terrenos baldios. Resíduo despejado e jogado pode em um segundo momento demandar ações de limpeza pública da área afetada e desta forma se tornar parte do sistema público de gestão de resíduo.*
- Sistema de retorno: Produtos usados podem retornar à loja onde foram comprados ou a uma loja similar dependendo da estrutura do negócio.*

*Créditos para latas e garrafas de bebidas retornáveis são comuns. A recuperação dos créditos é o incentivo econômico para o consumidor devolver os itens. Os sistemas de retorno também podem existir como parte de acordos voluntários entre autoridades ambientais e cadeias de negócios, como um elemento da política ambiental de alguma das unidades do negócio ou como parte de obrigações legais do produtor. Tais sistemas podem ser aplicados a baterias, remédios, pneus de carros e equipamentos eletrônicos.*

- *Sistemas municipais de gestão de resíduos (público ou privado): o manuseio organizado do RSU é normalmente uma questão pública, embora muitos dos elementos do sistema possam ser de propriedade e operados de forma privada. O RSU é o resíduo gerado pelos cidadãos e pelas atividades civis e resíduo similar oriundo de pequenos negócios e indústrias. O público é a autoridade responsável.*
- *Sistema de gestão de resíduos industriais: O termo resíduo industrial é usado para resíduos de origem industrial em larga escala, ou em pequena escala, mas perigoso. Este último geralmente é tratado no sistema de resíduos perigosos. Resíduo industrial é geralmente tratado caso-a-caso, pois sua grande quantidade e características especiais determinam os modos de disposição. Sistemas para a gestão de resíduos em uma indústria podem ser parte integrante dos licenciamentos ambientais emitidos pelo governo para a indústria.*
- *Sistema de gestão de resíduos perigosos: A natureza dos resíduos perigosos requer maneiras e regras especiais para sua coleta, armazenagem e transporte. Da mesma forma as instalações para tratamento e disposição têm regras e características especiais. Isto naturalmente acarreta em maiores custos por tonelada manuseada em relação ao custo comum de manuseio do RSU.*

### **Critérios de Gestão de Resíduos**

*A visão de Christensen (2011) é de que o sistema de gestão ideal provavelmente não existe, mas pode ser útil para identificar alguns dos principais critérios que a gestão de resíduos, como um serviço e uma obrigação governamental, devem considerar e tentar atender. Os seguintes critérios devem ser considerados em todo planejamento de gestão de resíduos:*

- *Prover um manuseio robusto e customizado de todo o resíduo com o mínimo de esforço para o cliente e o cidadão.*
- *Garantir a menor carga ambiental possível em termos de ruído e contaminação do ar, água e solo.*

- *Prover o máximo de recuperação de recursos dos resíduos, ao mesmo tempo em que minimiza o uso de recursos para o manuseio dos resíduos.*
- *Ser uma ocupação segura e saudável para os trabalhadores, oferecendo trabalho não monótono e desafios que se possa vencer.*
- *Introduzir mínimo impacto à cidade com respeito ao tráfego, gases exaustos dos veículos, ruído, acidentes de trânsito e derramamento de resíduos.*
- *Incluir considerações estéticas e arquitetônicas para a construção de plantas de coleta e tratamento.*
- *Respeitar no mínimo as leis vigentes, regulamentos e códigos de boas práticas.*
- *Se economicamente aceitável e justo*

*Esses critérios ideais estão parcialmente em conflito: por exemplo, atender critérios ambientais aumenta os custos. Todo sistema de gestão de resíduos deve identificar quais critérios são os mais importantes e então chegar a um compromisso aceitável. Nenhuma relação simples pode combinar esses critérios parcialmente contraditórios em uma única equação a ser otimizada, a menos que todos os critérios sejam forçados em termos econômicos.*

### **A Necessidade de um Plano Adequado**

*O erro mais comum quando se projeta um sistema de gestão de resíduos sólidos é considerá-lo apenas como uma questão técnica, como algo relacionado a serviços públicos, infraestrutura e financiamento. Esse erro geralmente resulta em projetos cheios de technicalidades, independente das condições locais e irrealista. Além disso, resulta em projetos que ignoram a importância das interações sociais e do papel específico da comunicação. Em contraste, existe a necessidade de uma visão multidimensional que vai lidar com todos os aspectos da Gestão de Resíduos Sólidos (GRS), nominalmente as questões técnicas, sociais, econômicas e políticas.*

*A UNEP afirma que ao redor do mundo existe uma necessidade crescente por soluções sustentáveis e coerentes para os problemas da gestão de resíduos sólidos. A GRS parece ser mais complexa em países em desenvolvimento e transição, onde volume e diversidade crescentes de resíduos, resultantes de crescimento econômico, urbanização e industrialização, estão se tornando um problema emergente para governos nacionais e locais tornando mais difícil a garantia de uma gestão eficiente e sustentável de resíduos.*

### **Tecnologias de Tratamento de Resíduos**

*A escolha das tecnologias de tratamento pode desempenhar um papel importante no atendimento da maior parte dos critérios citados acima e determina em grande medida o sucesso de um sistema de gestão de resíduos sólidos. Entretanto não existe uma tecnologia de tratamento de resíduos que se encaixa de forma ótima em todas as áreas e em todos os tipos de resíduos.*

*Abaixo são brevemente apresentadas as tecnologias de tratamento de resíduos sólidos mais comuns.*

- **Recuperação de materiais:**

*A gestão sustentável do RSU requer que cada esforço plausível seja feito para a separação de materiais recicláveis, como fibra de papel, metais, e alguns tipos de plásticos e vidro da cadeia do RSU. Materiais recicláveis devem ser separados na origem, isto é, residências, comércio e instituições. O custo da reciclagem é então dividido pelos cidadãos (tempo e esforço para separar recicláveis) e pelas municipalidades (sistemas de processamento e veículos de coleta separados) A experiência em muitas comunidades mostrou que uma única cadeia de coleta e processamento de recicláveis resulta em taxas sensivelmente mais altas de reciclagem e é também mais econômica que uma cadeia múltipla de coleta. Os recicláveis a serem separados são especificados pela comunidade com base nas demandas de mercado; em geral, metais, papel e papelão e certos tipos de plásticos e vidros são recicláveis. Os recicláveis coletados são então transportados para uma Unidade de Reciclagem de Materiais (URM) onde são separados, manual ou automaticamente, em materiais comercializáveis e em resíduos não utilizáveis que serão aterrados ou usados como combustível em uma planta WTE.*

- **Pré-tratamento mecânico:**

*É considerado por muitos como um método de pré-tratamento porque é geralmente usado com o tratamento biológico ou térmico. Tem o objetivo de recuperar materiais valiosos das cadeias de resíduos, remover contaminantes, separar a cadeia de resíduos em mais cadeias ou homogeneizar os resíduos para otimizar outros processos.*

- **Compostagem aeróbica e anaeróbica:**

*Compostagem aeróbica e anaeróbica: Resíduos de parque e jardins, também chamados de resíduos “verdes” ou “de jardim”, podem ser separados na origem e compostados aerobicamente (isto é, na presença de oxigênio) em montes abertos, em pilhas cobertas, através das quais ar é injetado (sistema Gore Cover), ou em reatores confinados. O composto tem valor nutricional baixo e pode ser usado como corretor se solo em jardins e parques. A prática usual é que os cidadãos levem seus resíduos verdes*

à planta de compostagem e de lá levem o composto para uso em seus jardins. A compostagem de resíduos verdes é usada de forma intensa nos EUA com quase 50% destes resíduos sendo compostados aerobicamente<sup>3</sup>. Algumas comunidades também coletam resíduos alimentares separadamente e fazem sua compostagem em reatores de Digestão Anaeróbica especialmente projetados, isto é, na ausência de oxigênio, desta forma recuperando um biogás contendo 50% de metano e um “bolo” que, após ser curado ao ar por algumas semanas, também é usado como corretor de solo<sup>3</sup>. Resíduos alimentares também podem ser compostados aerobicamente em sistemas fechados que são equipados com filtros biológicos ou outros dispositivos para evitar emissão de odores desagradáveis<sup>4</sup>. A coleta e processamento de resíduos alimentares são muito mais custosos que os de resíduos verdes e são praticados em poucas comunidades. Por exemplo, menos que 3 % dos resíduos alimentares gerados nos EUA são processados desta forma. Os resíduos sólidos remanescentes após a recuperação de materiais e o composto são chamados de resíduos pós-reciclagem. Eles podem ser tratados termicamente para recuperação de sua energia química ou dispostos em aterros sanitários, como discutido abaixo.

- **Recuperação energética**

A maior parte dos resíduos pós-reciclagem são compostos químicos orgânicos feitos de hidrogênio (H), e carbono (C) e podem ser usados como combustível. Quando reagem com oxigênio em uma temperatura relativamente alta (processo chamado “combustão”), formam vapor d’água (H<sub>2</sub>O) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e liberam uma grande quantidade de energia. Portanto, pode-se dizer que resíduo pós reciclagem contém energia química que, durante a combustão, é transformada em energia térmica. A energia química armazenada no RSU pós-reciclagem é tipicamente de 10 MJ/kg (milhões de Joules por quilograma) ou 2,8 MWh/t (megawatthoras por tonelada), embora haja uma grande variabilidade deste valor. A maneira mais simples e mais comum para a recuperação da energia do RSU é fazendo a sua completa oxidação, isto é, combustão, em fornos especialmente projetados. Há, entretanto, outras formas de tratamento térmico, nominalmente a oxidação parcial e a formação de um gás sintético (“gaseificação”), ou o aquecimento do resíduo pós reciclagem para convertê-lo em um óleo sintético (“pirólise”). De forma geral, todos os métodos de tratamento térmico para a recuperação de energia ou um combustível a partir de resíduos sólidos são chamados WTE.

- **Tratamento Mecânico-Biológico (TMB):**

TMB é um método relativamente novo (desenvolvido nos anos 1990) para tratar resíduo sólido e é basicamente usado para tratar resíduos não separados as sobras (após a separação de recicláveis na origem). O conceito era originalmente reduzir a

quantidade de resíduo destinada para aterro, mas as tecnologias de TMB são hoje vistas também como plantas de recuperação de combustíveis e de materiais. Como o nome sugere, combina tecnologias de tratamento mecânico (telas, grades, imãs, etc.) com tecnologias biológicas (compostagem, digestão anaeróbica).

Duas tecnologias principais estão disponíveis: Pré-tratamento mecânico-biológico (PMB), que primeiro remove uma fração de RDF (refused-derived-fuel, ou combustível derivado de resíduos) e então trata o resíduo remanescente antes que a maior parte dele seja aterrada, e a estabilização mecânico-biológica (BEM) que primeiro faz a compostagem do resíduo para secagem antes da extração de uma grande fração de RDF. Apenas uma pequena fração é aterrada. Esta tecnologia é também chamada de biosecagem. Dentro de cada uma das duas tecnologias, uma gama de variações está disponível a depender do resíduo recebido e da rota da fração de RDF. (Christensen, 2011)

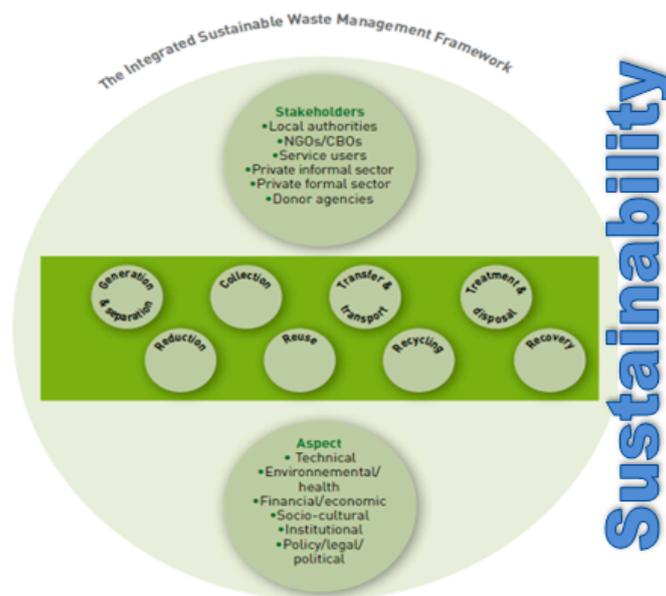
- **Aterro:**

Resíduos pós-reciclagem que não são tratados termicamente devem ser aterrados. Esta é a forma primitiva de lidar com resíduos sólidos pela humanidade e é ainda hoje usada, estima-se, por 80% da população global. Há dois problemas principais associados com os aterros tradicionais: precipitação de chuva e reações bioquímicas dentro do aterro formam chorume contendo ácidos que, ao escapar para o ambiente, podem contaminar águas superficiais e subterrâneas por muitas décadas; além disso, o biogás gerado por estas reações contém até 55% de metano (CH<sub>4</sub>) e contribui em estimados 3% com o total de gases de efeito estufa (greenhouse gases ou GHG), os quais, acredita-se, resultam nas mudanças climáticas<sup>5</sup>.

Ao reconhecer esta condição, muitas nações implantaram aterros sanitários equipados com coleta e tratamentos de efluentes líquidos e com captura da maior quantidade possível de gás de aterro.

### **Gestão Sustentável Integrada de Resíduos (GSIR)**

Klundert e Anschutz consideram que a Gestão Sustentável de Resíduos é uma ferramenta dinâmica que inclui aspectos que variam da criação de políticas e desenvolvimento institucional até o projeto técnico de soluções integradas para o manuseio e disposição de resíduos.



**Figura 1: Gestão de resíduos integrada sustentável**

O conceito de GSIR difere bastante da abordagem convencional em relação à gestão de resíduos ao buscar a participação das partes interessadas, cobrindo a prevenção da geração de resíduos e recuperação de recursos, incluindo interações com outros sistemas e promovendo uma integração de diferentes escalas de habitat (cidade, vizinhança, residência). GSIR não lida com gestão de resíduos apenas como uma questão técnica, mas também reconhece os fatores sociais e político como tendo igual importância. (Klundert e Anschutz, 1999).

### **Dimensões do GSIR**

Como mostrado na Figura 1, o arcabouço de análise do GSIR consiste de três dimensões:

- as partes interessadas (círculo superior da Figura 1);
- a parte física dos Elementos do Sistema de Resíduos, por exemplo geração, estocagem, coleta, etc. (caixa na Figura 1).; e
- aspectos, por exemplo, técnicos, ambientais, etc. do sistema de GRS (círculo inferior na Figura 1).

Uma parte interessada é uma pessoa ou organização que tem uma parte, um interesse - neste caso -na gestão de resíduos. Partes interessadas por definição têm diferentes papéis e interesses em relação à gestão de resíduos; o desafio do processo de GSIR é

*levá-los a concordar em cooperar para uma causa comum, que é melhorar o sistema de gestão de resíduos.*

*Os elementos do sistema de gestão de resíduos se referem a como o resíduo sólido é manuseado e para onde é destinado. Particularmente este último tem importantes implicações ambientais e por este motivo as autoridades ambientais de vários países adotaram o conceito de uma hierarquia de gestão de resíduos como um guia de política operacional. As prioridades de gestão de resíduos, mostradas na figura 2, também são uma pedra fundamental da abordagem de GSIR e dão preferência à prevenção e minimização de geração de resíduos, reciclagem e outras formas de recuperação de materiais.*

*A terceira dimensão da GSIR se refere aos aspectos de sustentabilidade. Estes aspectos podem ser definidos como princípios, ou lentes através das quais um sistema de gestão de resíduos existente pode ser avaliado e com o qual um novo sistema ou uma ampliação podem ser planejados (UN-HABITAT, 2010, Klundert and Anschutz, 2001). Para que a expansão do sistema ou o novo sistema sejam sustentáveis, é necessários considerar todos os aspectos técnicos, ambientais, de saúde, econômico-financeiros, socioculturais, institucionais, legais e políticos (ver BOX1).*

*A ordem de prioridade preferencial dos diferentes métodos de gestão de resíduos é mostrada na “Hierarquia de Gestão de Resíduos” (Figura 2). É obvio, como para qualquer regra, que pode haver exceções. Por exemplo, quase 90% do plástico gerado nos EUA não são reciclados por várias razões; é preferível que os plásticos não reciclados sejam tratados termicamente do que aterrados. Da mesma forma, um estudo da Universidade de Columbia mostrou que a prática adotada na Califórnia (EUA), de uso de resíduos de poda ao invés de solo como cobertura em aterros sanitários é ambientalmente preferível em relação à compostagem a céu aberto deste material<sup>3</sup>. A “Hierarquia de Gestão de Resíduos” (Figura 2) coloca aterros sanitários que capturam biogás para produção de eletricidade acima dos aterros que queimam o biogás para a atmosfera.*

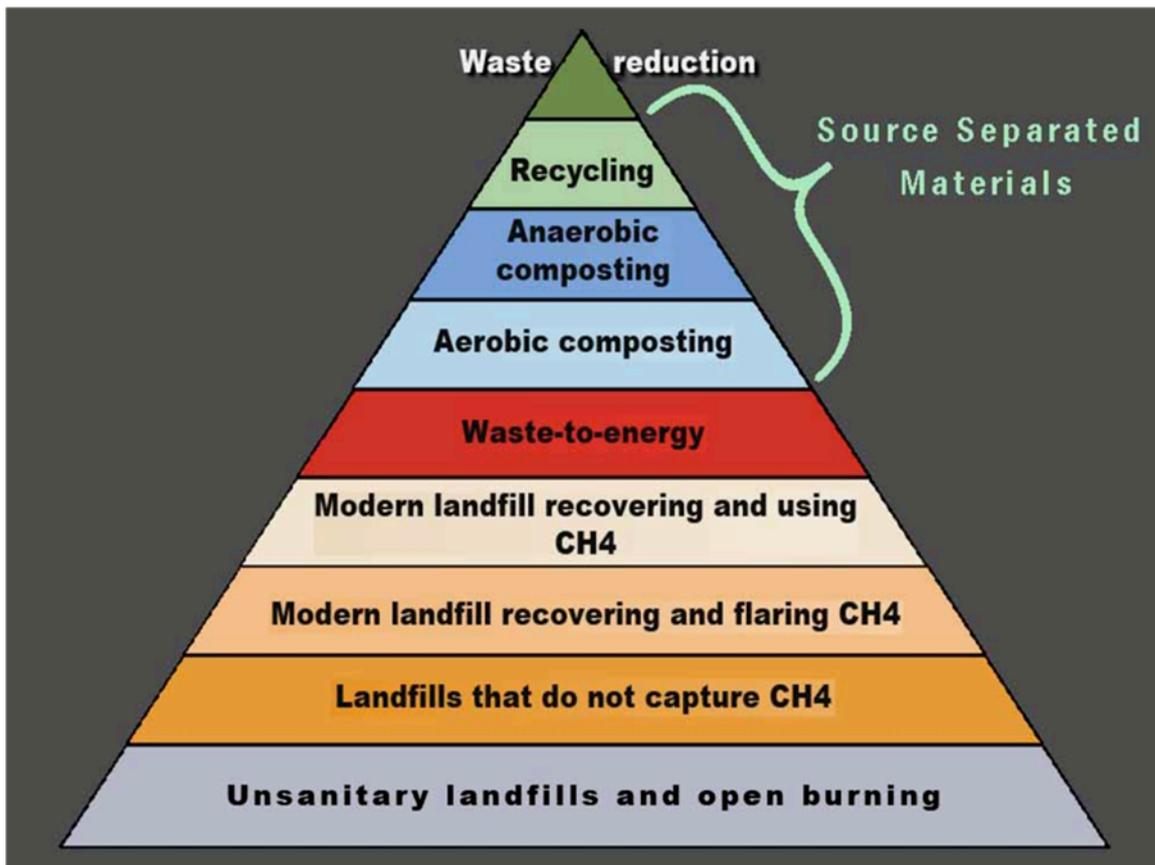


Figura 2: A Hierarquia da Gestão e Resíduos<sup>6</sup>

### Box 1: Aspectos do sistema de Resíduos

Aspectos técnicos dizem respeito à implantação e manutenção, na prática, de todos os elementos de gestão resíduos: quais equipamentos e instalações estão sendo usadas ou em planejamento; como são projetados; para que foram projetados; a efetividade do seu funcionamento na prática; e o quão limpa é a cidade de forma consistente.

Aspectos ambientais dão foco nos efeitos da gestão de resíduos no solo, água e ar; na necessidade de conservação de recursos não renováveis; controle de poluição e preocupações com saúde pública

Aspectos de saúde têm a ver com o fato de que a Gestão de Resíduos está intimamente ligada à proteção da saúde humana, já que uma Gestão de Resíduos inadequada, ineficiente ou inexistente, não existente representa um grande perigo para a sociedade.

Aspectos econômico-financeiros dizem respeito à orçamentação e contabilidade de custos dentro do sistema de gestão de resíduos e em relação à economia regional, nacional e global. Alguns itens específicos são: privatização; recuperação e redução de custos; o impacto de serviços ambientais nas atividades econômicas; o ambiente de negócios de commodities e como as infraestruturas de reciclagem se ligam a ele; eficiência dos sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos; dimensões macroeconômicas da conservação e uso de recursos; e a geração de receita.

Aspectos sócio -culturais incluem a influência da cultura na gestão e geração de resíduos nos domicílios, negócios e instituições; a comunidade e o seu envolvimento na gestão de resíduos; as relações entre grupos e comunidades, entre pessoas de diferentes idades, gêneros, origem étnica e condição social dos trabalhadores da cadeia de resíduos.

Aspectos institucionais estão relacionados às estruturas políticas e sociais que controlam e implantam a gestão de resíduos: a distribuição de funções e responsabilidades; as estruturas organizacionais, procedimentos e métodos implicados; as capacidades institucionais disponíveis; e atores como o setor privado, que poderia ser envolvido. O planejamento é geralmente considerado a principal atividade em relação aos aspectos institucionais e organizacionais.

Aspectos políticos/ legais / de políticas internas cuidam das condições de contorno nas quais a gestão de resíduos existe: estabelecimento de metas e prioridades; determinação de papéis e jurisdições; o arcabouço legal e institucional existente ou planejado; e os processos básicos de tomada de decisão. Fonte: <http://www.greengrowth.org/partners.asp>

### **1.3 Recuperação de materiais (“reciclagem”) e energia (“WTE”)**

*Como observado acima, a gestão sustentável de RSU requer que cada esforço possível seja feito para separação de recicláveis ou materiais compostáveis da cadeia de RSU. Estes materiais devem ser separados do resto do RSU na fonte, isto é, nas residências e*

empresas, pois uma vez misturados com resíduos de comida, fraldas descartáveis e outros resíduos “úmidos”, a separação torna muito difícil e o valor dos materiais recicláveis decresce consideravelmente. Entretanto, é muito importante que os órgãos responsáveis decidam, e informem à população sobre quais materiais têm valor comercial; de outra forma, os resíduos “reciclados” acabarão nos aterros. Um exemplo da falta de mercados para certos resíduos de materiais é o fato de que, apesar do grande esforço por comunidades e empresas, apenas 7% dos resíduos de plásticos gerados nos EUA são reciclados<sup>7</sup>.

Algumas pessoas acreditam que uma nova planta WTE reduzirá a taxa de reciclagem da comunidade. Na verdade, ocorre o contrário: comunidades dispostas a despender recursos e esforços em reciclagem logo se dão conta de que há propriedades de materiais e limites econômicos para quanto RSU pode ser reciclado. Então se passa a buscar o próximo meio disponível para reduzir sua dependência dos aterros: Energia e metais recuperados do RSU. Este efeito fica óbvio na “Escada da Gestão Sustentável de Resíduos” do Centro de Engenharia da Terra (ECC), baseado em Eurostat<sup>8</sup> e pesquisa da Columbia/BioCycle<sup>9</sup> (Figura 3). Este gráfico claramente mostra que nações que reduziram e até eliminaram os aterros o fizeram pela combinação de recuperação de materiais e de energia.



**Figura 3 Subindo a Escada de Gestão Sustentável de Resíduos pela recuperação de materiais e energia do RSU** Error! Bookmark not defined.'Error! Bookmark not defined.

## **2 Tecnologias de tratamento térmico**

### **2.1 A energia química armazenada no RSU**

RSU pós-reciclagem que não é aterrado pode ser o combustível de uma caldeira em uma planta WTE e, portanto, é preciso conhecer o seu poder calorífico. Utilizando os dados de composição química para o RSU “típico” conforme Tchobanouglos et al<sup>10</sup>, e os pesos atômicos dos respectivos elementos, Themelis et al<sup>11</sup> demonstraram que a fórmula química  $C_6H_{10}O_4$  se aproxima bastante da mistura de compostos orgânicos do RSU. Por coincidência, há dez compostos orgânicos, como o ácido adípico e diacetato de etilenoglicol que têm a mesma fórmula molecular. O calor de formação destes compostos orgânicos é de aproximadamente 960 MJ/quilomol. A combustão completa dos compostos orgânicos do RSU é representada pela seguinte equação química.



Esta reação é altamente exotérmica e a uma temperatura de combustão de 1000°C o calor de combustão calculado é de 2,7 MJ/ quilomol de composto orgânico. Como o peso molecular do  $C_6H_{10}O_4$  é de 146 kg/kmol, o calor de reação “teórico”, (isto é, na ausência de materiais não combustíveis e umidade) é calculado como sendo 18,5 MJ/kg.

### **2.2 Efeito da umidade e materiais inertes no poder calorífico do RSU**

A umidade e materiais não combustíveis contidos no RSU decrementam o seu poder calorífico. Para quantificar estes efeitos, vamos assumir que a planta WTE forneça vapor para uma planta termelétrica padrão e que os gases exaustos deixem a caldeira a 120°C e 0,135 Mpa. Consequentemente, calcula-se a perda de calor na umidade da mistura como sendo 2,6 MJ/kg de umidade. Os materiais não combustíveis da mistura principalmente vidro e metais, acabam principalmente na cinza de fundo da caldeira. Se assumirmos que a cinza deixa a câmara de combustão a aproximadamente 700°C, a perda de calor correspondente para os materiais inorgânicos carregados junto com os combustíveis é estimada como a seguir:

- Vidro e outros materiais inorgânicos: 0,63MJ/kg de vidro no RSU
- Ferro e outros metais: 0,54 MJ/kg de metais no RSU

Portanto, materiais não combustíveis afetam o poder calorífico do RSU como a seguir:

$$\text{PCI do RSU} = (\text{PCI dos combustíveis}) \times (X_{\text{combustíveis}}) - (\text{perda de calor devido à água na mistura}) \times (X_{\text{H}_2\text{O}}) - (\text{perda de calor devido ao vidro na mistura}) \times (X_{\text{vidro}}) - (\text{perda de calor devido ao metal na mistura}) \times (X_{\text{metal}}) \text{ MJ/kg}$$

Onde  $X_{\text{combustíveis}}$ ,  $X_{\text{H}_2\text{O}}$ , etc., são as frações (% de massa) de material combustível, água, etc. no RSU.

Substituindo valores numéricos para o calor de combustão e para as perdas de calor da água e dos inorgânicos:

$$\text{PCI do RSU} = 18,5X_{\text{combustíveis}} - 2,6X_{\text{H}_2\text{O}} - 0,6X_{\text{vidro}} - 0,5X_{\text{metal}} \text{ MJ/kg}$$

A linha mais grossa na Figura 4 é a plotagem da equação acima versus a percentagem de umidade. Pode-se ver que esta equação tem boa correspondência com dados experimentais do PCI de várias fontes. As outras linhas são plotagens similares para outros materiais orgânicos.

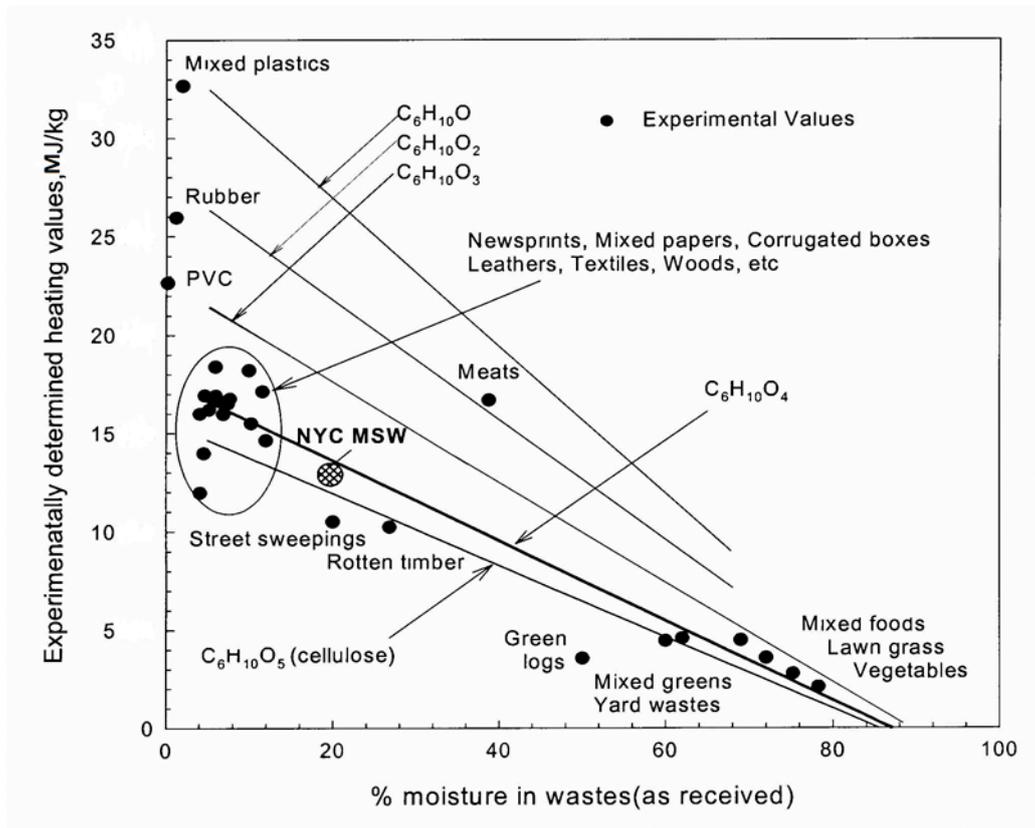
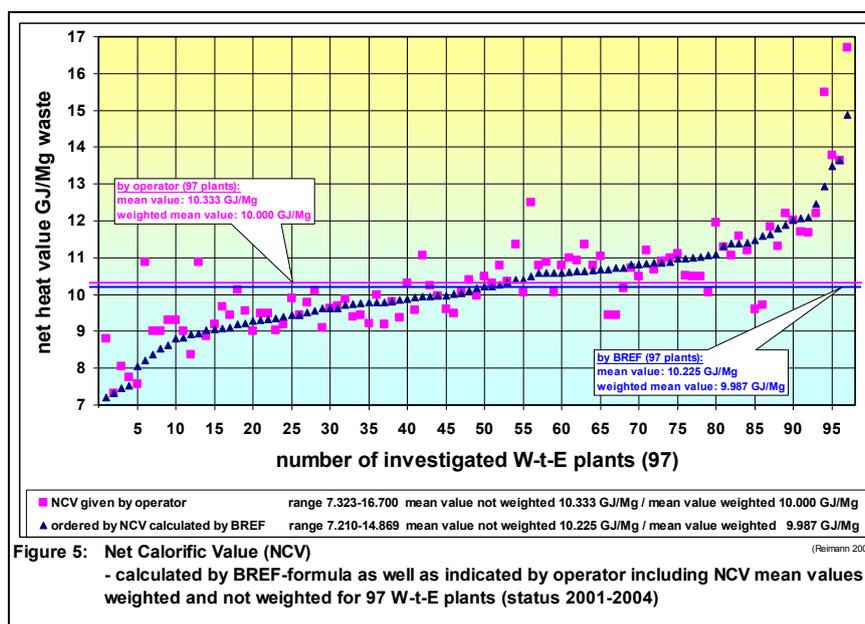


Figura 4 Efeito dos componentes e umidade no poder calorífico do RSU

É claro que o poder calorífico do RSU pode variar amplamente de país para país e cidade para cidade. Isto pode ser visto na Figura 5 que mostra os poderes caloríficos de

resíduos sólidos queimados em 97 plantas WTE em toda a Europa<sup>12</sup>. Poderes caloríficos variam de um mínimo de 8 MJ/kg até um máximo de 14 MJ/kg. Os valores mais altos correspondem a plantas queimando um mix de RSU e resíduos industriais. Os valores mais baixos, a altos conteúdos de umidade no RSU. O valor médio ponderado para as 97 plantas é de 10 MJ/kg. Deve-se notar que carvão lignito, ainda usado em muitas partes do mundo, tem um poder calorífico na mesma faixa, ou mais baixo. O valor de 10 MJ/kg corresponde a 2,8 MWh (Megawatt-horas) de energia térmica por tonelada. Deve-se ter este número em mente, pois os vendedores de tecnologias podem oferecer processos que sejam capazes de recuperar mais energia que a energia química armazenada no RSU.



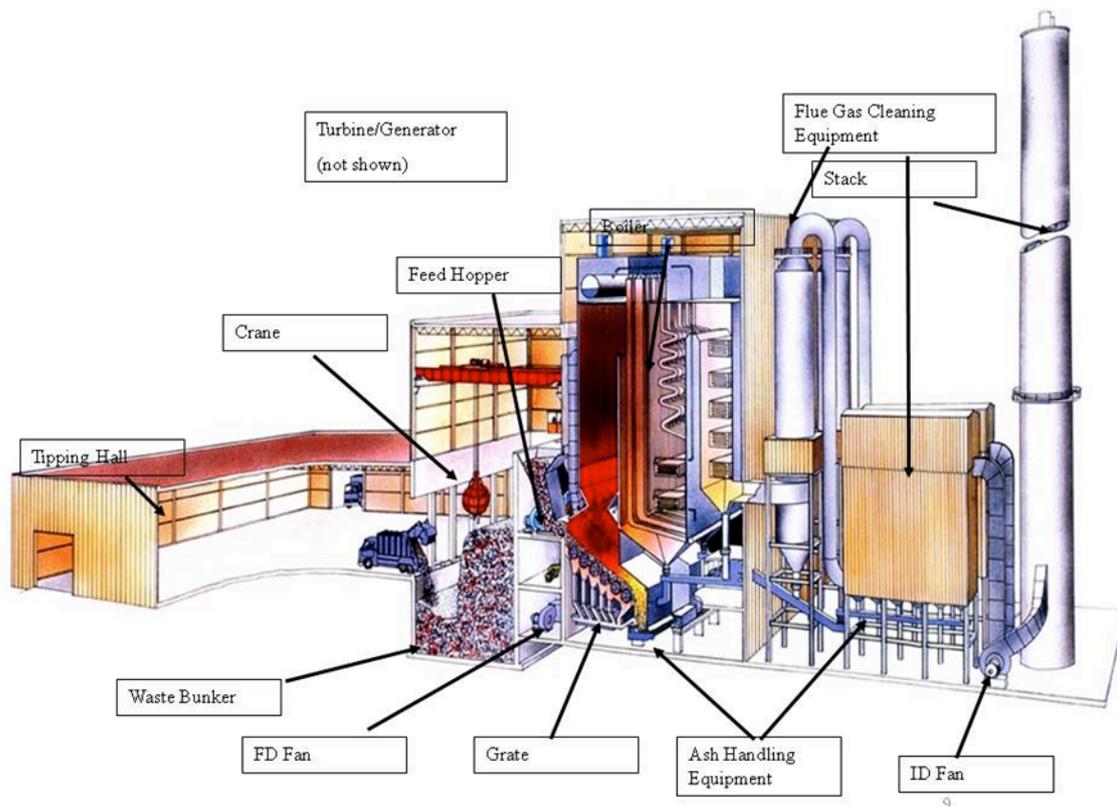
**Figura 5** Variação do poder calorífico do RSU para plantas WTE europeias Error! Bookmark not defined.

Como afirmado anteriormente, a única alternativa comprovada para aterramento de RSU pós-reciclagem é a combustão para a recuperação de energia, calor, gás sintético e metais. Ao redor do mundo há mais de 800 plantas de tratamento térmico do RSU, a maioria delas nos EUA, Europa, Japão e China. Algumas das plantas mais eficientes estão no Norte da Europa, pois recuperam 0,5 MWh de eletricidade somados a pouco mais de 0,5 MWh de energia térmica para aquecimento distrital. Quanto às unidades de geração exclusivamente elétrica, as plantas americanas recuperam 0,55 MWh de energia (líquida) por tonelada de MSW processada, enquanto novas plantas, por

exemplo AEB Amsterdam, entregam para a rede 0,7 MWh de eletricidade por tonelada de RSU.

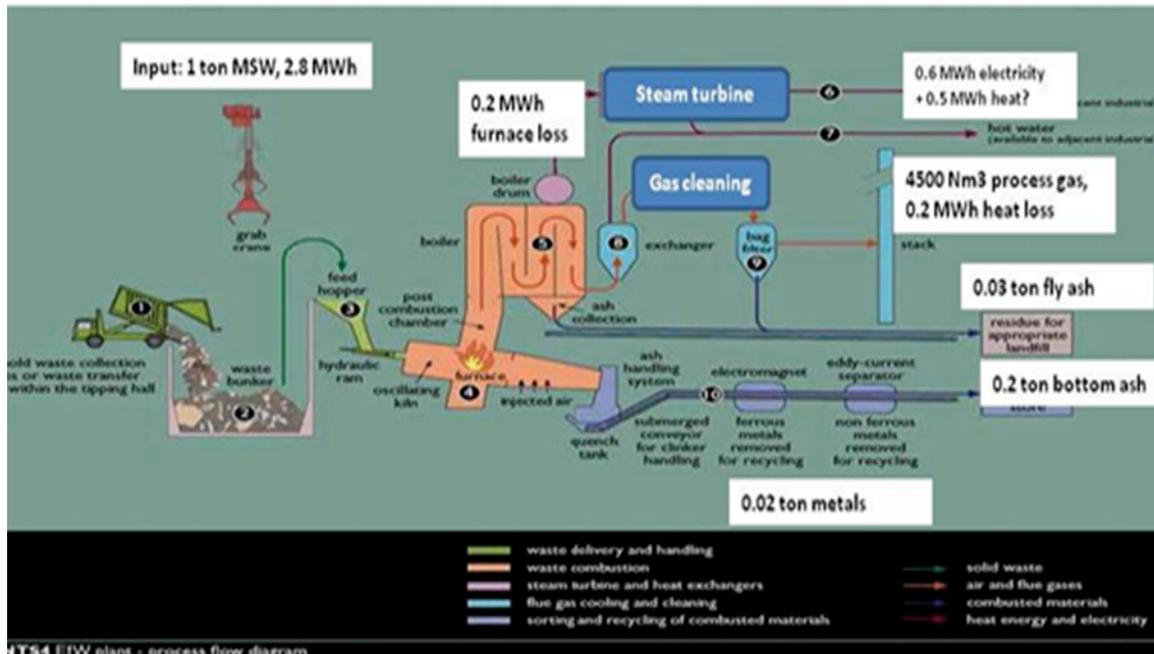
### 2.3 Combustão em grelha

No processo WTE de combustão em grelha, os sacos de RSU e outros resíduos são descartados dos veículos de coleta no poço de resíduos em um prédio totalmente fechado (Figura 6). Tipicamente o poço de resíduos é grande o suficiente para armazenar o volume de uma semana de resíduos coletados. Uma ponte rolante com uma garra de coleta carrega os sólidos em uma calha de alimentação para a fornalha WTE e um sistema de alimentação empurra o material para a grelha móvel. A grelha pode ser horizontal ou inclinada e refrigerada a água ou a ar. O movimento da grelha e também a gravidade, no caso da grelha inclinada, lentamente move o leito de resíduos através da câmara de combustão. A oxidação a alta temperatura na câmara de combustão reduz objetos grandes como uma grande mala em cinzas, que são descartadas na ponta final da grelha.



**Figura 6 Partes de uma planta WTE de grelha de combustão (Koralewska, R., Martin GmbH, apresentação no encontro bi anual de WTER, Outubro 2006)**

A figura 7 mostra o diagrama de fluxo de uma planta WTE e as entradas e saídas aproximadas de energia e materiais.



**Figura 7 Entradas e saídas de materiais e energia em uma planta WTE (desenho esquemático da EEC)**

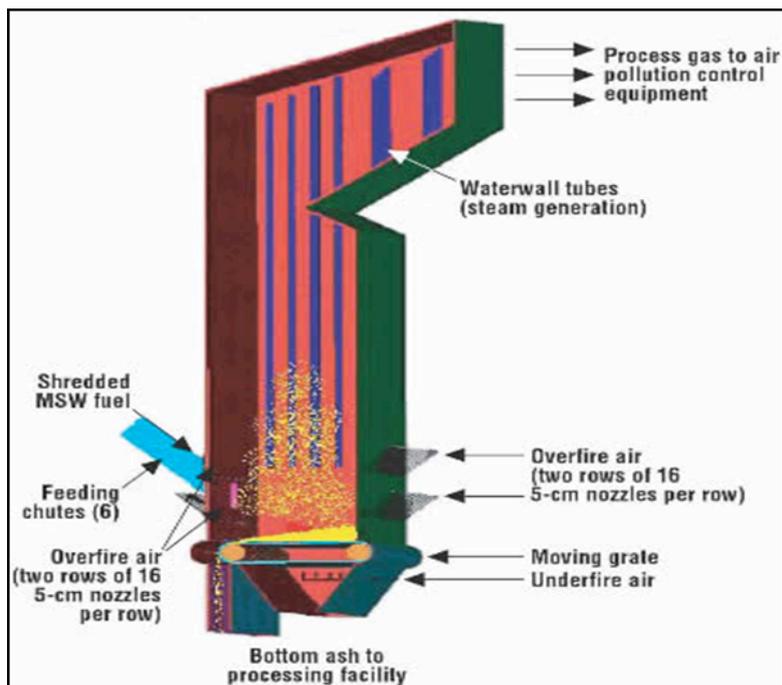
O calor contido nos gases da combustão é transferido, através da parede de tubos de água da caldeira, para o vapor de alta pressão que aciona o turbo gerador. O vapor de baixa pressão da exaustão do turbo gerador pode ser usado para aquecimento distrital. As plantas WTE mais eficientes são co-geradores de eletricidade (> 0,6 MWh) e aquecimento distrital (>0,5 MWh) por tonelada de RSU processado. Como um exemplo, 28 plantas WTE fornecem aproximadamente 35% das necessidades de aquecimento distrital da Dinamarca.

A maior parte das plantas WTE construídas na última década são do tipo grelha de combustão. Uma pesquisa de 2007 sobre as três tecnologias dominantes (Martin, Von Roll, Keppel-Seghers)<sup>13</sup> mostrou um crescimento consistente de aproximadamente 3 milhões de toneladas de capacidade de queima de massa por ano no período 2000-2006.

## **2.4 Combustão de combustível derivado de resíduos (RDF)**

*As tecnologias de combustível derivado de resíduos (RDF, do inglês refused-derived-fuel) representam o avanço mais simples possível sobre a tecnologia de combustão em grelha de RSU bruto (como recebido). O conceito original do RDF era de permitir a separação de materiais comercializáveis da massa de RSU antes que esta entrasse na câmara de combustão. Basicamente, este processo consiste na trituração do RSU, separando alguns dos materiais recicláveis, e então fazendo a combustão do RDF resultante. Nos EUA há 12 plantas WTE RDF, variando em capacidade de 360 a 2700 toneladas por dia, e no total processam aproximadamente seis milhões de toneladas métricas de RSU anualmente (ou seja, 20% da capacidade WTE dos EUA). Uma variação do processo RDF é também usada na Europa, onde o processo de Tratamento Mecânico Biológico (MBT, do inglês Mechanical Biological Treatment) trata RSU misturado e produz RDF que é queimado com carvão em plantas termelétricas e de cimento, que precisam ser equipadas com sistemas de Controle de Poluição Atmosférica com mesma performance daqueles das plantas WTE.*

*A planta WTE SEMASS em Rochester, Massachussets (EUA) é um dos melhores exemplos de aplicação bem sucedida da tecnologia RDF. Ela consiste de três unidades de 900 toneladas métricas / dia cada, e pré tritura o RSU para um tamanho de menos de 15 cm com um martelo hidráulico, retira aproximadamente 50% do metal ferroso contido no material triturado através de um separador magnético, e o armazena em um prédio anexo à planta. De lá, uma correia transportadora o leva para as calhas de alimentação das caldeiras; uma segunda correia transportadora retorna com o material não usado para o prédio de armazenamento de RDF. Esse sistema de alimentação é similar ao motor a combustão onde apenas parte do combustível entra no carburador enquanto o restante retorna para a bomba.*



**Figura 8 Diagrama esquemático da unidade de combustão da SEMASS (figura da EEC)**

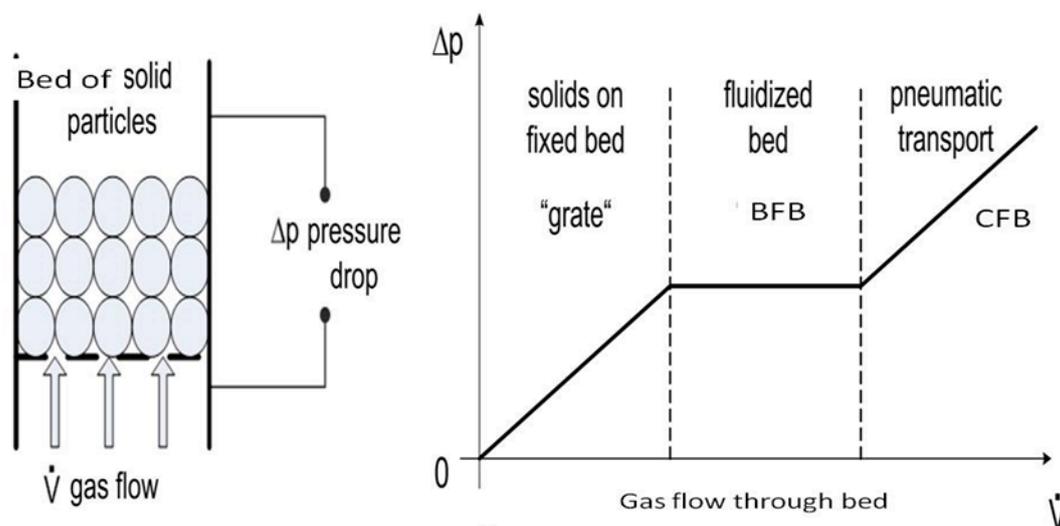
*Em plantas de grelha de combustão, o operador da ponte rolante sempre mantém o silo de alimentação cheio. Em contraste, a caldeira SEMASS (Figura 8) é alimentada através de uma calha alimentada por uma correia em uma taxa tal que a carga não empacota na calha e é carregada por uma corrente de ar para dentro da caldeira em um estado quase fluidizado; portanto uma fração da carga entra em combustão em suspensão enquanto o resto é assentado na parte final da grelha horizontal e lentamente é levada em direção ao final da linha.*

*Como nem todo o conteúdo ferroso é recuperado antes da combustão, SEMASS conduz as cinzas de fundo através de separadores magnéticos para recuperar material ferroso, e depois para separadores tipo eddy –current, para recuperação de metais não ferrosos. É interessante notar que o metal ferroso da pós-combustão, recuperado da cinza de fundo, atinge maiores valores de mercado que o coletado antes da combustão. De uma perspectiva de engenharia, trituração do RSU altamente heterogêneo para granulometria e composição mais uniformes é benéfico: as taxas de transferência de massa e calor aumentam com granulometrias menores e certo grau de homogeneização facilita o controle de combustão na fornalha. Como as taxas de secagem, volatilização e combustão são mais altas, a produtividade específica (por exemplo, toneladas por unidade de volume da câmara de combustão) de WTE à base de trituração deve também ser mais alta que WTE à base de grelha de combustão. Entretanto, para adoção da tecnologia RDF essas vantagens devem se traduzir em menor custo de capital e de operação do que a tecnologia de grelha de combustão.*

Aproximadamente todas as grandes plantas WTE a RDF estão nos EUA. Uma delas, de 1.800 t/dia de capacidade foi construída próxima a Palm Beach, Flórida, quando o município estava gerando 2.900 t/dia de RSU. Nos 20 anos seguintes a geração de resíduos cresceu para 5.900 t/dia e o município decidiu construir uma segunda planta WTE de 3.000 t/dia de capacidade. É interessante que a nova planta será uma unidade de simples queima, pois será menos onerosa para construir e operar. O mesmo aconteceu em Honolulu, no Havai, onde a combustão direta em grelha foi escolhida para uma expansão de 700 t/dia de uma planta WTE a RDF.

## 2.5 Combustão em leito fluidizado

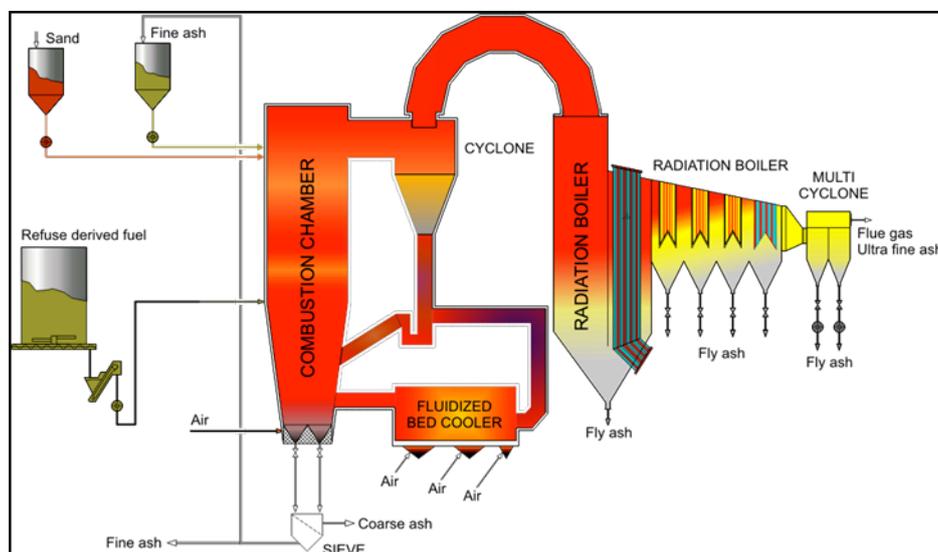
O processo de fluidização converte um leito de sólidos em um fluido pela introdução de um fluxo gasoso através da base do leito. Este fenômeno pode ser ilustrado na Figura 9 que mostra um leito de partículas sólidas dispostas em uma placa perfurada em um cilindro vertical. À medida que um gás é injetado através da placa a uma taxa de fluxo constantemente crescente, a princípio as partículas permanecem em repouso. Entretanto, quando o fluxo cresce as partículas são suspensas e o leito de sólidos começa a se comportar como um líquido em ebulição. Neste estágio, a movimentação do leito é descrita como “leito fluido borbulhante” (BFB para “bubbling fluid bed”, em inglês); se há uma abertura na parede, uma parte do material do leito borbulhante fluirá através desta abertura (corrente de sobre fluxo). Se a taxa de fluxo do gás aumenta ainda mais, as partículas são suspensas do leito fluido e podem ser arrastadas para fora do reator pelo fluxo de gás (corrente de arraste). Por exemplo, isto é o que acontece com as pequenas partículas de RSU no reator SEAMSS que foi discutido na seção anterior (Figura 8).



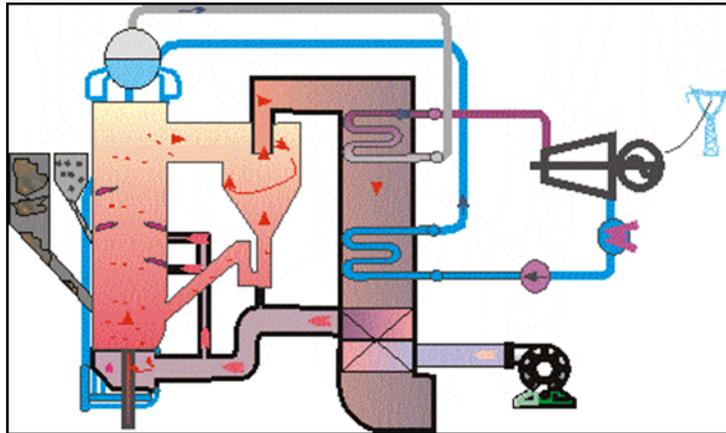
**Figura 9** Mudança de comportamento do leito de sólidos com o aumento do fluxo de gás e queda de pressão através do leito (F. Neubacher, tecnologia de leito fluidizado WTE, ESST (Springer) p. 11853)

O processo de fluidização é extensivamente usado na secagem do zinco e no processamento de outros minerais, em caldeiras a lenha e biomassa, e várias outras aplicações. Tem sido também aplicado na combustão de combustíveis sólidos derivados do processamento do RSU, mais frequentemente através de “leito fluido circulante” (CFB para “circulating fluid bed”, em inglês), onde a corrente de arraste do reator de leito fluido passa através de um ciclone que separa a maior parte dos sólidos da corrente de gás e os retorna para o reator de leito fluido para processamento adicional. Um meio de transferência de calor, como areia, é adicionado ao leito fluido, e recirculado.

A Figura 10 mostra a configuração de um reator de leito fluido circulante usado para queimar RF em Neumuenster, Alemanha. O RSU (210.000 t/ano, 9 MJ/kg) é triturado, e separado em metais e materiais inorgânicos; o restante é submetido a bioreação e secagem e as 103.000 t de RDF (14,1 MJ/kg) são queimadas em um leito fluido circulante. O calor de combustão é usado para a cogeração de energia e calor. Há poucos reatores de leito fluido na Europa e muitos na China (Figura 11).

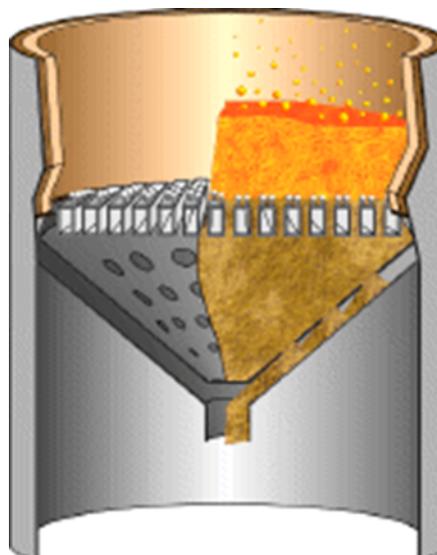


**Figura 10** O reator de leito fluido Neumuenster queimando RDF<sup>i</sup>



**Figura 11 A WTE de leito fluido circulante (LFC) da Universidade Zhejiang**

Recentemente chamou a atenção do Centro d Engenharia da Terra (ECC) que uma planta WTE com capacidade de 500 t/dia esteja sendo planejada no Arizona, que será baseada no princípio do leito fluido borbulhante (BFB) (Figura 12). Os desenvolvedores deste projeto (Reclamation Power Group) informaram ao ECC que o custo do projeto desta planta é de US\$ 50 milhões. Isso corresponde a aproximadamente metade do custo de capital, por tonelada de capacidade, de uma planta convencional de combustão com grelha, como discutido em uma seção posterior deste Guia. O provedor da tecnologia na América do Norte (Energy Products of Idaho) está na Lista de Provedores de WTE. A tecnologia WTE, como todas as tecnologias, está constantemente avançando e processos licitatórios para tratamentos térmicos do RSU na Região da América Latina e Caribe não devem excluir nem as tecnologias novas nem as convencionais, contanto que elas possam atender aos critérios de performance descritos em uma seção posterior deste Guia.



## **2.6 A produção de combustíveis secundários através da tecnologia de Tratamento Mecânico Biológico (TMB)**

*O Tratamento Mecânico Biológico (TMB ou “Mechanical Biological Treatment” – MTB, em inglês) é uma variação do processo RDF desenvolvido na Europa. Como discutido antes, o RSU contém restos de comida e podas de jardim que variam de aproximadamente 25% em nações desenvolvidas a 50-55%, ou mais, nos países em desenvolvimento. Estes materiais orgânicos naturais contêm muita umidade e a remoção de parte dela aumenta o poder calorífico dos resíduos sólidos parcialmente secos. Os processos MBT têm sido desenvolvidos desde 1995 com o objetivo de separar RSU misto em três frações sólidas: materiais recicláveis, orgânicos naturais que são compostados aeróbica ou anaerobicamente, e um resíduo combustível que é chamado “combustível recuperado de sólidos” (em inglês “solids recovered fuels” – SRF).*

*A Figura 13 mostra a sequência de processos e produtos do processo MBT no qual RSU triturado é separado num vaso cilíndrico rotativo (peneira rotativa) em uma fração orgânica fina que é composta, e uma fração maior que é mecanicamente separada entre materiais recicláveis (metais, alguns tipos de papel, de plástico, etc.) e combustível SRF.*

*A Figura 13 também mostra a variante “BMT” do processo MBT, onde separação mecânica acontece depois que o RSU triturado é submetido a “biosecagem” por meio de um fluxo de ar através do leito de sólidos triturados. Durante as várias operações do processo MBT, grande parte da umidade é retirada e uma parte dos orgânicos sofre reação ao estado de dióxido de carbono (compostagem ou biosecagem) ou metano (digestão anaeróbica).*

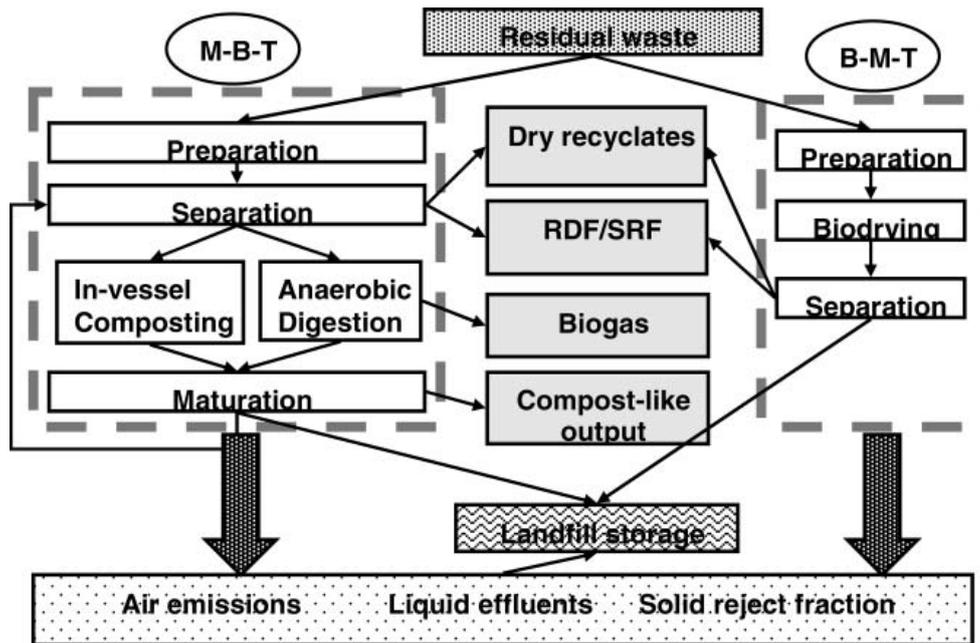
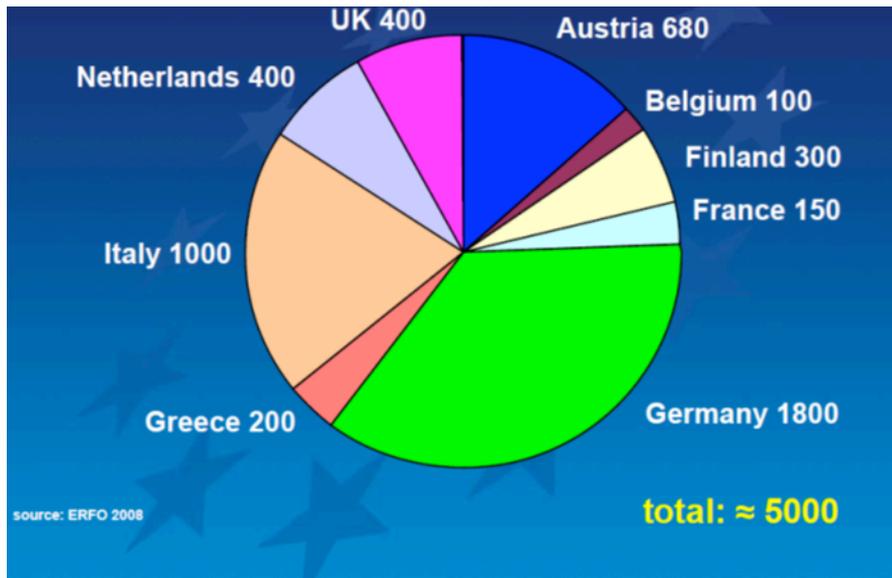


Figura 13 Diagrama do processo TMB<sup>1</sup>.

Em 2006 a capacidade de MBT havia crescido para aproximadamente cinco milhões de toneladas de SRF, principalmente na Alemanha e alguns países europeus (Figura 14). Há vários tipos de tais processos MBT e alguns têm sido mais bem-sucedidos que outros. A fração de recicláveis pode ser tão boa quanto em processos de separação na fonte, e é comercializável. Entretanto, a qualidade e aspecto visual do composto podem não ser bons o suficiente, mesmo quando disponibilizado sem custo. Adicionalmente, o combustível SRF contém uma quantidade relativamente alta de metais voláteis e cloro, de forma que as plantas de co-combustão que o usarem devem cuidar deste aspecto em suas caldeiras e sistemas de controle de emissões atmosféricas. Há, portanto, casos em que estes dois produtos não são aceitáveis pelo mercado e vão acabar em aterros; em tais casos o MTB serve para a separação de recicláveis e diminuição da quantidade de RSU a ser aterrada.



**Figura 14** Produção de SRF pelo processo TMB na Europa em 2008 (em milhares de toneladas)

Quando o SRF é usado para co-combustão em termelétricas ou fornos de cimenteiras, os usuários demandam uma taxa de despejo, ou seja, ele tem um valor negativo. Entretanto essa taxa de despejo é muito menor que a taxa de despejo requerida por plantas WTE na mesma área e essa diferença proporciona o incentivo econômico para a produção do SRF. A Figura 15 mostra os vários componentes de custo da produção de SRF, incluindo os preços negativos (“taxas de despejo”) pagos a várias plantas de co-combustão na Alemanha. Pode-se ver que a taxa de despejo paga a tais plantas varia de 10 a 18 Euros (US\$ 14 a 15) por tonelada para o SRF de alto poder calorífico até 34-60 Euros (US\$ 48 a 84) por tonelada para o SRF de baixo poder calorífico.

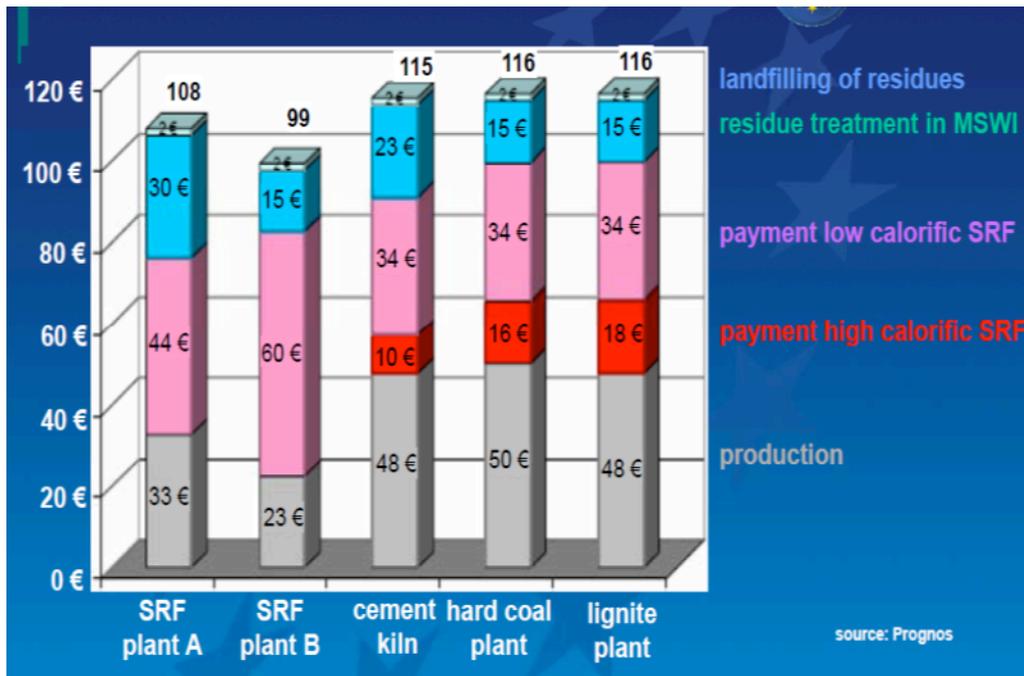


Figura 15 Custos de produção e utilização de uma tonelada de SRF em 2006<sup>18</sup>

O MBT foi desenvolvido na Europa principalmente como resposta à Diretiva da União Europeia sobre Aterros (LFD, 99/31/EC) que requer a eliminação dos aterros devido ao seu potencial para a produção de gás de aterro e chorume. Seu objetivo é produzir um combustível que possa ser coprocessado em plantas térmicas a carvão e fornos de cimenteiras, desta forma evitando a necessidade de construção de uma planta WTE. Entretanto, como este combustível tem um valor negativo no mercado de co-combustão, é necessário considerar se vale a pena para uma região construir várias plantas MBT de pequeno porte para servir a um número de municípios, e então transportar o SRF produzido para uma planta WTE regional para que seja queimado com recuperação energética.

Um município que queira implantar um processo WTE pode considerar o processo MBT mais simples, pelo qual o RSU é triturado e submetido à biosecagem através de fluxo de ar pelo leito de sólidos. Depois da biosecagem, materiais não combustíveis (metais, vidro, inertes) seriam separados; o SRF resultante pode ser assumido como tendo uma massa igual a 60% e um poder calorífico 66% (ou seja,  $100/60=1,66$ ) maior do RSU inicial. Para o caso hipotético de processamento de  $m$  milhão de toneladas de RSU, o resultado econômico de uma planta MBT seguida por uma planta WTE que queima o SRF produzido no MBT pode ser comparado à construção de uma planta de queima convencional em grelha que queima RSU bruto como a seguir:

**Custo de capital de MBT(capacidade 1 milhão t) + 0,6 \*custo de capital de WTE(capacidade 1 milhão t) < custo de capital de WTE (capacidade 1 milhão t)**

*No caso acima, a combinação MBT + WTE será atrativa quando o custo de capital da planta MBT de 1 milhão de t de capacidade for substancialmente menor que 40% do custo de capital de uma planta de WTE de 1 milhão de t de capacidade. Por exemplo, vamos assumir que o custo de capital de uma planta WTE de capacidade 1 milhão de toneladas construída na América Latina seja US\$ 500 por tonelada de capacidade anual. Portanto, de acordo com o raciocínio acima, para que a combinação MBT+ WTE seja atrativa, a planta MBT deve custar menos que US\$ 200 por tonelada de capacidade anual. Deve haver, é claro, comparações adicionais de custos operacionais e produção de energia das duas alternativas, mas o retorno do custo de capital é o maior componente de custo de plantas WTE.*

*A discussão acima indica que a operação de MBT na região da América Latina e Caribe deve ser a mais simples possível e não tão complexa quanto o fluxo da planta de MBT com biosecagem de 70.000 t / ano da Figura 16. Entretanto, como toda a tecnologia, o processo BMT está constantemente evoluindo; portanto, processos de concorrência para tratamento térmico do RSU na América Latina e Caribe devem solicitar propostas de todas as tecnologias comprovadas e então comparar os respectivos custos, de capital e operacionais.*

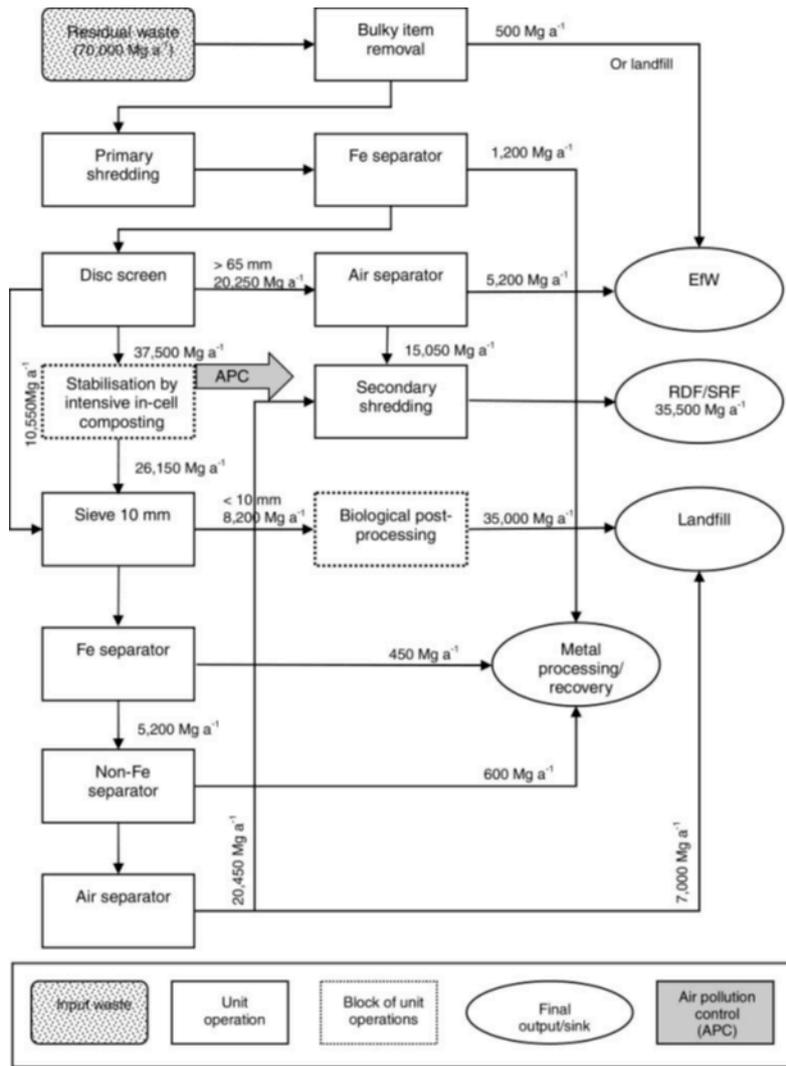


Figura 16 Fluxo e balanço de massa simplificados da planta TMB de biosecagem de Nehlsen em Stralsund, Alemanha<sup>17</sup>

### **3 Tecnologias de Gaseificação e resíduos sólidos**

Os processos WTE chamados “gaseificação” são na verdade uma combinação de oxidação parcial e volatilização dos compostos orgânicos contidos. Gaseificação em um primeiro forno é seguida pela combustão dos gases voláteis e geração de vapor em um segundo forno, ou pelo uso do gás sintético (“syngas”) em um motor ou turbina. O Japão é o maior usuário da gaseificação de RSU no mundo. Como visto, a principal tecnologia usada é a queima direta do RSU bruto em grelha, mas há acima de cem plantas de tratamento térmico baseado em processos relativamente novos como redução direta (JFE, Nippon Steel), o processo de fluidização Ebara, e o processo gaseificação e derretimento Thermoselect. Estes processos têm emissões tão baixas quanto o processo WTE de combustão, e produzem uma cinza vitrificada que pode ser usada como um benefício, ao invés de ir para aterros.

O transporte de RSU bruto (“como coletado”) de um município para outro não é permitido. Como resultado, as instalações de combustão em grelha são relativamente pequenas. Além disso, todas as plantas WTE são requeridas a vitrificar sua cinza após a combustão, por meio de forno elétrico, derretimento por plasma ou outro método. Essas normas permitem a introdução de tratamentos térmicos que seriam considerados inviáveis economicamente em outros países desenvolvidos.

#### **3.1 O processo JFE de redução direta**

O reator JFE de Redução Direta assemelha-se a um pequeno alto forno siderúrgico onde o material de alimentação entra pelo topo de um poço vertical (Figura 17). Várias plantas de Redução Direta foram construídas pela JFE e também, em uma versão similar, pela Nippon Steel. O RSU é triturado e convertido para RDF, com secagem da fração orgânica em um forno rotativo, e extrusão do produto resultante, sob pressão, em partículas cilíndricas de 20 mm de comprimento por 15 mm de diâmetro. O material produzido em várias instalações de RDF é então transportado para uma planta regional de Redução Direta onde ele é incinerado e a energia é recuperada. Por exemplo, a planta de Redução Direta de Fukuyama é suprida por sete instalações de RDF localizadas em municípios servidos pela planta de RD (Redução Direta ou DS para “Direct Smelting”, em inglês).

O RDF é suprido por meio de um alimentador do tipo parafuso no topo do forno. À medida que a carga desce pelo forno ela é gaseificada e seus componentes inorgânicos são derretidos em escória e metal, que são retirados na base do poço. O gás produzido é queimado em uma caldeira anexa para a geração de energia elétrica em uma usina a vapor, o mesmo que em uma usina WTE convencional.

Ar é introduzido no forno através de volutas primárias, secundárias e terciárias localizadas ao longo da extensão vertical do poço do forno. O ar primário, próximo à base do poço, é enriquecido para um conteúdo de oxigênio de 30% de modo a gerar as altas temperaturas necessárias para derretimento de escória e metais na base do forno.

A combinação RDF-DS pode lidar com até 65% de água no RSU (a faixa usualmente permissível é 40 a 50%), o que no forno de secagem é reduzido para 5 a 6 %. O processo requer a adição de coque (em torno de 5% do RDF), que é adicionado ao RDF no topo do poço do forno assim como cal suficiente para a formação de uma escória fluida na base do forno. O processo JFE produz glóbulos de escória e metal (10% do RDF), que são recuperados como benefício, e cinza em particulada (2% do RDF), que contém metais voláteis e é aterrada. Os fluxos de escória e metais do forno são apagados em um tanque d'água para a formação de partículas esféricas de metal e escória. O cobre da fração metálica é aparentemente muito alto para que esta seja usada na fabricação de aço e baixo demais para ser usado na fundição de cobre; sua principal aplicação é como contrapeso em guindastes e outras aplicações como lastro.

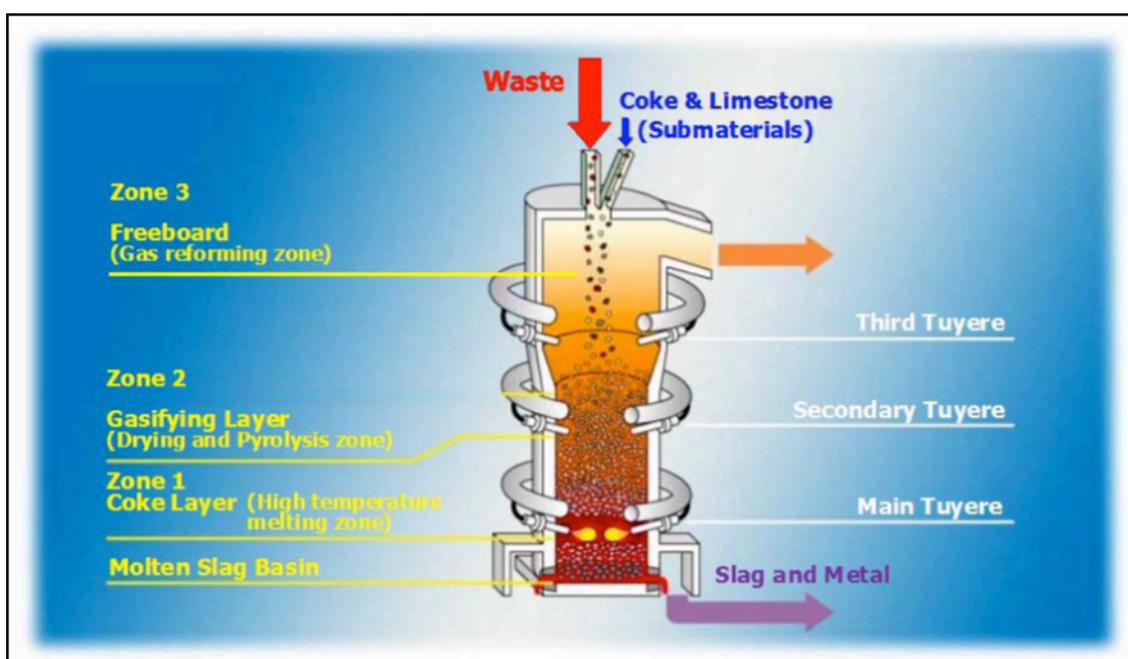


Figura 17 O processo JFE de redução direta<sup>i</sup>

### 3.2 O processo Energos de Combustão em Grelha e Gaseificação

A tecnologia Energos de combustão em grelha e gaseificação está atualmente em operação em seis plantas na Noruega, uma na Alemanha, e uma no Reino Unido. Energos é parte do grupo ENER-G, com sede próxima a Manchester, RU. Esta tecnologia foi desenvolvida na Noruega nos anos 90, para prover uma alternativa econômica às plantas WTE com combustão em grelha com emissões atmosféricas igualmente baixas e flexibilidade de alimentação. Todas as plantas em operação tratam RSU juntamente com fluxos adicionais de resíduos industriais ou comerciais<sup>20,21</sup>. A capacidade das plantas em operação varia em capacidade de 10 mil a 78 mil toneladas por ano<sup>22</sup>.

A carga de entrada de uma planta Energos é RSU pós-reciclagem misturado com uma quantidade menor de outros fluxos de resíduos. Aí se incluem resíduos industriais e resíduos de unidade de recuperação de materiais (“material recovery facilities” ou MRF, em inglês). Antes do tratamento térmico os materiais são triturados em um triturador de baixa velocidade e alto torque e então metais ferrosos são removidos magneticamente<sup>20, 23</sup>. Na primeira câmara do processo Energos a carga é parcialmente oxidada e gaseificada em uma grelha móvel em condições sub-estequiométricas de oxigênio (relação ar/combustível,  $\lambda = 0,5$  a  $0,8$ ); a combustão do carbono fixo na grelha resulta em carbono orgânico total (“total organic carbon” ou TOC, em inglês) menor que 3% na cinza do processo WTE<sup>20, 21</sup>. Os gases voláteis gerados na câmara de gaseificação são então queimados completamente em uma câmara anexa e o calor dos gases de combustão é transferido para o vapor em um sistema de recuperação de calor. As temperaturas atingem até 900°C na câmara de gaseificação e até 1000 °C na câmara de oxidação. A formação de NOx é mantida relativamente baixa (a aproximadamente 25% do limite da União Europeia)<sup>24</sup>, quaisquer dioxinas na carga são destruídas na câmara de combustão e o rápido resfriamento obtido no gerador de vapor com recuperação de calor minimiza a formação de dioxinas. Um diagrama esquemático do gaseificador e da câmara de combustão são mostrados na Figura 18.

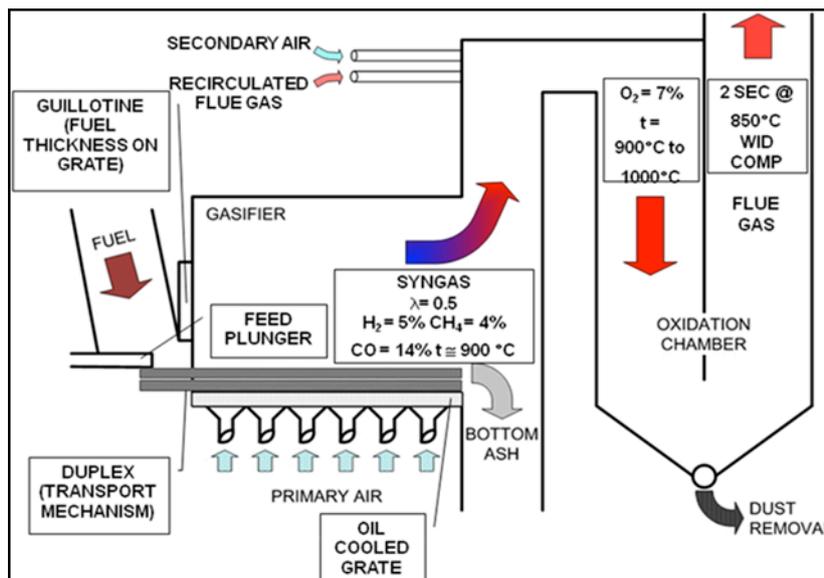


Figura 18 O gaseificador e a unidade de combustão da Energos<sup>20,21</sup>

Após o gerador de vapor (Figura 19), o gás quente e inerte entra no sistema de lavagem de gás a seco que consiste de injeção de cal com carvão ativado, um filtro de mangas e um silo de recolhimento de pó<sup>24</sup>. A cal absorve compostos ácidos do gás quente e o carvão ativado adsorve as moléculas de metais pesados<sup>25</sup>. As emissões são monitoradas continuamente. A Tabela 1 mostra medições de emissões típicas na planta de Averoy da Energos, na Noruega. Essas medições foram feitas por uma agência independente (TUV NORD Umweltschztz) para a Agência Ambiental Norueguesa e são referenciadas a 11% de oxigênio.

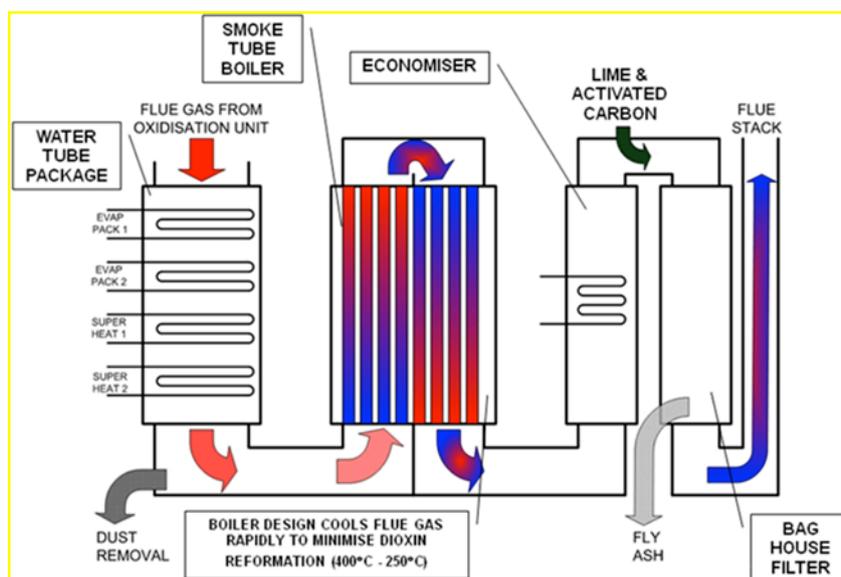


Figura 19 As unidades de recuperação de calor e Controle de poluição Atmosférica da Energos<sup>20,21</sup>

Tabela 1 Emissões da Planta Averoy (a 11% de O<sub>2</sub>)<sup>21</sup>

Parâmetro	Limites União Europeia, mg/Nm <sup>3</sup>	Energos, Averoy
Material particulado	10	0,24
Hg	0,05	0,00327
Cd+Ti	0,05	0,00002
Metais	0,5	0,00256
CO	50	2
HF	1	0,02
HCl	10	3,6
Carbono orgânico total (TOC)	10	0,2
NO <sub>x</sub>	200	42
NH <sub>3</sub>	10	0,3
SO <sub>2</sub>	50	19,8
Dioxinas, ng/Nm <sup>3</sup> TEQ	0,1	0,001

A disponibilidade relatada das plantas Energos é de aproximadamente 90% (8.000 horas por ano)<sup>21</sup>. A carga de alimentação, capacidade anual e outras informações sobre as sete plantas em operação são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 Parâmetros operacionais das plantas Energos<sup>20,22,25</sup>

Local da planta (ano de partida)	Carga	Capacidade anual, t (número de linhas)	Área aproximada do sítio*, m <sup>2</sup>	Energia térmica produzida (MWh/ano)	MWh por t	Investimento de capital, milhões de US\$ <sup>2</sup>	Investimento por tonelada de capacidade anual <sup>2</sup>
Ranheim, Noruega (1997)	Refugo de plantas de papel + vários resíduos comerciais	10.000 (1)	N.A.	25.000	2,5	14	US\$ 1.350
Averoy, Noruega – Região Normore (2000)	RSU + vários resíduos comerciais	30.000 (1)	6.000	69.000	2,3	31	US\$ 1.033

<b>Hurum, Noruega (2001)</b>	RSU + resíduos comerciais do aeroporto + refugos de papel	39.000 (1)	6.000	105.000	2,7	26	US\$ 657
<b>Minden, Noruega (2001)</b>	RSU + RDF (resíduos de papel e plástico)	39.000 (1)	6.000	105.000	2,7	26	US\$ 673
<b>Forus, Noruega – Região de Stavanger (2002)</b>	RSU pós-reciclado (18.000 t) + resíduos industriais (21.000 t)	39.000 (1)	6.000	105.000	2,7	32	US\$ 825
<b>Sarpsborg #1, Noruega (2002)</b>	RSU + resíduos comerciais	78.000 (2)	9.000	210.000	2,7	41	US\$ 525
<b>Sarpsborg #2, Noruega (2010)</b>	RSU + resíduos comerciais	78.000 (2)	9.000	256.000	3,3	41**	US\$ 525
<p>* Área do sítio foi estimada com base nos seguintes dados providos pela Energos: Área de um sítio com Linha Simples é de 6.000 metros quadrados e com Linha Dupla é de 9.000 metros quadrados.  ** O capital de investimento na planta Sarpsborg #2 foi assumido como sendo igual ao de Sarpsborg #1</p>							

Ao longo dos anos, as plantas Energos registraram o tratamento de mais de 1,8 milhões de toneladas de resíduos pós-reciclagem e a produção de 3.800 GWh de energia, principalmente térmica. Estas plantas entregam calor para aquecimento distrital para as comunidades às quais pertencem, assim como vapor para indústrias locais, incluindo plantas químicas, farmacêuticas, de papel e de alimentos<sup>26</sup>. Por exemplo, a planta Forus que atende Stavanger, na Noruega, é um sistema de energia e calor combinados (“combined heat and power”, CHP em inglês); em períodos de baixa demanda por calor o vapor é usado para produzir eletricidade que é vendida para a rede.

Como mostrado na Tabela 2, estas plantas variam de uma capacidade anual de 10.000 a 78.000 toneladas. Como é de se esperar, as plantas menores são mais custosas para se construir, em termos de custo por tonelada anual de capacidade. A planta de Sparsborg, com capacidade de 70.000 t por ano, teve custo, segundo a Energos, de US\$ 525 por tonelada anual de capacidade, o que fica na faixa mais baixa do custo de capital de plantas de combustão em grelha muito maiores (aproximadamente US\$ 600 por tonelada de capacidade anual). No extremo das plantas de baixa capacidade anual, a planta de Averoy tem custo aproximado de US\$ 1.000 por tonelada de capacidade anual.

### 3.3 O processo de leito fluidizado da Ebara

O processo Ebara (Figura 20) consiste de uma combustão parcial de RSU desensacado e triturado em um reator de leito fluidizado seguido por um segundo forno onde o gás produzido no reator de leito fluidizado é queimado, com a geração de temperaturas de até 1.350 °C, de modo que a cinza é vitrificada na forma de escória. Não há enriquecimento com oxigênio. A maior aplicação do processo Ebara é uma planta de três linhas na Espanha, com 900 t de capacidade diária.

A cinza que flui por o leito fluidizado é separada da areia usada no reator para fluidização. A separação é feita por meio de uma peneira vibratória inclinada com aberturas de 3 a 4 mm, através da quais partículas de areia podem passar e que contém as partículas de metal e vidro. Cinza de fundo no Japão não pode ser usada em aplicações tais como construção de estradas e, portanto, deve ser derretida para formar escória, que é o produto final sólido e pode ser usado na construção. A planta espanhola do processo Ebara produz um valor líquido de 560 kWh por tonelada de RDF.

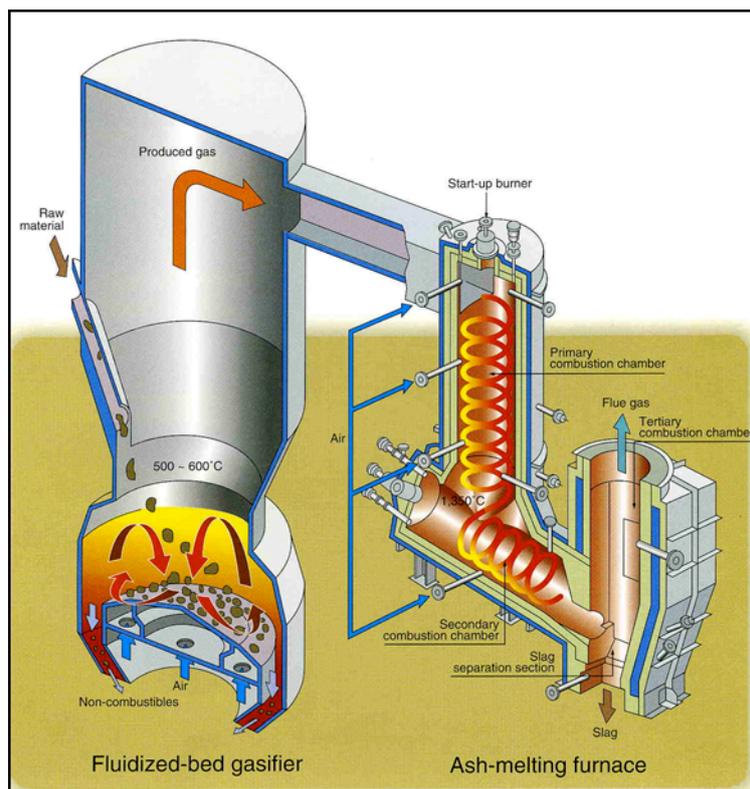
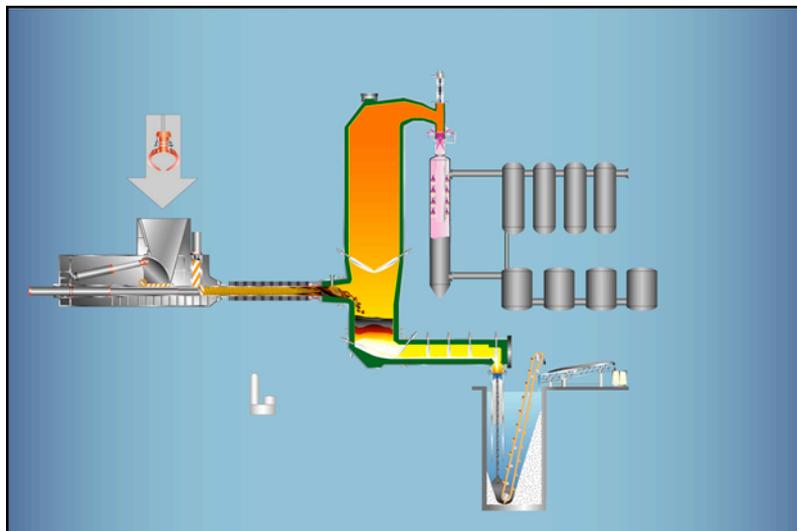


Figura 20 O processo de gaseificação em leito fluido da Ebara <sup>i</sup>

### 3.4 O processo de gaseificação e derretimento da Thermoselect

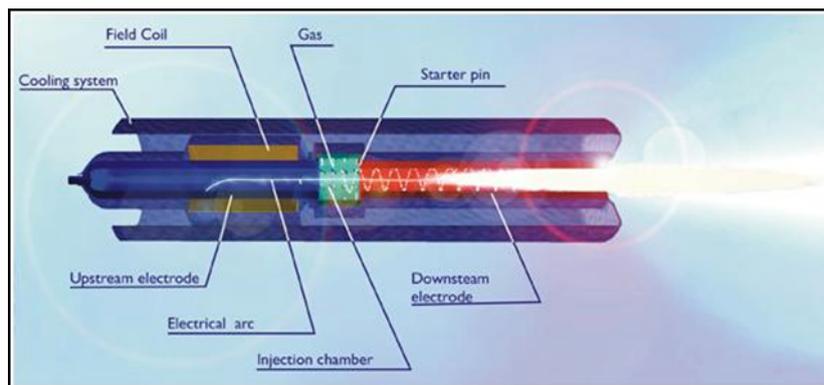
A companhia siderúrgica JFE do Japão opera muitas plantas, entre os tipos de grelha de combustão até as de Redução Direta, cujo processo foi descrito acima, e também sete plantas Thermoselect com capacidade total de 2.000 t/ dia. O gás sintético (“syngas”) produzido no forno Thermoselect (Figura 21) é resfriado e limpo antes do seu uso em turbinas ou motores a gás, para a geração de energia elétrica. A quantidade de gás de processo por tonelada de RSU é muito menor que na combustão convencional em grelha. Entretanto, a limpeza de um gás redutor é mais complexa que de um gás de combustão. Além disso, o processo Thermoselect usa uma parte da eletricidade gerada para a produção de oxigênio, usado para a oxidação parcial e gaseificação do RSU. A expectativa é que o “syngas” possa ser queimado em uma turbina a gás para a geração de energia com uma eficiência térmica muito maior do que é possível em uma planta WTE convencional, usando uma turbina a vapor.



**Figura 21 O processo de gaseificação Thermoselect<sup>i</sup>**

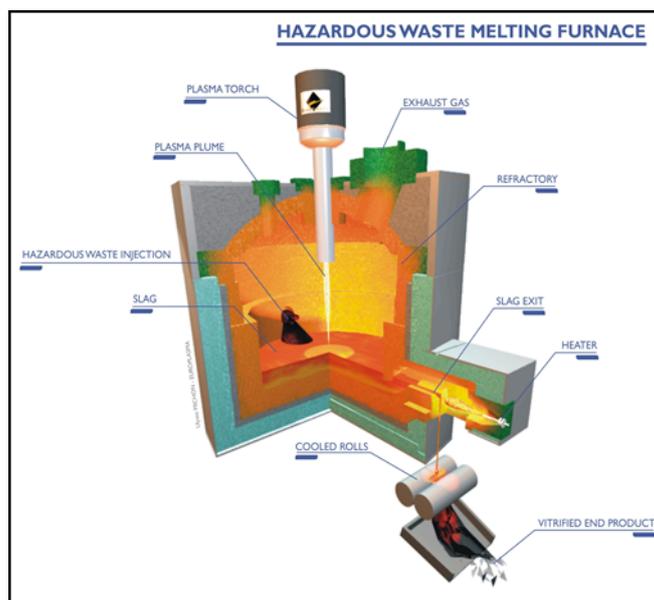
### **3.5 O processo WTE auxiliado por Plasma**

Em anos recentes, tem havido muito interesse na gaseificação auxiliada ou assistida por plasma do RSU. Uma chama de plasma é um mecanismo que transforma a eletricidade em calor através de uma corrente elétrica conduzida por um fluxo de gás (Figura 22).



**Figura 22 A chama de plasma da Europlasma<sup>1</sup>**

Um estudo sobre esta tecnologia foi conduzido pelo Earth Engineering Center – ECC e está disponível na internet<sup>29</sup>. Tecnologia de plasma tem sido usada há muito tempo para a proteção de superfícies (“coating”) e também para a destruição de materiais perigosos, como asbestos (Figura 23).



**Figura 23 O reator para destruição de asbestos da Europlasma<sup>29</sup>**

No caso do processamento do RSU, chamas de plasma são usadas para gaseificar os sólidos, para o craqueamento (quebra de moléculas) dos gases voláteis, e para a vitrificação das cinzas. O “syngas” produzido é queimado em um motor ou turbina a

gás para a produção de eletricidade ou pode ser usado para a produção de combustíveis sintéticos. As tecnologias investigadas no estudo do ECC foram a Westinghouse Plasma, propriedade de Alter NRG, Plasco Energy Group, Europlasma, e o processo InEnTec da Waste Management Inc. A vantagem principal sobre a combustão em grelha é a redução dramática no fluxo de gás de processo, de até 75%. Além disso, a atmosfera redutora no processo de gaseificação deve resultar em menores reduções de  $\text{NO}_x$  que no processo de combustão em grelha. Entretanto, este estudo mostrou que o custo de capital por tonelada de capacidade era da mesma magnitude que no processo de grelha de combustão. Devido ao uso de eletricidade para a gaseificação em altas temperaturas, espera-se que a produção de energia por tonelada de carga de RSU não será maior que no processo de grelha de combustão. Por exemplo, o processo de gaseificação Alter NRG (Figura 24) tem a expectativa de geração próxima a 0,6 MWh/t de RSU.

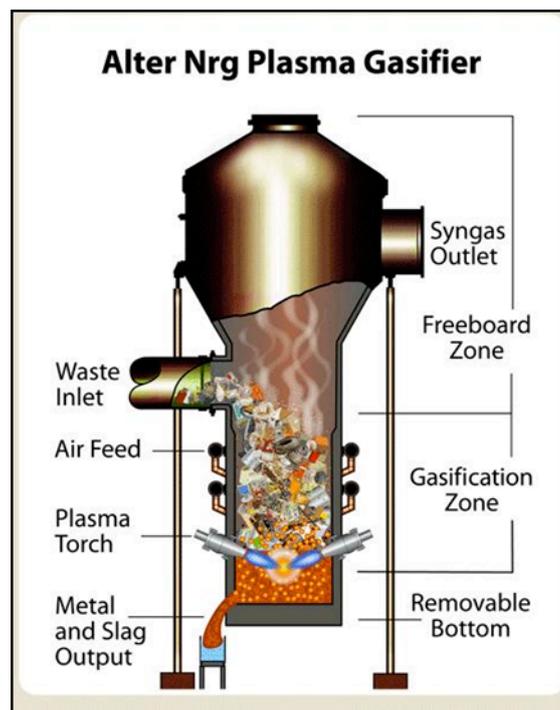


Figura 24 O gaseificador a plasma Alter NRG <sup>29</sup>

### 3.6 Pirólise

Pirólise é o tratamento térmico de resíduos com o uso apenas de uma fonte externa, ou seja, sem nenhuma combustão significativa de resíduos. Portanto, ela requer um investimento inicial muito maior eletricidade que a gaseificação, onde parte do calor necessário para a gaseificação provém da combustão parcial dos resíduos. Devido a

este fator, a pirólise não é apropriada e não tem sido aplicada em uma escala industrial para o processamento de RSU que, como dito antes neste documento, contém aproximadamente 2,8 MWh de energia química por tonelada de material. Entretanto, a pirólise pode ser aplicada para resíduos de plásticos separados na fonte, que contém aproximadamente 8 MWh de energia química por tonelada; portanto, uma parte desta energia pode ser gasta para a pirólise dos resíduos. Atualmente, a maior parte dos plásticos (90% nos EUA) não é reciclada devido a razões práticas; ao invés de serem aterrados eles poderiam ser queimados ou submetidos à pirólise.

Vários processos para a pirólise de resíduos de plásticos foram investigados pelo ECC para a Associação de Embalagens Flexíveis da América (Flexible Packaging Association of America – FPA<sup>7</sup>) e alguns provaram ser técnica e economicamente viáveis. Entretanto, esses processos não são apropriados para RSU misto e não serão discutidos adicionalmente neste documento.

### 3.7 Aplicação de vários processos WTE no Japão

Pode-se ver pelas discussões acima que o Japão tem sido líder no desenvolvimento e implantação de novas e tradicionais tecnologias de tratamento térmico. Este país gera aproximadamente 65 milhões de RSU, trata termicamente 40 milhões, e recicla o resto. A Tabela 3 foi preparada para o Guia IDB e lista todos os tipos de tecnologias WTE usadas no Japão. Pode-se ver que apesar da abundância de outras tecnologias, 84% dos 37,8 milhões de toneladas de RSU listadas na Tabela 3 são processadas em plantas de grela de combustão.

**Tabela 3 Tecnologias de tratamento térmico usadas no Japão**

	Número de plantas	Todas as plantas, t/dia	Média de t/dia por planta	Percentual da capacidade WTE do Japão
<b>Grelha de ação reversa Martin (66 plantas)*</b>	66	71.500	1.083	62%
<b>Grelha Volund JFE (grelha mecânica); (54 plantas)*</b>	54	10.100	187	9%
<b>Grelha horizontal Martin (14 plantas)*</b>	14	7.454	532	7%
<b>Redução direta Nippon Steel (28 plantas)</b>	28	6.200	221	5%
<b>Hyper Grate JFE (grelha mecânica; 17 plantas)*</b>	17	4.700	276	4%
<b>Forno rotativo (15 plantas)</b>	15	2.500	167	2%
<b>Thermoselect JFE (gaseificação; 7 plantas)</b>	7	1.980	283	2%
<b>Todos os outros sistemas de leito fluido (15 plantas)</b>	15	1.800	120	2%
<b>Leito fluido Ebara (8</b>	8	1.700	213	1%

<i>plantas)</i>				
<i>Redução direta JFE (forno de poço; 14 plantas)</i>	14	1.700	121	1%
<i>Leito fluido Zosen Hitachi (8 plantas)</i>	8	1.380	173	1%
<i>Leito fluido JFE (lodo de esgoto e RSU; 9 plantas)</i>	9	1.300	144	1%
<i>Todos os outros sistemas redução direta (9 plantas)</i>	9	900	100	1%
<i>Fisia Babcock (2 do tipo grelha direta, 1 do tipo grelha rolante)*</i>	3	710	237	1%
<i>Grelha resfriada a ar Babcock &amp; Wilcox (43)*</i>	43	690	16	1%
<b>Total</b>	<b>310</b>	<b>114.614</b>		<b>100%</b>
<b>Total de toneladas /ano</b>		<b>37.822.620</b>		
<b>% do total de RSU para as plantas de grelha de combustão</b>				<b>84%</b>

*\* Plantas do tipo grelha de combustão*

*Para finalizar a seção sobre gaseificação, deve-se notar que frequentemente é assumido que o processo de gaseificação vai encontrar menos resistência de grupos ambientais que se opõem à “incineração”, ou seja, combustão em grelha com recuperação de energia. Na verdade, em passado recente, os mesmos grupos se opuseram à gaseificação, a qual eles denominam de “combustão disfarçada”.*

### **3.8 Comparação preliminar de opções de WTE**

*A seleção de uma opção ótima de sistema de gestão e, em nosso caso, da opção ótima de WTE depende pesadamente das características de área de interesse, em termos de quantidade e características dos resíduos, demandas e preços de energia, disponibilidade de financiamento, etc.*

*Em todo caso uma avaliação preliminar e qualitativa das alternativas de tecnologia WTE é apresentada abaixo para ser usada com uma regra geral ao se examinar as possibilidades de implantação de um sistema WTE.*

*Para este propósito, a metodologia de análise SWOT (Strengths – Weaknesses – Opportunities – Threats, ou em português Forças-Fraquezas-Oportunidades-Ameaças) é usada para uma avaliação comparativa da alternativa de tecnologia WTE, usando-se os seguintes critérios:*

- *Critérios técnicos*

- *Habilidade de tratamento de várias cadeias de resíduos – especificações do resíduo a ser tratado - requerimentos de pré-tratamento – requerimentos em relação à gestão de resíduos a montante da cadeia*
- *Quantidade de energia a ser recuperada*
- *Referências em nível internacional*
- *Riscos de implantação*
- *Critérios ambientais*
  - *Emissões atmosféricas esperadas*
  - *Contribuição para a redução do aquecimento global*
  - *Geração de efluentes*
  - *Geração de resíduos sólidos perigosos*
- *Critérios sociais*
  - *Aceitação pelos cidadãos/autoridades*
- *Critérios financeiros*
  - *Custo de investimento*
  - *Custo de operação*
  - *Receitas*
  - *Taxa de despejo esperada*

*Nota-se que a lista de critérios citada acima não é exaustiva e se refere explicitamente à comparação de alternativas de plantas WTE. A lista de critérios deve ser em todo caso adaptada (por exemplo, critérios adicionais podem ser usados), quando de compararmos alternativas de sistemas de gestão de resíduos, ou tecnologias que voltadas a diferentes produtos secundários (por exemplo, TMB ou usinas de reciclagem).*

*Com base nos critérios, as tecnologias básicas são avaliadas, quais sejam:*

- *Incineração convencional de resíduos*
- *Gaseificação*
- *Pirólise*
- *Plasma*

*Os resultados básicos desta avaliação para cada grupo de critérios são apresentados na tabela a seguir.*

**Tabela 4 Análise SWOT das alternativas de tecnologia WTE**

	<b>Força</b>	<b>Fraqueza</b>	<b>Oportunidade</b>	<b>Ameaça</b>
<b>CRITÉRIO TÉCNICO</b>				
<i>Incineração</i>	<i>Pode tratar</i>	<i>Cadeias de</i>	<i>Pode ser usada para</i>	<i>Uma possível</i>

	<i>múltiplas cadeias de resíduos, sem grandes requerimentos em termos de qualidade da entrada, exceto a redução da umidade. Gera significativa quantidade de energia. Tecnologia amplamente referenciada e implantada, com know-how bem desenvolvido para construção e operação.</i>	<i>resíduos de baixo poder calorífico reduzem a eficiência da planta. Quantidades menores de energia em comparação a outras tecnologias.</i>	<i>o tratamento de resíduos perigoso/contaminado. Eficiência é aumentada quando se aproveita o calor gerado.</i>	<i>redução significativa de entrada de resíduos pode gerar problemas técnicos. Plantas industriais intensivas em energia (por exemplo, plantas de cimento ou usinas termelétricas) são competidores para o uso dos resíduos.</i>
<i>Gaseificação</i>	<i>Pode tratar múltiplas cadeias de resíduos. Gera significativa quantidade de energia, maior que outras tecnologias. Mais referências que outras tecnologias não convencionais. Know-how relativamente desenvolvido.</i>	<i>Não há experiência em larga escala com RSU. Problemática quando trata resíduo com alta umidade (lodo de esgoto)</i>	<i>Espera-se desenvolvimento adicional no futuro – tem se desenvolvido com rapidez recentemente.</i>	<i>Mudanças significativas no poder calorífico/composição do resíduo afeta a eficiência. O surgimento de limitações técnicas não foi inicialmente considerado. Plantas industriais intensivas em energia (por exemplo, plantas de cimento ou usinas termelétricas) são competidores para o uso dos resíduos.</i>
<i>Pirólise</i>	<i>Pode tratar múltiplas cadeias de resíduos. Gera significativa quantidade de energia. Bem desenvolvida para cadeias especiais de resíduos (por exemplo, pneus).</i>	<i>Tecnologia emergente especialmente em relação ao RSU, para o qual não existe nenhuma experiência de larga escala. Requer etapas de pré-tratamento (por exemplo, trituração, triagem). Problemática quando trata resíduos com alta</i>	<i>Mais facilmente implantado para pequenas quantidades de resíduos. Espera-se avanço no desenvolvimento no futuro.</i>	<i>O surgimento de limitações técnicas não foi inicialmente considerado. Plantas industriais intensivas em energia (por exemplo, plantas de cimento ou usinas termelétricas) são competidores para o uso dos resíduos.</i>

		<i>umidade (lodo de esgoto). Produz menos energia quando comparada com outras tecnologias. Há relativamente pouca experiência quanto à operação e resultados deste processo. Incertezas quanto à eficiência e limitações técnicas.</i>		
<i>Plasma</i>	<i>Tem o menor requerimento de pré-tratamento em relação ao resíduo de entrada. Gera quantidades significativas de energia, maior que outras tecnologias.</i>	<i>É a tecnologia menos desenvolvida e implantada, especialmente em relação ao RSU. Baixo nível de experiência globalmente. Incertezas quanto à eficiência e limitações técnicas. Alto uso de energia.</i>	<i>Pode possivelmente tratar múltiplas cadeias de resíduos.</i>	<i>O alto custo pode restringir seu desenvolvimento adicional. O surgimento de limitações técnicas não foi inicialmente considerado. Plantas industriais intensivas em energia (por exemplo, plantas de cimento ou usinas termelétricas) são competidores para o uso dos resíduos.</i>
<b>CRITÉRIO AMBIENTAL</b>				
<i>Incineração</i>	<i>Existem sistemas modernos de redução de emissões atmosféricas e tratamento de efluentes. Significante contribuição para redução do aquecimento global pela produção de energia de combustíveis não fósseis.</i>	<i>Emissões atmosféricas significativas, que devem ser controladas. Grande quantidade de efluentes, que precisam ser tratados. Geração de resíduos sólidos perigosos que devem ser descartados.</i>	<i>A performance ambiental é sensivelmente melhorada quando a energia térmica é também aproveitada.</i>	<i>A gestão dos resíduos perigosos é problemática e aumenta os custos operacionais. Mesmo a cinza de fundo da caldeira pode ser perigosa.</i>
<i>Gaseificação</i>	<i>Menos emissões (atmosféricas e efluentes) em comparação com</i>	<i>Geração de resíduos sólidos perigosos que devem ser</i>		<i>A gestão dos resíduos perigosos é problemática e aumenta os</i>

	<i>a incineração. Significante contribuição para redução do aquecimento global pela produção de energia de combustíveis não fósseis.</i>	<i>descartados.</i>		<i>custos operacionais. Mesmo resíduos inicialmente considerados não perigosos podem vir a ser, de fato, perigosos.</i>
<i>Pirólise</i>	<i>Menos emissões (atmosféricas e efluentes) em comparação com a incineração. Significante contribuição para redução do aquecimento global pela produção de energia de combustíveis não fósseis.</i>	<i>Geração de resíduos sólidos perigosos que devem ser descartados.</i>		<i>A gestão dos resíduos perigosos é problemática e aumenta os custos operacionais. Mesmo resíduos inicialmente considerados não perigosos podem vir a ser, de fato, perigosos.</i>
<i>Plasma</i>	<i>Menos emissões (atmosféricas e efluentes) em comparação com a incineração. Significante contribuição para redução do aquecimento global pela produção de energia de combustíveis não fósseis. Geração de resíduos inertes.</i>	<i>Como a tecnologia não foi implantada em larga escala, pode haver efeitos ambientais ainda não conhecidos.</i>		<i>As emissões atmosféricas reduzidas não são totalmente provadas e atestadas.</i>
<b>CRITÉRIO SOCIAL</b>				
<i>Incineração</i>	<i>Autoridades estão começando a considerar WTE uma solução alternativa para o tratamento de resíduos, especialmente para áreas altamente urbanizadas e megacidades</i>	<i>Percepção relativamente negativa dos cidadãos Atitude problemática dos recicladores do setor informal</i>	<i>A percepção social negativa sobre o WTE parece estar mudando internacionalmente, especialmente quando associada aos benefícios para as mudanças climáticas</i>	<i>Outas partes interessadas envolvidas com a gestão de resíduos, inclusive indústrias que usam resíduos podem reagir à implantação de WTE O desenvolvimento de novas tecnologias WTE alardeadas como sendo</i>

				<i>“tecnologias limpas” pode afetar o nível de aceitação da incineração</i>
<i>Gaseificação</i>	<i>Autoridades estão começando a considerar WTE uma solução alternativa para o tratamento de resíduos – entretanto sua falta de referências comerciais é ainda um problema</i>	<i>Relutância em aceitar devido ao fato de que é uma tecnologia relativamente nova</i>	<i>A percepção social negativa sobre o WTE parece estar mudando internacionalmente</i>	<i>Na percepção dos cidadãos esta tecnologia é similar à incineração</i>
<i>Pirólise</i>	<i>Autoridades estão começando a considerar WTE uma solução alternativa para o tratamento de resíduos – entretanto sua falta de referências comerciais é ainda um problema</i>	<i>Relutância em aceitar devido ao fato de que é uma tecnologia relativamente nova</i>	<i>A percepção social negativa sobre o WTE parece estar mudando internacionalmente</i>	<i>Na percepção dos cidadãos esta tecnologia é similar à incineração</i>
<i>Plasma</i>		<i>Relutância em aceitar devido ao fato de que é uma tecnologia relativamente nova</i>	<i>É divulgada como sendo a tecnologia “mais limpa” A percepção social negativa sobre o WTE parece estar mudando internacionalmente</i>	<i>Na percepção dos cidadãos esta tecnologia é similar à incineração</i>
<b>CRITÉRIOS FINANCEIROS*</b>				
<i>Incineração</i>	<i>Investimento unitário menor e custos de operação comparáveis com outras tecnologias Esperam-se receitas com a venda de energia</i>	<i>Os custos de investimento parecem sempre altos comparados a outras alternativas, como aterros e MBT</i>	<i>Os benefícios são maximizados se a alocação do sítio permite custos reduzidos de coleta A utilização de energia térmica aumenta receitas e viabilidade Espera-se aumento de receitas no caso de parte do resíduo ser considerado renovável O alto nível de competição entre as tecnologias pode</i>	<i>Muito sensível a significativas reduções na quantidade de resíduos</i>

			<i>diminuir os custos de investimento</i>	
<i>Gaseificação</i>	<i>Esperam-se receitas com a venda de energia</i>	<i>Custos muito altos de investimento e operação, resultando em altas taxas de despejo</i>	<i>Espera-se aumento de receitas no caso de parte do resíduo ser considerado renovável</i>	
<i>Pirólise</i>	<i>Esperam-se receitas com a venda de energia</i>	<i>Custos muito altos de investimento e operação, resultando em altas taxas de despejo</i>	<i>Como não há unidades operando em larga escala para RSU, o custo de investimento pode ser menor. Espera-se aumento de receitas no caso de parte do resíduo ser considerado renovável e sejam aplicadas políticas que promovam produção de energia renovável</i>	
<i>Plasma</i>	<i>Esperam-se altas receitas com a venda de energia</i>	<i>Tem o custo mais alta de investimento e operação, resultando em altas taxas de despejo</i>	<i>Como não há unidades operando em larga escala para RSU, o custo de investimento pode ser menor. Espera-se aumento de receitas no caso de parte do resíduo ser considerado renovável e sejam aplicadas políticas que promovam produção de energia renovável</i>	

*\*As questões acerca de financiamento de plantas WTE são mais bem analisadas na seção 5.1 e 5.13*

*Com base nas avaliações acima, as autoridades podem ter uma ideia preliminar dos prós e contras de cada tecnologia e considerando as características específicas da área de interesse, selecionar a solução ótima.*

*Por exemplo:*

- As vantagens da incineração incluem:
 
  - Possibilidade de processar vários tipos de resíduos*
  - Enorme experiência e know how internacional devido ao grande número de plantas já operando**

- Custos menores quando comparado a outras tecnologias WTE
- A significativa quantidade de energia produzida
- O relativo baixo nível de incerteza após sua implantação

*Os principais pontos fracos desta tecnologia são a geração de resíduos perigosos assim como percepção negativa do público em relação à incineração de resíduos*

- *As vantagens da gaseificação incluem:*
  - *A grande quantidade de energia gerada*
  - *O relativo baixo nível de incerteza após sua implantação*
  - *As experiências relativamente aceitáveis e know how internacional devido ao grande número de plantas já operando*
  - *O grande desenvolvimento que apresentou nos últimos anos*

*Os principais pontos fracos desta tecnologia são os custos relativamente mais altos assim como a geração de resíduos perigosos*

- *As vantagens da pirólise incluem:*
  - *A grande quantidade de energia gerada*
  - *O desenvolvimento apresentado em anos recentes, sendo uma tecnologia emergente.*

*O principal ponto fraco desta tecnologia são os significantes requerimentos de pré-tratamento e o baixo nível de experiência internacional de sua operação, especialmente com altas capacidades, o que leva a uma série de incertezas após sua implantação, o custo relativamente alto assim como a geração de resíduos perigosos.*

- *A tecnologia do plasma é muito nova e só muito recentemente foi desenvolvida no tratamento de resíduos, e em baixa escala. O baixo nível de implantação aumenta a incerteza de sua aplicação, especialmente em relação à sua performance (por exemplo, quanto à energia produzida e às emissões atmosféricas). Se, após a sua implantação em larga escala, sua performance provar ser similar à propagada pelos seus fornecedores, então esta tecnologia pode se tornar interessante no futuro, apesar do fato de que seus custos são relativamente altos.*

#### **4 O estado atual da tecnologia WTE**

A tabela 5 sintetiza as tecnologias waste-to-energy apresentadas nas seções prévias juntamente com suas capacidades estimadas e sua localização no globo. O Apêndice 3, na internet ([www.WTErt.org](http://www.WTErt.org) Master list of WTE Plants- Lista Mestra de Plantas WTE), lista acima de 800 plantas operando globalmente; sua capacidade anual total é estimada em 195 milhões de toneladas. Esta lista mostra que 230 novas plantas WTE entraram em operação nos anos 2000 a 2011.

A Tabela 6 mostra 105 plantas que foram construídas desde 2000 ou que estão em construção em 22 países, baseadas em uma das tecnologias de grelha de combustão disponíveis.

*Tabela 5 – Tipo de carga, produção de energia e capacidade total das tecnologias WTE existentes*

<b>Processo WTE</b>	<b>Tipo de carga</b>	<b>Energia</b>	<b>Capacidade anual estimada*, toneladas</b>	<b>Continentes/países onde é aplicada</b>
<b>Combustão em grelha móvel</b>	RSU bruto	Vapor de alta pressão	< 168 milhões	Ásia, Europa, América
<b>Combustão em forno</b>	RSU bruto	Vapor de alta pressão	>2 milhões	Japão, EUA, UE

<b>rotativo</b>				
<b>Processo Answers Energy (SEMASS)</b>	RSU triturado	Vapor de alta pressão	>1 milhão	EUA
<b>RDF em grelha de combustão</b>	RSU triturado e separado	Vapor de alta pressão	>5 milhões	EUA, UE
<b>Leito fluidizado circulante</b>	RSU ou RDF triturado	Vapor de alta pressão	>11 milhões	China, Europa
<b>Leito fluidizado Ebara</b>	RSU ou RDF triturado	Vapor de alta pressão	>0,8 milhões	Portugal, Japão
<b>Leito fluidizado borbulhante</b>	RSU ou RDF triturado	Vapor de alta pressão	>0,2 milhões	EUA
<b>Tratamento Mecânico Biológico (MBT ou BMT)</b>	RSU triturado e submetido à bioreação	RDF para fornos de cimento e termelétricas a carvão	>5 milhões	UE
<b>Processo de redução direta</b>	RDF	Vapor de alta pressão	>0,9 milhões	Japão
<b>Gaseificação Thermostelect</b>	RSU bruto	Syngas (CO, H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> )	>0,8 milhões	Japão
<b>Gaseificação assistida a plasma</b>	REU triturado	Syngas (CO, H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> )	>0,2 milhões	Canadá, Japão, França
<b>Capacidade WTE Global</b>			<b>&lt; 195 milhões</b>	

\* Com base em dados compilados pelo Earth Engineering Center of Columbia University ([Earth@columbia.edu](mailto:Earth@columbia.edu))

**Tabela 6 – Caldeiras WTE construídas desde 2000 usando tecnologias Martin de grelha de combustão**

Ano de partida	País	Nome da planta	Núm. de linhas	Capacidade de processamento (t/ dia)	Capacidade e térmica (MWh/h)
2000	Itália	Busto Arsizio	2	504	61
2000	Japão	Iwaki-Nambu	3	390	53

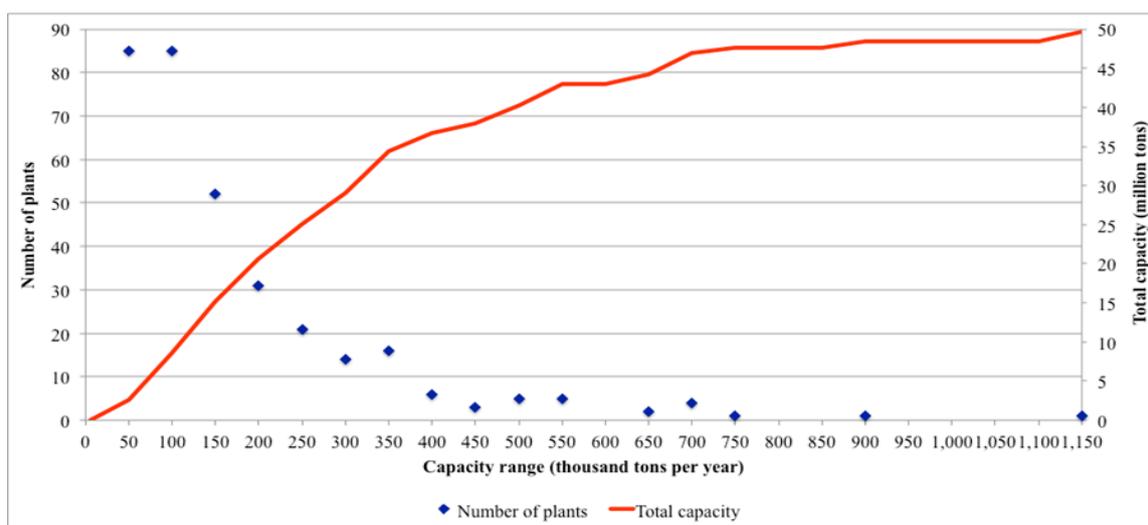
<b>2002</b>	<i>Japão</i>	<i>Tsushima-Yatomi</i>	3	330	48
<b>2000</b>	<i>França</i>	<i>Toulouse</i>	2	547	61
<b>2001</b>	<i>França</i>	<i>Metz</i>	2	384	41
<b>2001</b>	<i>França</i>	<i>Lille</i>	3	1044	111
<b>2004</b>	<i>Japão</i>	<i>Nagoya-Gojougawa</i>	2	560	81
<b>2002</b>	<i>Japão</i>	<i>Koochi</i>	3	600	79
<b>2001</b>	<i>China</i>	<i>Shanghai-Pudong</i>	3	1094	77
<b>2001</b>	<i>Japão</i>	<i>Ryuusen-En</i>	3	317	43
<b>2001</b>	<i>França</i>	<i>Melun</i>	2	384	44
<b>2001</b>	<i>Bélgica</i>	<i>Thumaide</i>	2	768	76
<b>2001</b>	<i>Coréia do Sul</i>	<i>Kang Nam</i>	3	900	87
<b>2001</b>	<i>Coréia do Sul</i>	<i>Jang-Yu</i>	1	199	16
<b>2001</b>	<i>Suíça</i>	<i>Fribourg</i>	1	384	40
<b>2001</b>	<i>Suécia</i>	<i>Göteborg</i>	1	396	45
<b>2003</b>	<i>Japão</i>	<i>Hiroshima-Naka</i>	3	600	78
<b>2002</b>	<i>Japão</i>	<i>Otokuni</i>	1	75	11
<b>2003</b>	<i>Alemanha</i>	<i>Mainz</i>	2	734	89
<b>2002</b>	<i>França</i>	<i>Belfort</i>	2	296	31
<b>2001</b>	<i>Coréia do Sul</i>	<i>Incheon</i>	2	500	56
<b>2001</b>	<i>Coréia do Sul</i>	<i>Guri</i>	2	200	21
<b>2002</b>	<i>Itália</i>	<i>Piacenza</i>	2	360	45
<b>2002</b>	<i>Japão</i>	<i>Tokyo-Itabashi</i>	2	600	84
<b>2002</b>	<i>Eslováquia</i>	<i>Bratislava</i>	2	524	50
<b>2003</b>	<i>Suécia</i>	<i>Malmö</i>	1	600	87
<b>2002</b>	<i>Japão</i>	<i>Hitoyoshi</i>	2	91	10
<b>2004</b>	<i>Áustria</i>	<i>Arnoldstein</i>	1	260	30
<b>2002</b>	<i>Japão</i>	<i>Niihama</i>	3	202	28
<b>2002</b>	<i>França</i>	<i>Villefranche sur Saône</i>	1	156	17
<b>2002</b>	<i>França</i>	<i>Villefranche sur Saône</i>	1	108	12
<b>2002</b>	<i>Reino Unido</i>	<i>Chineham</i>	1	288	31
<b>2004</b>	<i>França</i>	<i>Villers Saint Paul</i>	2	480	53
<b>2003</b>	<i>França</i>	<i>Nîmes</i>	1	336	36
<b>2004</b>	<i>França</i>	<i>Le Havre</i>	2	576	61
<b>2003</b>	<i>Suíça</i>	<i>Monthey</i>	1	291	38
<b>2003</b>	<i>Japão</i>	<i>Tochigi</i>	2	237	34
<b>2005</b>	<i>Japão</i>	<i>Sendai</i>	3	600	86

<b>2004</b>	<i>Taiwan</i>	<i>Taichung-Wujih</i>	2	900	100
<b>2003</b>	<i>França</i>	<i>Toulouse</i>	2	480	54
<b>2004</b>	<i>Espanha</i>	<i>Bilbao</i>	1	720	71
<b>2004</b>	<i>Reino Unido</i>	<i>Marchwood</i>	2	576	61
<b>2004</b>	<i>Rússia</i>	<i>Moscow</i>	1	200	15
<b>2004</b>	<i>Itália</i>	<i>Brescia</i>	1	552	100
<b>2004</b>	<i>Itália</i>	<i>Ill</i>	1	204	22
<b>2004</b>	<i>China</i>	<i>Bing Jiang</i>	3	450	39
<b>2005</b>	<i>Taiwan</i>	<i>Lihster</i>	2	600	67
<b>2005</b>	<i>Áustria</i>	<i>Wels</i>	1	576	80
<b>2004</b>	<i>França</i>	<i>Est Anjou</i>	1	360	35
<b>2005</b>	<i>Japão</i>	<i>Miyazaki</i>	3	579	73
<b>2006</b>	<i>Japão</i>	<i>Kagoshima</i>	2	530	61
<b>2005</b>	<i>China</i>	<i>Tongxing</i>	2	1320	97
<b>2005</b>	<i>Reino Unido</i>	<i>Portsmouth</i>	2	576	61
<b>2005</b>	<i>China</i>	<i>Guangzhou Likeng</i>	2	900	78
<b>2007</b>	<i>Alemanha</i>	<i>Zella-Mehlis</i>	1	518	60
<b>2006</b>	<i>Coréia do Sul</i>	<i>Jeon Ju</i>	2	400	54
<b>2005</b>	<i>Reino Unido</i>	<i>Sheffield</i>	1	672	72
<b>2007</b>	<i>Holanda</i>	<i>Amsterdam</i>	2	1612	187
<b>2006</b>	<i>Taiwan</i>	<i>Miaoli</i>	2	500	56
<b>2005</b>	<i>França</i>	<i>Châlons em Champagne</i>	1	360	35
<b>2007</b>	<i>França</i>	<i>Toulouse</i>	1	240	31
<b>2006</b>	<i>China</i>	<i>Zhongshan</i>	2	700	65
<b>2009</b>	<i>Suíça</i>	<i>Zürich-Hagenholz, 2K1/K3</i>	2	920	96
<b>2009</b>	<i>Suíça</i>	<i>Giubiasco</i>	2	644	67
<b>2007</b>	<i>EUA</i>	<i>Lee County, FL</i>	1	635	69
<b>2006</b>	<i>China</i>	<i>Zhongshan</i>	1	350	32
<b>2007</b>	<i>França</i>	<i>Avignon</i>	1	211	21
<b>2007</b>	<i>França</i>	<i>Bourgoin Jallieu</i>	2	528	64
<b>2007</b>	<i>China</i>	<i>Fuzhou</i>	2	1320	97
<b>2008</b>	<i>Suécia</i>	<i>Malmö</i>	1	696	90
<b>2008</b>	<i>Macao</i>	<i>Macao</i>	3	864	71
<b>2008</b>	<i>França</i>	<i>Marseille</i>	2	960	126
<b>2007</b>	<i>Itália</i>	<i>Pozzilli (ENERGON)</i>	1	322	50
<b>2008</b>	<i>Holanda</i>	<i>Twente-Hengelo</i>	1	792	92
<b>2008</b>	<i>Itália</i>	<i>Padova</i>	1	375	44
<b>2008</b>	<i>Alemanha</i>	<i>Mainz 3</i>	1	427	48

<b>2009</b>	<i>Bélgica</i>	<i>Thumaide</i>	<i>1</i>	<i>317</i>	<i>39</i>
<b>2009</b>	<i>EUA</i>	<i>Hillsborough County, FL</i>	<i>1</i>	<i>544</i>	<i>65</i>
<b>2010</b>	<i>Rep. Tcheca</i>	<i>Brno</i>	<i>2</i>	<i>672</i>	<i>86</i>
<b>2010</b>	<i>Holanda</i>	<i>Dordrecht</i>	<i>1</i>	<i>720</i>	<i>75</i>
<b>2010</b>	<i>Suécia</i>	<i>Göteborg</i>	<i>1</i>	<i>377</i>	<i>44</i>
<b>2009</b>	<i>Reino Unido</i>	<i>Nottingham</i>	<i>2</i>	<i>562</i>	<i>54</i>
<b>2010</b>	<i>China</i>	<i>Baoding</i>	<i>2</i>	<i>1200</i>	<i>97</i>
<b>2010</b>	<i>Reino Unido (Jersey)</i>	<i>Jersey</i>	<i>2</i>	<i>360</i>	<i>38</i>
<b>2012</b>	<i>Suíça</i>	<i>Winterthur</i>	<i>1</i>	<i>324</i>	<i>38</i>
<b>2011</b>	<i>China</i>	<i>Chengdu, Phase II</i>	<i>3</i>	<i>1800</i>	<i>146</i>
<b>2011</b>	<i>China</i>	<i>Foshan Nanhai</i>	<i>3</i>	<i>1500</i>	<i>122</i>
<b>2011</b>	<i>EUA</i>	<i>Honolulu</i>	<i>1</i>	<i>997</i>	<i>106</i>
<b>2011</b>	<i>Bélgica</i>	<i>Thumaide</i>	<i>1</i>	<i>317</i>	<i>39</i>
<b>2012</b>	<i>Suíça</i>	<i>Bern</i>	<i>1</i>	<i>480</i>	<i>57</i>
<b>2011</b>	<i>Coréia do Sul</i>	<i>Arsan</i>	<i>1</i>	<i>200</i>	<i>29</i>
<b>2011</b>	<i>Azerbaijão</i>	<i>Baku</i>	<i>2</i>	<i>1584</i>	<i>156</i>
<b>2011</b>	<i>China</i>	<i>Dongguan</i>	<i>3</i>	<i>1800</i>	<i>146</i>
<b>2011</b>	<i>França</i>	<i>Arques</i>	<i>1</i>	<i>300</i>	<i>33</i>
<b>2012</b>	<i>China</i>	<i>Langfang</i>	<i>2</i>	<i>1000</i>	<i>78</i>
<b>2012</b>	<i>China</i>	<i>Taizhou City</i>	<i>2</i>	<i>1000</i>	<i>75</i>
<b>2012</b>	<i>Itália</i>	<i>Torino</i>	<i>3</i>	<i>1855</i>	<i>206</i>
<b>2012</b>	<i>China</i>	<i>Yuxi</i>	<i>2</i>	<i>400</i>	<i>32</i>
<b>2012</b>	<i>China</i>	<i>Taixing</i>	<i>1</i>	<i>300</i>	<i>24</i>
<b>2012</b>	<i>Itália</i>	<i>Bozen</i>	<i>1</i>	<i>509</i>	<i>59</i>
<b>2012</b>	<i>China</i>	<i>Cangzhou</i>	<i>2</i>	<i>800</i>	<i>65</i>
<b>2013</b>	<i>Suécia</i>	<i>Brista 2</i>	<i>1</i>	<i>864</i>	<i>80</i>
<b>2013</b>	<i>China</i>	<i>Shijiazhuang</i>	<i>2</i>	<i>1000</i>	<i>81</i>
<b>2013</b>	<i>China</i>	<i>Fengsheng</i>	<i>3</i>	<i>1800</i>	<i>146</i>
<b>2013</b>	<i>Dinamarca</i>	<i>Roskilde KN6</i>	<i>1</i>	<i>720</i>	<i>81</i>
<b>2013</b>	<i>Estônia</i>	<i>Tallinn</i>	<i>1</i>	<i>660</i>	<i>80</i>

*Grelha de combustão não é usada apenas em aplicações de larga escala, mas também em pequenas plantas WTE que servem a comunidades tão pequenas como 10.000 habitantes. A Figura 25 é baseada em uma análise de dados de 2004 compilados pela Associação Internacional de Resíduos Sólidos (International Solid Wastes Association – ISWA)<sup>30</sup> para 332 plantas WTE na Europa. As capacidades destas plantas foram*

divididas em segmentos de 0 a 50.000, 50.000 a 100.000 t, etc. e estes resultados são plotados na Figura 25 na forma de número de plantas versus faixa de capacidade. A Figura 25 mostra que 85 plantas (26% do número total pesquisado) têm uma capacidade anual de menos que 50.000 t (aproximadamente menos que 100.000 pessoas atendidas) e um número igual têm uma capacidade anual entre 50.000 e 100.000 t. A capacidade destas 332 plantas foi de cerca de 50 milhões de toneladas de carga (linha sólida na Figura 25).



**Figura 25** Número de plantas versus capacidade de plantas na Europa (ISWA, dados de 2004) (EEC)

É óbvio pela discussão acima e também do Apêndice 3 que a maior parte das plantas WTE existentes e em construção adotaram a tecnologia de grelha de combustão. As razões para a dominância global da tecnologia de grelha de combustão são descritas a seguir:

**Simplicidade de operação:** Grelha de combustão é um processo totalmente automatizado, com a exceção de dois operadores de guias que carregam os silos da fornalha; mesmo esta parte foi automatizada em algumas plantas WTE recentes.

**Alta disponibilidade de planta:** O processo de grelha de combustão foi desenvolvido ao longo de meio século e a experiência industrial acumulada levou a melhorias contínuas dos equipamentos e métodos de operação. Isto, mais a simplicidade de operação, resultou em tempos de indisponibilidade e manutenção relativamente baixos para as plantas de grelha de combustão. Muitos fornecedores de fornalhas de grelha de combustão garantirão mais de 8.000 horas de operação por ano, ou seja, mais de 90% de disponibilidade da planta. Como o retorno do capital é o maior componente de custo por tonelada de RSU processado, este é um fator muito importante e que deveria ser verificado por clientes em potencial, através do exame dos registros de operação de instalações existentes da tecnologia proposta.

**Requerimentos de pessoal e treinamento:** Os dois fatores acima resultaram no fato de que uma planta de grelha de combustão consistindo de três fornos paralelos (linhas), queimando 960 t/ dia cada (40 t/hora/linha) requer uma mão de obra de 60 funcionários em tempo integral. Além disso, a existência de operações do mesmo tipo espalhada por outros países permite facilmente treinar pessoal em países que introduzem o WTE pela primeira vez.

Os fatores acima explicam a dificuldade da introdução de novas tecnologias WTE, especialmente em plantas de alta escala onde o capital de investimento e o risco financeiro são muito altos. Entretanto, a alta disponibilidade das plantas de grelha de combustão se deve em parte ao seu dimensionamento avantajado suas grandes dimensões, com o correspondente custo de capital de plantas WTE, em comparação com termelétricas a carvão, sendo esta disponibilidade relacionada à quantidade material incinerado ou de eletricidade gerada. Portanto, menores custos de capital por tonelada de RSU processado é uma das áreas onde a gaseificação e outras novas tecnologias de tratamento térmico têm a chance de competir com sucesso com a tecnologia de grelha de combustão, o carro-chefe da indústria WTE global.

Tecnologias WTE emergentes alegam menores emissões atmosféricas que a tecnologia de grelha de combustão, mas há a necessidade de dados operacionais reais de tais plantas para embasar tais alegações. O EEC examinou dados operacionais de mais de duzentas plantas de grelha de combustão e eles foram da ordem de 0,02 nanogramas de Toxicidade Equivalente (TEQ) por metro cúbico padrão, o que corresponde a apenas 0,1 grama de dioxinas tóxicas equivalentes emitidas por milhão de toneladas de RSU processado. Plantas de gaseificação podem atingir emissões muito baixas de óxidos de nitrogênio, mas emissões muito baixas de NO<sub>x</sub> podem também ser obtidas em instalações de grelha de combustão que usam redução catalítica seletiva (selective catalytic reduction – SCR) ou o processo Very Low NO<sub>x</sub> (VLN), desenvolvido pela Covanta Energy e Martin GmbH.

Uma vantagem definitiva da gaseificação é a capacidade de vitrificar a cinza e isto explica o grande número de tais plantas no Japão (Tabela 3). Entretanto até no Japão plantas com capacidade acima de 500 t/ dia utilizam fornos de grelha de combustão, suportadas por um segundo forno para a vitrificação das cinzas. Além disso, o processo de combustão em grelha da Syncom usado em Sendai, no Japão, e Arnoldstein, na Áustria, usa ar enriquecido com oxigênio para a produção de uma cinza semi-vitrificada.

Embora a grelha de combustão seja a tecnologia WTE dominante atualmente, novos processos WTE estão constantemente avançando e uma alternativa que seja menos intensiva em capital que a grelha de combustão pode surgir. Portanto recomenda-se

*que licitações para tratamento térmico de RSU incluam tecnologias as mais antigas e as emergentes, contanto que elas atendam aos critérios de desempenho descritos adiante neste Guia.*

## **5 Planejamento e construção de uma planta WTE**

*Este Guia foi preparado especificamente para nações em desenvolvimento onde plantas WTE não foram amplamente implantadas. Plantas WTE requerem um grande investimento e devem ter o menor risco possível. Portanto, as seções seguintes deste Guia são baseadas na aplicação de uma tecnologia amplamente comprovada: Combustão de RSU como em uma grelha móvel, com recuperação de energia.*

### **5.1 Aplicabilidade de plantas WTE**

*Levando em conta que custos de investimento em incineração são entre US\$ 500 a 1.000 / t de resíduo (ou até mesmo US\$ 2.000, como indicado pelo Banco Mundial), e que custos operacionais estão entre €50 e 200 / t, fica claro que tanto custos de investimento e operacionais são uma barreira para a implantação.*

É interessante analisar a implantação de plantas WTE levando-se em conta o PIB de cada país. Para evitar grandes limitações de dados e diferenças entre os países amostrados, 34 países foram usados como uma amostra mais representativa e um gráfico que correlaciona GDP/ capita de 2010 com a queima de resíduos foi feito, e está mostrado abaixo (dados e PIB são do Banco Mundial, dados de incineração são do Eurostat para países da UE e da USEPA para os EUA, e [www.waste-management-world.org](http://www.waste-management-world.org)).

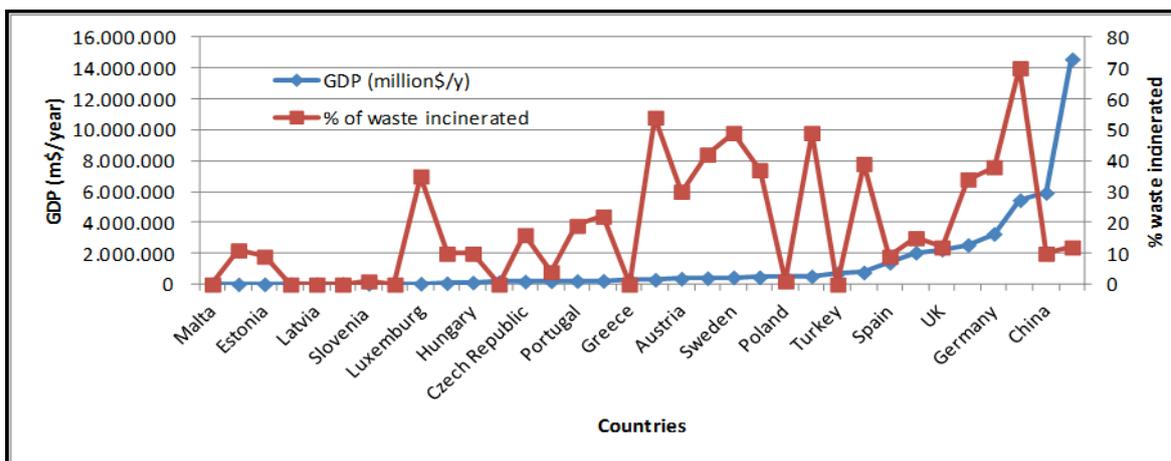


Figura 26 Correlação entre PIB/ano e a implantação da incineração de resíduos (EEC)

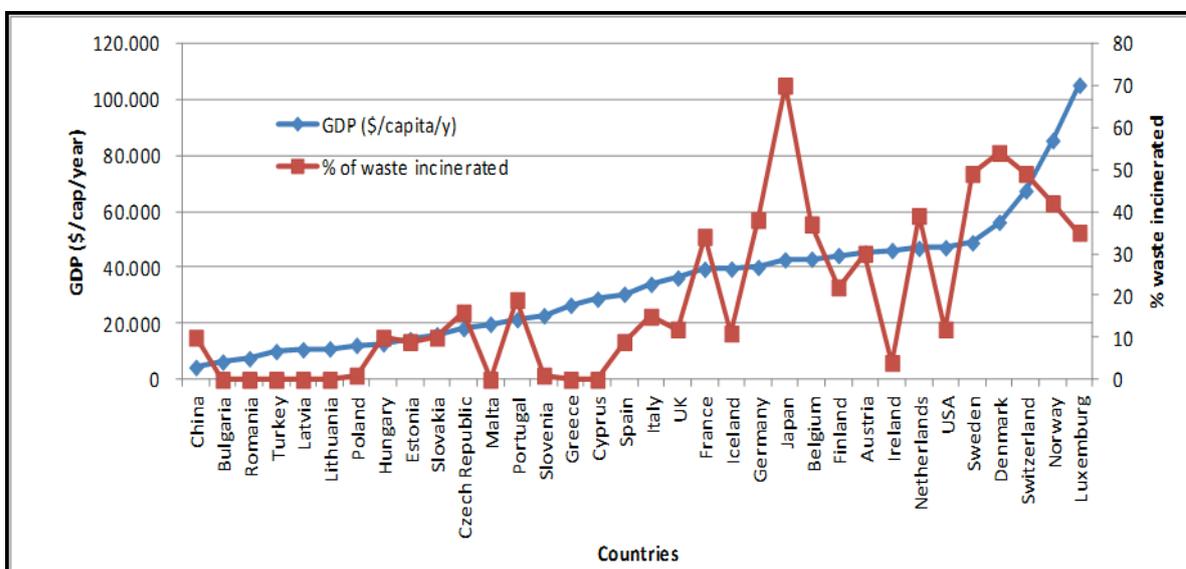


Figura 27 Correlação entre PIB/capita e a implantação da incineração de resíduos (EEC)

É claro, pela figura acima, que há uma correlação positiva entre o crescimento do PIB e a incineração: quanto maior o PIB mais incineração. A princípio há um limite de US\$ 100 bilhões / ano ou US\$ 15.000/ capita / ano de PIB onde a incineração de resíduos foi

implantada por um percentual acima de 10% de resíduos gerados. Esta taxa cresce em países que apresentam PIB mais alto (por exemplo, EUA, Alemanha, Dinamarca, etc.).

O papel do PIB, como ressaltado pelos gráficos anteriores, é mais que crucial para o desenvolvimento de sistemas WTE. A maior parte dos problemas correntes do WTE em países de baixa renda está diretamente relacionada com a falta de recursos substanciais, tanto para construção quanto para a operação de instalações WTE. Um crescimento substancial do WTE resultará em um contexto social diferente daqueles países e desta forma em um sistema de gestão de resíduos diferente.

Tendo descrito a correlação entre a implantação de WTE e o PIB em países onde instalações WTE foram desenvolvidas, pré-condições adicionais de aplicabilidade devem ser consideradas quando da decisão sobre se uma planta WTE é apropriada para uma região específica. Estas pré-condições incluem:

- **Quantidade de resíduos a destinar à planta WTE:** A experiência internacional mostrou que economias de escala impõem que para que uma planta WTE seja viável sua capacidade deve ser alta. O gráfico seguinte (DEFRA, 2007) apresenta os custos de plantas WTE para várias capacidades na forma de taxas de despejo (as taxas incluem custos de implantação e de operação).

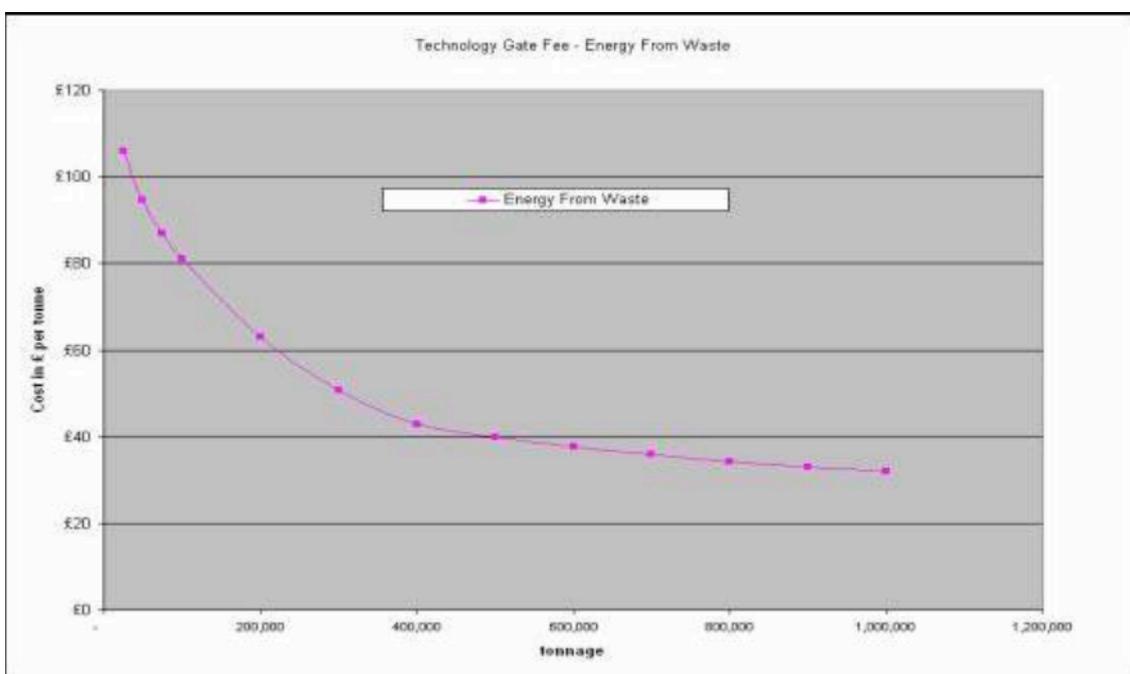


Figura 28 Economia de escala da incineração de resíduos

Como é claro por este gráfico o custo de WTE é extremamente alto para capacidades menores que 300.000 t/ ano, enquanto que benefícios de uma maior escala das unidades começam a reduzir a partir de 400.000 t/ ano. Com base nisso, se conclui que capacidades de plantas WTE não devem ser menores que 150.000 a 200.000 t/ ano para que sejam economicamente viáveis.

- **Atividades a montante na cadeia de resíduos:** a coleta de resíduos deve ser bem organizada e o pré-tratamento de resíduos deve aumentar o poder calorífico do resíduo que vai entrar nas plantas WTE. Desta forma a performance financeira da planta WTE pode ser significativamente melhorada.
- **Composição dos resíduos:** Certamente a produção de energia de plantas WTE depende da composição e das propriedades (por exemplo, umidade) do resíduo de entrada, o que afeta o poder calorífico da mistura final. O alto conteúdo orgânico que aparece normalmente em áreas de renda média e baixa geralmente significa resíduo muito denso, alto conteúdo de umidade e poderes caloríficos reduzidos, em oposição ao resíduo relativamente leve com baixo conteúdo orgânico dos países de renda alta. Este aspecto deve também ser levado em consideração quando se decide pela possibilidade de desenvolver plantas WTE, pois isto tem um aspecto negativo em relação à performance econômica da planta WTE.
- **Absorção de energia:** uma rede elétrica bem mantida, capaz de absorver a energia da planta WTE deve estar presente, caso contrário à implantação de uma planta WTE cara não se justifica.
- A viabilidade de uma planta WTE é muito sensível aos preços de venda da energia produzida, que deve ser alto o suficiente para que a taxa de despejo da WTE fique em valores comparáveis àquela do aterro. Um preço não menor que US\$ 80/ MWh deve se praticado para que as receitas com a energia produzida nas plantas WTE permitam diminuir as taxas de despejo correspondentes. Quanto a isto, o fato de que parte da energia produzida em plantas WTE se origina de frações biodegradáveis dos resíduos, sendo assim energia renovável, deve ser considerado quando for desenvolvida a política de preços da energia produzida pela WTE. A necessidade de produção de energia de fontes renováveis tem sido reconhecida internacionalmente e incentivos (por exemplo, subsídios, certificados verdes) devem ser buscados para promover a utilização de fontes renováveis de energia. De acordo com a Confederação Europeia de Plantas WTE (Confederation of European WTE Plants – CEWEP) ([www.cewep.eu](http://www.cewep.eu)), em média 50% da energia produzida em plantas WTE é considerada renovável, enquanto em alguns países (por exemplo, a Dinamarca) esta taxa atinge 80%.

- **Acessibilidade econômica:** a disposição para pagar é usualmente relacionada com a renda média dos cidadãos ou pelo menos com o PIB/ capita. Os limites de viabilidade média usados internacionalmente ficam entre 0,2 e 0,5 % do PIB/ capita médio. Assumindo uma taxa de despejo média para uma planta WTE de US\$ 60 a 100/ t, correspondendo a 40% do custo total da gestão de resíduos. (incluindo coleta, transporte reciclagem e disposição final), geração de resíduos por pessoa de 350 kg/ano, plantas WTE seriam mais acessíveis onde o PIB / capita médio é pelo menos US\$10.000.
- A viabilidade de plantas WTE é mais provável se a utilização da eletricidade é combinada com a **utilização da energia térmica produzida**. Considerando o fato de que as redes de aquecimento distrital não são comuns na América Latina e Caribe, os únicos usuários finais do calor podem ser as indústrias consumidoras e calor. Portanto é preferível que as plantas WTE fiquem próximas a áreas industriais para que aumentem as oportunidades de absorção do calor produzido.
- A viabilidade de um sistema de gestão de resíduos que inclua instalações WTE está relacionada ao fato de que plantas WTE podem ser localizadas muito próximas ou mesmo dentro de áreas metropolitanas (tais exemplos existem ao redor do mundo) e portanto os respectivos custos de coleta e transporte são reduzidos, que a quantidade de resíduos gerada é alta e que o PIB/capita é sempre mais alto que a média do respectivo país. Neste caso os custos globais do sistema com o WTE podem ser comparáveis aos sistemas que não incluem o WTE.

## **5.2 Dimensionando a caldeira e a planta WTE**

Decidir a capacidade requerida de uma planta WTE é crítico. As autoridades devem considerar a quantidade de resíduo que pode ser entregue à planta de forma consistente, todos os dias ao longo do ano, levando em conta:

- Taxa atual de geração de resíduos e a projeção os próximos 30 anos; a projeção deve ser baseada no crescimento populacional ao longo do tempo e também com o aumento do desenvolvimento econômico.
- Taxas atuais e projetadas de reciclagem e compostagem. A experiência internacional que programas rigorosos de reciclagem e compostagem podem aumentar o total de reciclagem +compostagem em 40 a 60 % do RSU gerado em países desenvolvidos através de esforços coordenados de longo termo incluindo regulação, incentivos e educação do público. O Guia recomenda que planos para um sistema WTE novo sejam acompanhados de um planejamento

para uma rota única de coleta de recicláveis preferenciais (papel, metais e certos tipos de plásticos e vidros). É preferível que os recicláveis coletados sejam encaminhados a uma Unidade de reciclagem de Materiais anexa à planta WTE onde eles sejam separados em materiais comercializáveis e os resíduos sejam encaminhados para combustão na WTE. A coleta de recicláveis pode ser feita tanto formalmente, pela comunidade, ou informalmente por indivíduos que sigam regras estabelecidas pela comunidade.

### 5.3 Materiais que podem ser processados em grelha de combustão

A carga de entrada da WTE pode incluir todos os materiais não radioativos e não explosivos:

- Resíduos residenciais e comerciais remanescentes da reciclagem e compostagem
- Resíduos industriais combustíveis que são atualmente dispostos em aterros legalizados ou clandestinos, que podem ser misturados com o RSU no poço de recebimento
- Resíduos pós-reciclagem de construção e demolição
- Lodo de estações de tratamento de esgoto
- Pneus triturados, colchões e móveis após reciclagem
- Resíduos hospitalares contidos em sacos plásticos selados, como os usados em incineradores hospitalares

No caso de resíduos médicos nossa análise de uma tabulação de todas as plantas WTE da Europa pela ISWA mostrou que quarenta e uma plantas relataram a combustão conjunta de resíduos hospitalares (Tabela 7); em média, os resíduos hospitalares queimados por estas plantas totalizaram 1,7% da sua carga de entrada.

**Tabela 7 Combustão conjunta de resíduos hospitalares na Europa (ISWA, 2004)**

<b>País</b>	<b>Nome da planta/local</b>	<b>Total incinerado (t/ano)</b>	<b>Resíduos hospitalares (t/ano)</b>	<b>% de Resíduos hospitalares sobre o total</b>
<b>Noruega</b>	Lenvik	5.050	120	2,38%
<b>Itália</b>	Rufina/Pontassieve	9.878	31	0,31%
<b>Itália</b>	Ferrara	20.500	613	2,99%
<b>Grã Bretanha</b>	Shetland Islands	21.511	16	0,07%
<b>Itália</b>	Terni	27.000	1.200	4,44%
<b>Noruega</b>	Spjelkavik	34.658	210	0,61%
<b>França</b>	Douchy les Mines	39.295	3.530	8,98%
<b>Suécia</b>	Karlskoga	42.600	200	0,47%

<b>Itália</b>	Melfi (PZ)	47.000	2.000	4,26%
<b>Itália</b>	Desio (MI)	49.019	3.152	6,43%
<b>Dinamarca</b>	Svendborg	54.000	400	0,74%
<b>Itália</b>	Schio (VI)	57.470	4.700	8,18%
<b>Itália</b>	Ospedaletto (PI)	57.944	3.525	6,08%
<b>Itália</b>	Vercelli	58.890	2.600	4,42%
<b>Alemanha</b>	Neustadt	59.449	668	1,12%
<b>Itália</b>	Padova	60.376	2.992	4,96%
<b>Dinamarca</b>	Hjørring	61.270	479	0,78%
<b>Itália</b>	Valmedrara (LC)	62.300	5.600	8,99%
<b>Itália</b>	Cremona	64.996	529	0,81%
<b>Bélgica</b>	Houthalen	69.195	1.700	2,46%
<b>Alemanha</b>	Kempen	76.661	514	0,67%
<b>França</b>	Villefranche sur Saône	78.301	287	0,37%
<b>Noruega</b>	Frederikstad	80.381	760	0,95%
<b>Bélgica</b>	Gent	94.383	475	0,50%
<b>Noruega</b>	Bergen	105.000	1.300	1,24%
<b>Republica Tcheca</b>	Brno	106.740	254	0,24%
<b>Itália</b>	Piacenza	111.409	750	0,67%
<b>Suíça</b>	Lausanne	120.000	6.000	5,00%
<b>Itália</b>	Modena	122.042	5.000	4,10%
<b>Noruega</b>	Oslo (Klemetsrud)	148.161	1.677	1,13%
<b>Itália</b>	Ravenna	169.954	9	0,01%
<b>Bélgica</b>	Brugge	174.733	3.523	2,02%
<b>Itália</b>	Granarolo Emilia (BO)	179.676	2.418	1,35%
<b>Dinamarca</b>	Århus	183.047	361	0,20%
<b>Alemanha</b>	Völklingen	210.488	2.270	1,08%
<b>Bélgica</b>	Thurmaide	259.614	22.157	8,53%
<b>Áustria</b>	Zwentendorf	323.000	800	0,25%
<b>Alemanha</b>	Krefeld	346.231	1.263	0,36%
<b>Suécia</b>	Malmö	385.879	1.700	0,44%
<b>Dinamarca</b>	København	401.823	1.942	0,48%
<b>Holanda</b>	Amsterdam	877.351	9.733	1,11%
<b>Total (41 plantas)</b>		<b>5.457.725</b>	<b>97.458</b>	<b>1,8%</b>

Análise dos mesmos dados mostrou que vinte e três plantas relataram combustão conjunta de lodo de esgoto de plantas de tratamento (Tabela 8). Em média, o lodo incinerado corresponde a 2% da carga total de entrada.

**Tabela 8 Combustão conjunta de lodo de esgoto na Europa (ISWA, 2004)**

<b>País</b>	<b>Nome da planta/local</b>	<b>Total incinerado (t/ano)</b>	<b>Lodo de esgoto (t/ano)</b>	<b>% de lodo de esgoto sobre o total</b>
<i>França</i>	<i>Besançon</i>	50.000	6.000	12,00%
<i>França</i>	<i>Arrabloy</i>	53.707	3.091	5,76%
<i>Holanda</i>	<i>Roosendaal</i>	55.166	99	0,18%
<i>Dinamarca</i>	<i>Hjørring</i>	61.270	2.735	4,46%
<i>França</i>	<i>Villefranche sur Saône</i>	78.301	1.004	1,28%
<i>Itália</i>	<i>Macomer (NU)</i>	79.000	500	0,63%
<i>França</i>	<i>Taden</i>	103.200	9.525	9,23%
<i>Dinamarca</i>	<i>Hørsholm</i>	109.493	137	0,13%
<i>Suíça</i>	<i>Lausanne</i>	120.000	6.000	5,00%
<i>Itália</i>	<i>Verona</i>	131.300	700	0,53%
<i>França</i>	<i>Cenon</i>	134.242	11.104	8,27%
<i>Suécia</i>	<i>Halmstad</i>	146.804	1.224	0,83%
<i>França</i>	<i>Thiverval-Grignon</i>	191.000	5.600	2,93%
<i>Alemanha</i>	<i>Völklingen</i>	210.488	452	0,21%
<i>Itália</i>	<i>Macchiareddu (CA)</i>	212.600	9.000	4,23%
<i>Alemanha</i>	<i>Kamp-Lintfort</i>	221.145	4.700	2,13%
<i>Bélgica</i>	<i>Thurmaide</i>	259.614	7.352	2,83%
<i>Espanha</i>	<i>Palma De Mallorca</i>	328.747	2.056	0,63%
<i>Alemanha</i>	<i>Krefeld</i>	346.231	16.873	4,87%
<i>França</i>	<i>Issy-Les-Moulineaux</i>	537.094	532	0,10%
<i>França</i>	<i>Saint Ouen</i>	622.653	463	0,07%
<i>França</i>	<i>Paris</i>	690.123	990	0,14%
<i>Holanda</i>	<i>Amsterdam</i>	877.351	23.981	2,73%
<b>Total (23 plantas)</b>		<b>5.619.529</b>	<b>114.118</b>	<b>2,03%</b>

Deve-se notar que somente algumas plantas WTE relataram ao ISWA materiais que são queimados conjuntamente. Portanto pode haver outras plantas WTE que fazem a combustão conjunta, que não estão incluídas nas tabelas 7 e 8.

#### **5.4 Configuração da planta WTE**

No caso de comunidades onde há uma grande variação sazonal do RSU devido ao turismo, pode ser necessária uma estrutura para o armazenamento do RSU durante a temporada de turismo.

*Plantas WTE de grelha de combustão podem garantir uma disponibilidade de 90%, ou seja, de 8.000 horas por ano. Uma linha de uma WTE consiste de uma fornalha (Figura 31), caldeira e um sistema de controle ambiental (Air Pollution Control – APC). Por exemplo, uma linha de 40 t/h vai processar 40 x 8.000 toneladas por ano = 320.000 toneladas de RSU; entretanto, plantas de grelha de combustão com capacidades maiores e menores foram projetadas e estão em operação.*

*A tabela 6 mostra várias plantas de linha única que têm capacidade de apenas 5 toneladas por hora por linha, ou seja, capacidade anual de 40.000 toneladas.*

*A maioria das plantas WTE é formada por 1 a 3 linhas em paralelo. Entretanto há algumas plantas maiores como a TUAS Singapore South com seis linhas de combustão e Singapura Senoko, com cinco linhas de combustão. Cada linha é provida com sua própria fornalha, caldeiras e sistema APC. Entretanto uma turbina a vapor comum pode usar o vapor superaquecido gerado em duas linhas ou mais. Da mesma forma, o gás limpo de todas as linhas pode ser levado para uma chaminé comum.*

*No início era preferível dividir a capacidade requerida da planta para duas ou três linhas. Entretanto, com o desenvolvimento e aumento de confiabilidade da tecnologia de grelha de combustão, várias plantas recentes (Apêndice 3) são formadas por apenas uma linha, pois têm menores custos de construção e operação.*

*O número de linhas e sua capacidade vai depender dos requerimentos de cada comunidade. O leitor vai encontrar informações adicionais nos três Estudos de Caso para a Argentina, Chile e México, apresentados na parte 2 deste Guia.*

*Considerando os fatores acima, uma comunidade pode planejar a capacidade da planta de acordo com suas necessidades. É importante mencionar que se a comunidade não pode bancar a construção de uma planta tão grande como gostaria, pode começar com a construção de poucas linhas e expandir a planta mais tarde. Em tais casos, as edificações da planta inicial devem ser projetadas para permitir futuras expansões com mínimo custo.*

### **5.5 Seleção do local para a planta WTE**

*A percepção de que unidades WTE são vizinhos indesejáveis de um ponto de vista estético tem sido também um obstáculo para o desenvolvimento da WTE. Entretanto modernas plantas WTE em operação nos EUA, Europa, Japão e outros países foram projetadas com esta preocupação em mente. Plantas localizadas no centro de cidades sensíveis do ponto de vista arquitetônico, como Viena, Osaka, e Paris, mostraram que os projetos podem ser compatibilizados com requisitos estéticos locais. Uma das*

plantas mais recentes é a WTE Isseane no rio Sena, a cinco quilômetros da Torre Eiffel. Uma galeria de fotos de centenas de instalações WTE mostrando suas características de projeto modernas está disponível na internet<sup>31</sup>.

Em regra, plantas WTE devem ser montadas em locais que possam se beneficiar esteticamente e funcionalmente de tais instalações. Este é um contraste definitivo com os aterros que são usualmente localizados em áreas livres afastadas de áreas habitadas. Exemplos de locais que podem ser melhorados pela instalação de uma moderna planta WTE são antigos aterros em operação, minas e pedreiras abandonadas, e antigas plantas industriais. Entretanto deve-se notar que muitas plantas WTE ao redor do mundo são construídas no meio de áreas residenciais ou industriais de modo a minimizar a distância entre o ponto de geração do RSU até a planta WTE; e também para facilitar o uso do vapor de baixa pressão do turbo-gerador, coproduto usado para aquecimento ou refrigeração distrital ou industrial. Um exemplo desta prática é a Dinamarca onde uma população de 5,5 milhões é servida por 28 plantas WTE, a maior parte delas em áreas urbanas.

Em contraste aos aterros, a arquitetura e o paisagismo de plantas WTE modernas podem ser esteticamente agradáveis e atrair visitantes. Algumas cidades como Viena, Paris, Osaka e Brescia construíram plantas WTE que se tornaram marcos urbanos e atrações turísticas. A mais recente será a nova planta WTE de Copenhague, planejada para ter um telhado que será usado como uma rampa de esqui.

Os fatores que devem ser considerados para a seleção do local de uma planta WTE são:

- Proximidade do centro gerador de RSU
- Proximidade a pontos de conexão com a rede elétrica
- Proximidade aos sistemas de aquecimento e refrigeração distritais
- Proximidade a fontes de água
- Proximidade a consumidores industriais de vapor
- Proximidade a aterros (para a disposição de cinzas)
- Rodovias de acesso
- Tráfego
- Utilidades

A tabela 9 mostra os requerimentos aproximados de terreno para várias configurações de plantas, a Figura 29 mostra as dimensões de planta para uma planta WTE de duas linhas de 400.000 toneladas de capacidade, e Figura 30 mostra a planta de locação para uma planta WTE de duas linhas de 640.000 toneladas de capacidade. Havendo restrições de terreno, o arranjo da planta de uma instalação WTE pode ser consideravelmente menor.

Tabela 9 Exemplos de requerimento de área de terreno

Capacidade (t)	160.000 (1 linha)	336.000 (2 linhas)	640.000 (2 linhas)	960.000 (3 linhas)
Comprimento da planta (m)	150	240	360	360
Largura da planta (m)	70	100	130	150
Área total da planta (m <sup>2</sup> )	10.500	24.000	46.800	54.000
Comprimento do terreno (m)	250	360	460	460
Largura do terreno (m)	170	230	230	250
Área total do terreno (m <sup>2</sup> )	42.500	82.800	105.800	115.000
Terreno ocupado pela planta	25%	29%	44%	47%

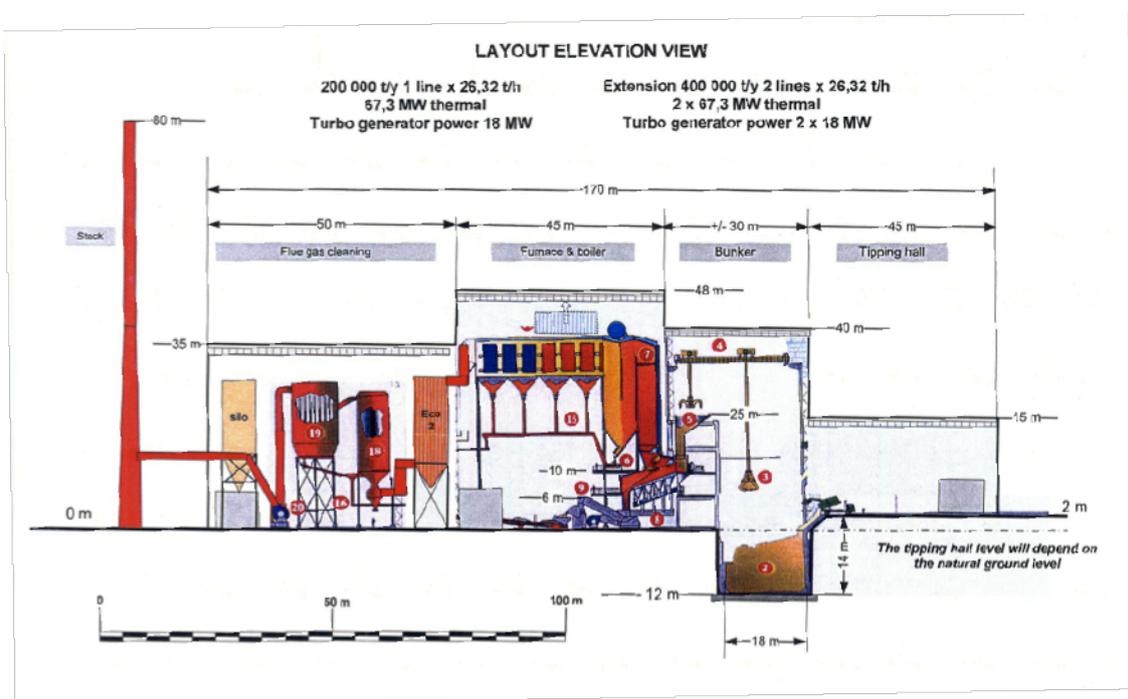
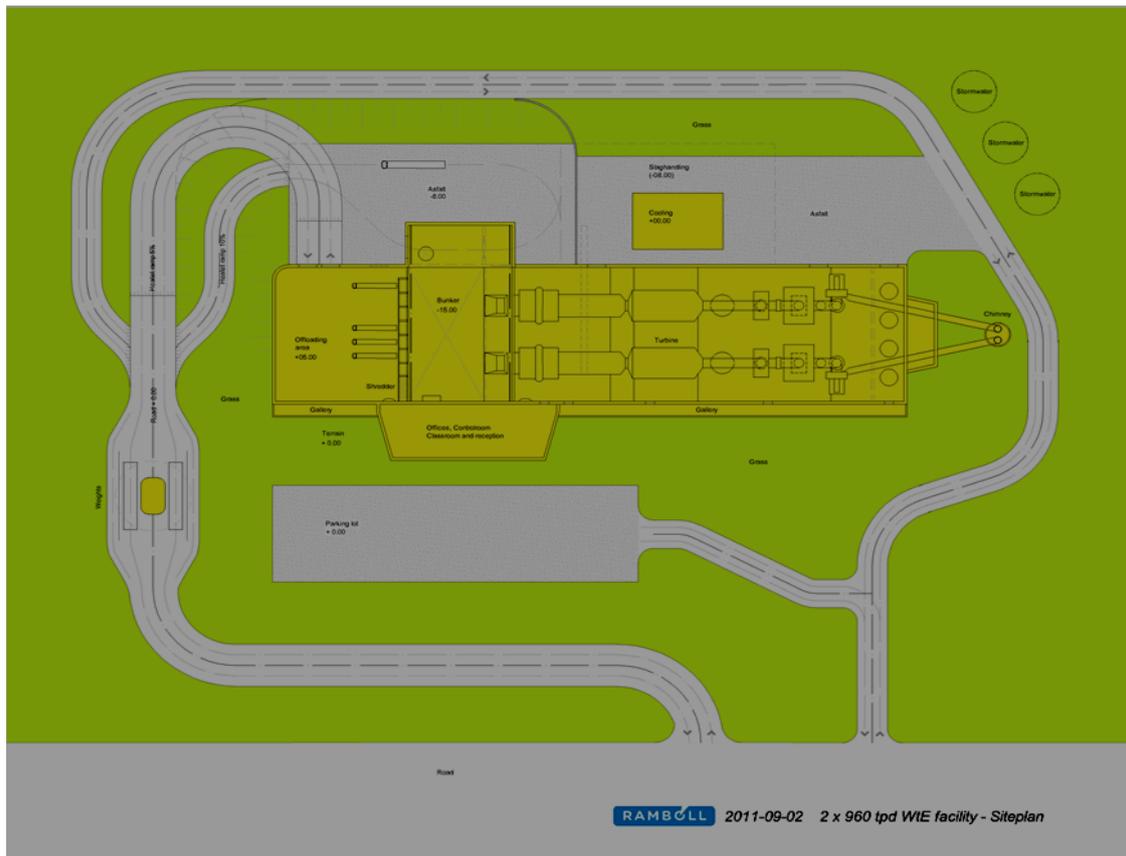


Figura 29 Vista elevada do leiaute de uma WTE do tipo grelha de combustão (EEC)



**Figura 30 Planta de locação para uma unidade de 2 linhas e 960 t/dia (EEC)**

### **5.6 Instalações de recebimento e fosso de resíduos**

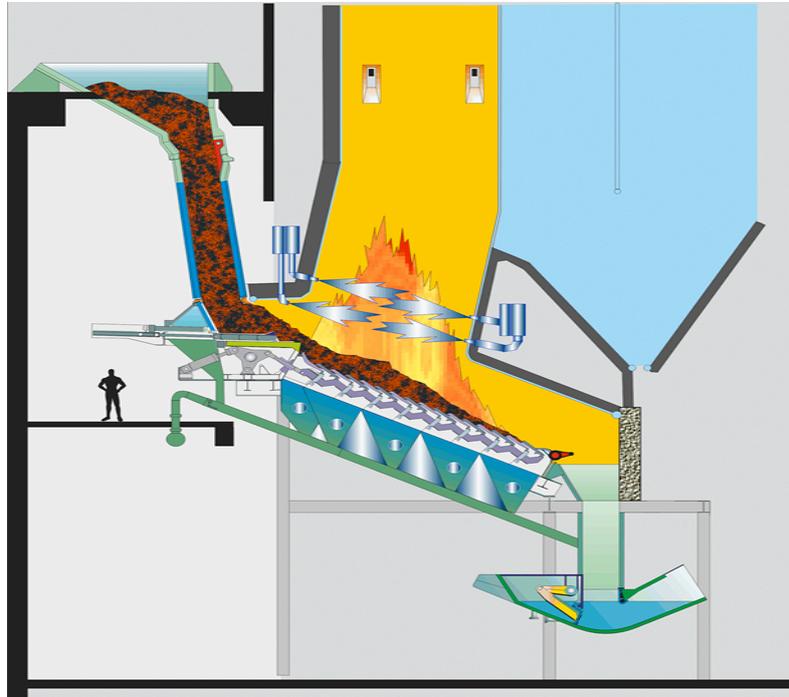
Os caminhões de coleta são pesados na entrada da planta e depois entram na área de recebimento da planta. Essa construção fica sob pressão negativa de modo que nenhum odor seja emitido para as redondezas quando as portas estão abertas. O ar captado é usado para a combustão nas caldeiras WTE.

O fosso de concreto de uma planta típica de duas linhas e 300 mil toneladas de capacidade anual tem aproximadamente 16 metros de largura, 50 m de comprimento e 15 m de profundidade. Portanto, tem uma capacidade de cerca de 15.000 m<sup>3</sup>.

### **5.7 Câmara de combustão**

A câmara de combustão (Figura 31) é o coração da planta WTE. A largura da grelha varia de 3 a 13 metros dependendo da capacidade da fornalha, e seu comprimento é de aproximadamente 8 metros, proporcionando assim um tempo de residência dos sólidos dentro da fornalha por cerca de 1 hora. A alta temperatura de oxidação dentro da câmara de combustão reduz objetos grandes como uma mala cheia em cinzas, que é descarregada na outra extremidade da grelha. A altura da fornalha acima da

grelha é de cerca de 20 metros de forma que os gases da combustão têm um tempo de deslocamento de 4 a 8 segundos dentro da câmara de combustão (“primeira passagem”). As grandes dimensões destas fornalhas explicam a sua capacidade de incinerar RSU de todos os tamanhos.



**Figura 31** Câmara de combustão de WTE com grelha móvel inclinada (Koralewska, R., Martin GmbH, apresentação no encontro bi anual de WTERT, Outubro 2006)

A geração média de calor pela superfície inteira da grelha é de cerca de 1 megawatt por metro quadrado e as temperaturas de combustão variam de 950 a 1100 °C. O coração da fornalha WTE é a grelha móvel que transporta o resíduo a partir da extremidade de carregamento. Tecnologias consagradas variam de grelhas inclinadas, com movimento tanto direto quanto reverso em relação ao fluxo de sólidos, até grelhas rolantes e grelhas horizontais; além disso, as grelhas podem ser tanto refrigeradas a ar, por meio do fluxo de ar primário, ou a água, em tubos instalados dentro das barras da grelha. O ECC da Columbia investigou o fluxo de sólidos de diferentes grelhas e também discutiu este assunto com especialistas em WTE de diferentes partes do mundo. No momento, não há uma resposta clara para qual tipo de grelha móvel é a melhor, pois esta discussão vai além dos fenômenos de taxa de transporte e transformação química; ela envolve também custos de capital e de operação, manutenção e disponibilidade de planta. Por exemplo, um dos maiores fornecedores de plantas WTE, Martin GmbH, instala tanto grelhas inclinadas como horizontais, de acordo com requerimentos do cliente. Portanto, a escolha da tecnologia da grelha é feita com base em performance comprovada e disponibilidade de planta e a proposta geral e as garantias apresentadas pelos vários fornecedores da tecnologia de grelha de

combustão. A lista mestra de plantas a grelha de combustão fornecida no Apêndice 3 mostra as grelhas usadas em mais de 800 plantas WTE em todo o mundo.

Um critério importante para a performance da grelha é a quantidade de carbono residual da cinza que deixa a caldeira. A concentração desejável é de menos de 1%.

### **5.8 Recuperação de energia**

Como dito antes, o conteúdo energético do RSU depende de sua composição e conteúdo de umidade. A recuperação de energia por tonelada dependerá do poder calorífico inferior (PCI) do resíduo, a eficiência da fornalha e se a energia é usada para geração de eletricidade e/ou vapor (para aquecimento distrital, plantas industriais na vizinhança da planta WTE, para a dessalinização de água em ilhas, etc.).

O PCI do RSU varia de país para país e também entre cidades dentro do mesmo país. Portanto, caracterização da composição do RSU a ser incinerado na planta WTE é a segunda coisa mais importante, após determinação da quantidade de resíduos sólidos a ser incinerada anualmente. Se o conteúdo energético do resíduo for menor que 6 MJ/kg, pode não ser viável construir uma planta WTE.

Considerando um RSU típico na região da ALC de 9 MJ/kg, ou seja 2,5 MWh por tonelada, pode-se assumir que as perdas de calor na fornalha, nas cinzas e no gás exausto da combustão de uma planta de 200.000 t anuais de capacidade são 10% deste valor. Portanto o calor no vapor superaquecido que entra na turbina será de 2,25 MWh por tonelada de RSU incinerado.

Por razões termodinâmicas a eficiência térmica da turbina a vapor depende da pressão do vapor superaquecido admitido na turbina e da pressão na saída da turbina, onde o vapor é condensado por troca térmica com água ou ar ou é usado para aquecimento distrital ou outros propósitos. Como os gases de combustão da planta WTE contêm muito mais cloro que as termelétricas a carvão, as pressões e temperaturas do vapor superaquecido são menores, tipicamente na faixa de 400 a 450 °C. Portanto a eficiência térmica da turbina da planta WTE é de cerca de 28% e a potência bruta gerada pela turbina é de  $22,5 \times 28\% = 0,6$  MWh de eletricidade por tonelada de RSU. Entretanto estima-se que 15% da energia gerada são usados na própria planta WTE, de forma que a energia entregue à rede elétrica será de 0,5 MWh por tonelada de RSU incinerado.

Para plantas maiores, a perda na fornalha é menor e a eficiência térmica da turbina é maior. Assim, espera-se que uma planta de capacidade anual de 1.000.000 de toneladas produza 0,65 MWh líquidos de energia. A planta WTE mais recente de

Amsterdã atualmente entrega à rede elétrica mais de 0,7 MWh por tonelada de RSU, além de entregar vapor e água quente para aquecimento distrital.

### **5.9 O fator R1 de eficiência térmica da União Europeia**

Cogeração de eletricidade e calor pode resultar em uma recuperação muito maior de energia. Para encorajar plantas WTE a buscar maiores eficiências térmicas a União Europeia instituiu a regra R1. De acordo com ela, uma planta WTE é considerada uma instalação de recuperação quando o fator R1, calculado como a seguir:

$$R1 = (2,6 * MWh_{elec} + 1,1 * MWh_{calor}) / 0,97 * MWh \text{ armazenado no RSU}$$

onde os fatores 2,6 e 1,1 expressam a energia requerida para produzir energia e calor respectivamente, e o fator 0,97 a perda esperada de 3% de calor durante a transformação da energia química em energia térmica, é maior que 0,6 (maior que 0,65 para plantas WTE recentes). Por exemplo, no caso de uma planta WTE existente produzindo 0,6 MWh de eletricidade por tonelada de RSU, o fator R1 seria:

$$R1 = (2,6 \times 0,6) / (0,97 \times 2,8) = 0,63$$

Obviamente, as receitas do WTE da recuperação de energia serão maiores no caso de cogeração de eletricidade e calor. Há plantas WTE na Europa que geram até 0,5 MWh de eletricidade mais 1 MWh de calor. O fator R1 correspondente é:

$$R1 = (2,6 \times 0,5 + 1,1 \times 1) / (0,97 \times 2,8) = 0,88$$

Em todos os projetos WTE recentes na Europa, o critério R1 é mandatório e deve ser garantido pelas empresas fornecedoras nos processos de licitação de tais projetos.

O desafio para as cidades da região da ALC que querem construir plantas WTE é encontrar empresas próximas à WTE que possam usar o vapor de baixa pressão, por exemplo, plantas de reciclagem de papel ou processamento de alimentos. O problema é que alguns países da ALC não têm as leis e regulamentos para a cogeração e, em alguns casos, a proíbem.

### **5.10 Controle de emissões de plantas WTE**

A percepção pública negativa de plantas WTE é baseada nas emissões de incineradores que pararam de operar há duas décadas. Nos EUA os padrões MACT (Maximum Achievable Control Technology ou Tecnologia de Máximo Controle Atingível) para Grandes Incineradores Municipais de Resíduos (Large Municipal Waste Combustors –

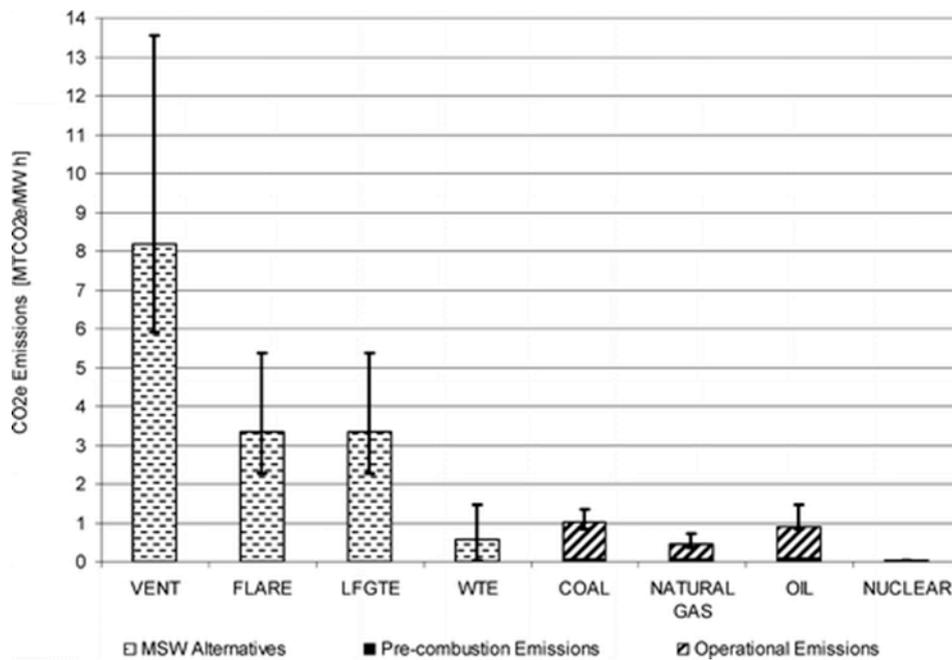
MWC), emitida pela US EPA<sup>32</sup> sob os requerimentos do Clean Air Act (Lei do Ar Limpo), estabeleceu limitações obrigatórias de emissões, que protegem a saúde humana e o ambiente. As 87 instalações WTE dos EUA que processam cerca de 26 milhões de toneladas de RSU estão em inteira conformidade com estes requerimentos, que são mais rigorosos que aqueles para qualquer outra fonte a alta temperatura, como termelétricas a carvão, fundições de metais e plantas de cimento. O mesmo é verdade para a UE, Japão e outras nações desenvolvidas que usam WTE.

Os oponentes do WTE descrevem as modernas plantas WTE como grandes poluidores, mas não há dados confiáveis que suportem essas alegações. Para ilustrar esse ponto, há duas maneiras de considerar os impactos relativos de plantas WTE modernas. Primeiro, a Tabela 10 mostra o impacto do MACT na indústria WTE comparando taxas de emissão nacionais pré-MACT e pós-MACT. Exceto pelo NO<sub>x</sub>, que foi reduzido em 24%, as emissões WTE foram reduzidas em 90% e no caso das dioxinas e furanos, as reduções ultrapassaram 99,9% sobre os níveis de 1990. Deve-se notar que desde 2005, as emissões médias de dioxinas das plantas WTE foram reduzidas em mais 0,045 nanogramas TEQ (Toxicidade Equivalente), correspondendo a 6 gramas anuais TEQ para toda a indústria. Em comparação, as dioxinas emitidas de queima descontrolada de resíduos residenciais e de jardinagem (“queima de fundo de quintal”) foram estimadas acima de 500 gramas TEQ por ano.

**Tabela 10 Efeito da implantação de MACT pela indústria WTE do EUA<sup>33</sup>**

<b>Poluente</b>	<b>Emissões em 1990</b>	<b>Emissões em 2005</b>	<b>Redução percentual</b>
<b>Dioxinas e furanos</b>	4.400 g TEQ/ano	15 g TEQ/ano	> 99%
<b>Mercúrio</b>	57 t / ano	2,3 t / ano	96%
<b>Cádmio</b>	9,6 t/ano	0,4 t/ano	96%
<b>Chumbo</b>	170 t / ano	5,5 t / ano	97%
<b>Material particulado</b>	18.600 t / ano	780 t / ano	96%
<b>HCl</b>	57.400 t/ ano	3.200 t/ ano	94%
<b>SO<sub>2</sub></b>	38.300 t/ ano	4.600 t/ ano	88%
<b>NO<sub>x</sub></b>	64.900 t / ano	49.500 t / ano	24%

O impacto potencial das emissões de plantas WTE por MWh de eletricidade gerada pode ser comparado com outras fontes de energia elétrica. A Figura 32 mostra que apenas termelétricas nucleares e a gás natural têm menores emissões de carbono por MWh. Além disso, quando as emissões de metano evitadas pelo não aterro são levadas em consideração, o WTE resulta na verdade em reduções líquidas de gases de efeito estufa para cada MWh gerado ou tonelada de resíduo pós reciclagem processado. Como consequência, o Fórum Econômico Mundial, a EPA (EUA), a União Europeia e o IPCC (ONU) vêem o WTE como um mecanismo para a redução de emissão de gases de efeito estufa. As Figuras 33 e 34 mostram que emissões de SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> por MWh de eletricidade gerada são também comparativamente baixas.



**Figura 32 Emissões de dióxido de carbono (toneladas métricas de CO<sub>2</sub>/MWh) de várias fontes de energia<sup>i</sup>**

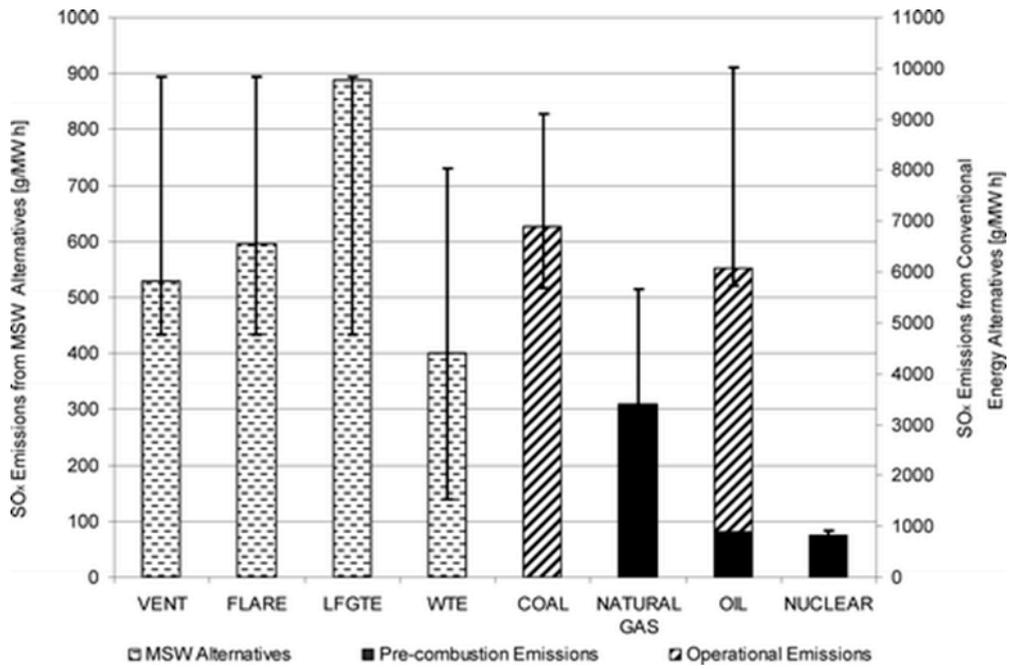


Figura 33 Emissões de dióxido de enxofre (g/MWh) de várias fontes de energia <sup>34</sup>

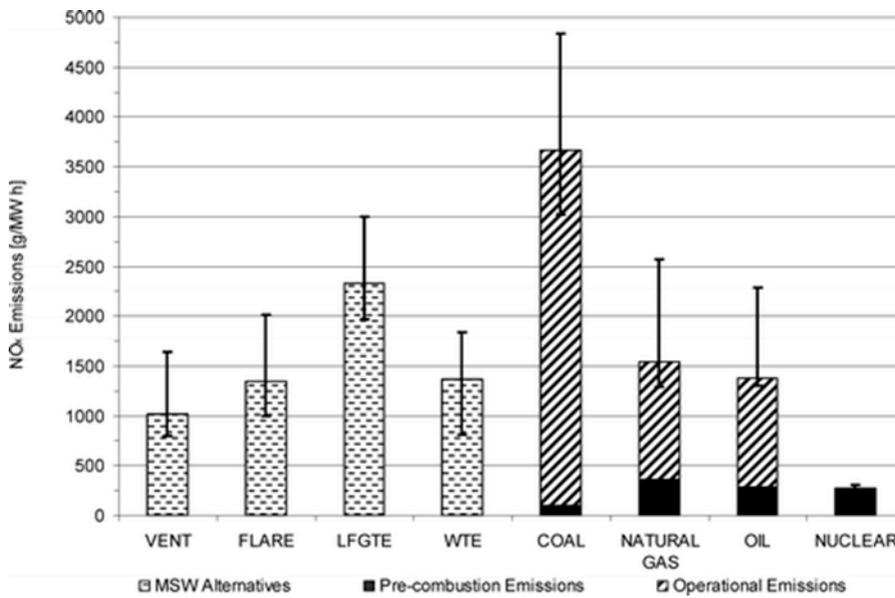


Figura 34 Emissões de óxido de nitrogênio (g/MWh) de várias fontes de energia <sup>34</sup>

### 5.10.1 Sistemas de Controle de poluição do ar

Em suma, sistemas de controle de poluição do ar (Air Pollution Control – APC) das modernas instalações WTE estão entre os mais avançados dos processos industriais de alta temperatura, incluindo termelétricas a carvão, fundições de metais e plantas de cimento.

A tabela seguinte dá uma indicação das tecnologias usadas para o tratamento dos gases exaustos da incineração de resíduos.

**Tabela 11 Principais Sistemas APC em plantas WTE**

<b>Parâmetro</b>	<b>Tecnologia de redução usada</b>
<b>Sólidos Suspensos</b>	Ciclones
	Precipitador eletrostático (úmido – seco)
	Filtro de mangas
<b>Gases ácidos</b>	Sorção a seco
	Sorção semi –seca
	Removedores a úmido
<b>Óxidos de Nitrogênio</b>	Redução não-catalítica seletiva
	Redução catalítica seletiva

Um sistema típico de controle de emissões pode incluir:

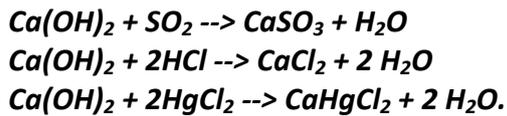
#### Removedor a seco ou semi-seco

Processos de remoção a seco e semi-seco são simples e desta forma baratos quanto ao investimento, e estão em uso em muitas plantas ao redor do mundo. Na maioria dos casos o adsorvente é tanto injetado diretamente no duto de gás ou em um secador pulverizador após a caldeira na forma seca (processo seco) ou como uma lama (processo semi-seco). Os produtos de remoção são, na maior parte das vezes, removidos do gás exausto por um filtro de mangas.

Quando o gás de combustão entra no removedor a seco, lama de cal é pulverizada para resfria-lo e reagir com ácidos como HCl e SO<sub>2</sub>, enquanto captura parcialmente o mercúrio.

Líquidos se vaporizam no removedor vertical e após evaporação os produtos de reação têm a forma de poeira seca no gás de combustão. Partículas maiores caem na base do removedor e são removidas.

O reagente proposto para uso é lama de cal (suspensão de finos de Ca(OH)<sub>2</sub> em água). A reação completa é bastante complexa, mas de forma simplificada, as reações principais são:



*Removedores semi-secos oferecem várias vantagens, como:*

*-Em combinação com outros materiais como carvão ativado, removem pelo menos 50% do cádmio e mercúrio.*

*-Não há produção de efluentes*

*Essas vantagens compensam a desvantagem de uma quantidade ligeiramente maior de cinzas.*

*Dependendo da composição e temperatura do gás de combustão, a lama de cal será pulverizada em uma concentração de 3 a 20% em peso. (normalmente 15 % em peso).*

*A lama de cal é produzida com o uso de CaO.*

- *Reator de suspensão de arraste*

*O uso deste reator otimiza a transferência de massa entre o hidróxido de cálcio e o gás de combustão e oferece altas taxas de remoção de poluentes do gás. Estes reatores são verticais, com o piso em forma de cone. Dependendo do ponto de entrada do gás de combustão, pode ser feita a pulverização na direção ou contra o fluxo. O sistema de pulverização em si é de dois tipos: atomizadores rotativos e bicos de fluido duplo.*

*Os principais parâmetros do projeto são espaço suficiente para garantir um bom contato dos gases ácidos com o reagente. Além disso, a suspensão de  $\text{Ca(OH)}_2$  em água deve ser seca o suficiente para garantir que nenhum efluente seja produzido. Utiliza-se normalmente Computação de Dinâmica dos Fluidos para otimizar as operações de transferência de fluxo e massa. Além disso, o tempo de residência do gás de combustão é muito importante e deve ser de ao menos 15 segundos.*

- *Recirculação de cinzas*

*Uma alta proporção de pó dos filtros de manga é recirculada de volta no reator de suspensão de arraste de forma que o cálcio é completamente consumido.*

*Inicialmente este pó é coletado por coletores do tipo parafuso ou por arraste. A quantidade de recirculação é controlada por um conversor de frequência do coletor parafuso, enquanto material não recirculado é transferido para silos de resíduo.*

A cinza entra no reator e é carregada pelo fluxo de gases e, portanto, um leito fluidizado está fluindo entre o reator e o filtro de mangas que acaba no reator de suspensão de arraste.

### **Injeção de Carvão Ativado Pulverizado (CAP)**

Carvão Ativado Pulverizado(CAP) é usado para a remoção de metais pesados e compostos orgânicos. O sistema inclui um silo de CAP, um alimentador, um compressor de injeção e um reator interno à tubulação, com bico e válvulas de injeção.

CAP é transferido pneumaticamente do silo para o tubo de saída do removedor e é injetado no reator de arraste entre o removedor semi-seco e o filtro de mangas.

- Silo de CAP

O silo consiste de um cilindro e dois funis de alimentação (forma de cone) feitos de aço especial. Para possibilitar inspeção, duas portas deslizantes deverão ser colocadas na parte mais baixa.

- Alimentador de CAP

O alimentador deve fornecer CAP continuamente ao sistema de injeção. A quantidade de CAP é determinada de acordo com o fluxo de gás de combustão após os filtros de manga (ou seja, através de um dosador tipo parafuso).

- Compressor de injeção

Para uma boa operação do sistema três compressores serão instalados (um reserva). Na saída dos compressores devem ser instalados medidores de pressão. Transmissores de pressão devem ser instalados nas linhas de injeção principais para monitorar a pressão do ar de entrada.

- Remoção de metais pesados

Mercúrio, Cádmiio, Tálío, e de forma parcial, Arsênio, são removidos pelo carvão ativado, enquanto moléculas destes metais se prendem às pequenas partículas de pó capturadas no filtro de mangas. Outros metais pesados também se prendem em partículas de pó e são removidos.

- Remoção de Compostos Orgânicos Voláteis (COV), Dioxinas/furanos e Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)

O carvão ativado “captura” tais compostos e então o pó de CAP é removido pelos filtros de mangas. Resíduos dos filtros de mangas são armazenados no silo de cinzas e transferidos para fora da planta para a destinação adequando.

### **Filtros de mangas**

Filtros de mangas asseguram uma coleta de pó muito efetiva, e ao mesmo tempo absorvem resíduos ácidos. Para obter essa absorção adicional é importante que uma camada de pó seja mantida no tecido. Essa camada vai reter, de forma efetiva, partículas com diâmetros menores que micrômetros ( $\mu\text{m}$ ). Isso assegura alta eficiência de remoção de metais pesados e dioxinas, pois estas são usualmente as menores partículas.

O sistema automático de controle e limpeza dos filtros (que é ativado pela pressão diferencial entre entrada e saída dos filtros) garante que uma camada de pó ficará continuamente nas mangas dos filtros. A limpeza dos filtros deve acontecer quando estão em operação (não é necessário isolar a parte do filtro que está sendo limpa), o que não deve influenciar o processo de limpeza.

- Remoção de pó/ partículas

Os gases fluem através dos filtros de manga de fora para dentro das mangas e a poeira é coletada na parte de fora.

Os gases atingem os filtros de manga através de um duto e são distribuídos através de aberturas para várias seções de filtros. Uma tubulação especial assegura um fluxo suave dos gases e desta forma a remoção é otimizada e a vida útil dos filtros é estendida.

A cinza é capturada na camada de pó formada nas mangas, e no filtro propriamente dito. Os gases limpos fluem pelas aberturas das partes superiores para a válvula de saída e pelo duto de saída, através do ventilador de indução eles atingem a chaminé e finalmente a atmosfera.

A camada de pó aumenta a eficiência do filtro de mangas e ao mesmo tempo quantidades remanescentes de cal reagem com os compostos ácidos. Dioxinas e o resto dos COVs são absorvidos pelo carvão ativado e partículas de CAP são capturadas pela camada de pó. Quando a pressão sobre o filtro aumenta a um certo ponto, significa que a camada de pó se tornou muito espessa e o processo de limpeza é ativado.

- Limpeza do filtro de mangas

A cinza que fica sobre a superfície externa do filtro de mangas é removida periodicamente por um pulso de ar sobre as mangas, a partir do lado de dentro. Essa limpeza desprende as partículas, que caem no coletor de descarga.

Sob cada estação de filtragem um tanque de ar está posicionado, equipado com válvulas de pulso (plunger valves). Ar comprimido é soprado na parte inferior interna das mangas e o pulso é muito curto, não mais que 0,1 segundo. O processo inteiro, que acontece enquanto o filtro está em operação, requer quantidades mínimas de energia.

A frequência dos pulsos pode ser contínua ou controlada.

- Pré-tratamento do filtro de mangas

Pré-tratamento superficial dos filtros é obtido com o contato com a solução de cal assim que os filtros são instalados. Este pré-tratamento protege o material do filtro de substâncias pegajosas como alcatrão, mas também ajuda a criar uma camada de pó apropriada:

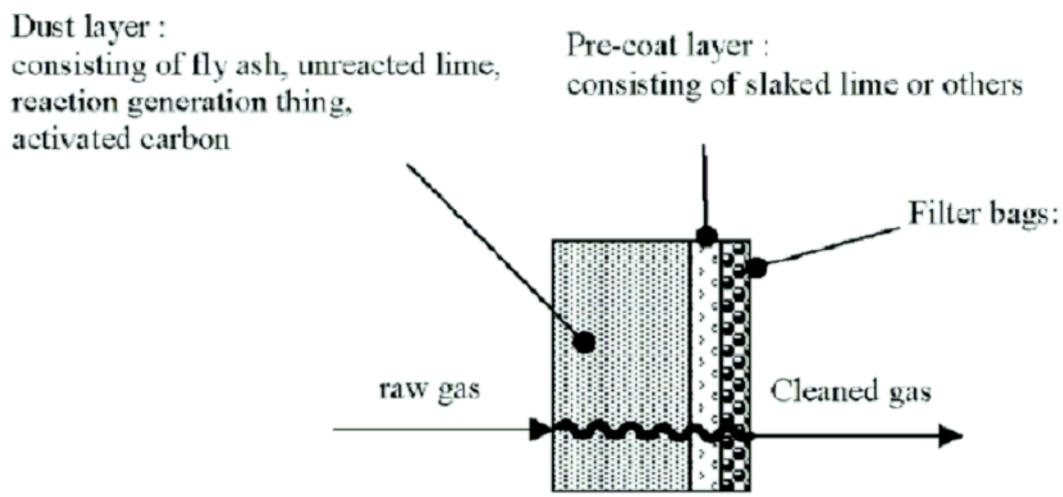


Figura 35 Seção transversal de um filtro de mangas

### Remoção de NO<sub>x</sub>

A produção de NO<sub>x</sub> pode ser prevenida com as seguintes medidas:

- Homogeneização contínua dos resíduos no silo para assegurar uma mistura melhor de combustível
- Boa interação com ar secundário através de posicionamento ideal dos bicos de ar secundários, de modo a criar turbulência na câmara de combustão, o que

*em consequência causa uma boa mistura dos gases de combustão e um fluxo suave*

- *Uso de queimadores de baixa emissão de NO<sub>x</sub>*
- *Uso de gás natural*

*Como medida para remoção de NO<sub>x</sub> na final do processo, pode-se adotar a Reação Não catalítica Seletiva (RNCS). Nela, amônia (NH<sub>3</sub>) ou ureia (CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) é injetada na fornalha para reduzir as emissões de NO<sub>x</sub>. O NH<sub>3</sub> reage mais efetivamente com NO<sub>x</sub> entre 850 e 950 °C, embora temperaturas de até 1050 °C sejam efetivas quando ureia é usada. Se a temperatura é muito baixa, ou o tempo de residência para reação entre NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub> é insuficiente, a eficiência da redução de NO<sub>x</sub> é diminuída, e a emissão de amônia residual pode aumentar. Isso é conhecido como escape de NH<sub>3</sub>. Algum escape de amônia sempre vai acontecer devido à química da reação. Escape adicional de NH<sub>3</sub> pode se causado pela injeção de reagente em excesso ou mal justada.*

*As reações químicas são:*



*Bicos suficientes são montados para se assegurar a pulverização de amônia através da zona radiante, garantindo assim bom contato e menos amônia residual. Dinâmica dos Fluidos Computacional Avançada (DFA) deve ser usada para determinar o número e posição exatos dos bicos, resultando assim em eficiência máxima e emissões de amônia abaixo dos valores limite.*

*O número e posição dos bicos devem ser controlados em função das temperaturas das fornalhas, o que deve ser medido com mecanismos avançados como pirômetros infravermelhos ou sistemas acústicos.*

*O volume de amônia injetada é determinada pela concentração de NO<sub>x</sub> medida na chaminé. A solução de amônia será diluída com água vinda da caldeira (água de descarte) antes de se transformar em gotículas com o uso de ar comprimido.*

*O sistema deve garantir:*

- *Armazenamento seguro da solução de amônia (25% em peso)*
- *Transferência de amônia*
- *Diluição e injeção de amônia através de ar comprimido no gás de combustão via bicos de injeção*
- *Limpeza dos bicos de injeção dos resíduos de amônia quando a caldeira não estiver em operação*

## **Ventilador de fluxo induzido e chaminé**

*O gás limpo vai chegar à atmosfera com o uso de um ventilador de fluxo induzido e uma chaminé.*

*O ventilador será centrífugo, com controle de variação de velocidade. As pás serão feitas de materiais resistentes à fricção e o impelidor será montado entre dois mancais com lubrificação com graxa e acoplamento direto com velocidade variável. A parte móvel será montada em uma célula com isolamento externa pra reduzir perdas térmicas e ruído.*

*O controle do ventilador será possível da sala de controle.*

*A chaminé será também construída de uma parte externa de aço e uma parte interna de placas de aço resistentes à corrosão. A parte externa deve ser isolada também. Deve ser pintada.*

*A chaminé terá:*

- *Porta metálica na parte inferior*
- *Haste para-raios*
- *Haste apropriada para iluminação de advertência para aviação*
- *Pontos para amostra manual*
- *Pontos de conexão para medição on-line de emissões*

*Deve ter também plataformas de acesso para os pontos de amostra e uma escada com plataforma no topo.*

*Condições locais como parâmetros do vento e paisagismo assim como a quantidade esperada de gases exaustos determinam a altura da chaminé para uma dispersão eficiente. Usualmente a altura não é menor que 65 m em áreas planas.*

### **5.10.2 Monitoramento de Emissões**

*Para monitoramento dos parâmetros operacionais e de emissões de plantas WTE existem várias abordagens a ser usadas (em linha com os Documentos de Referência das Melhores Técnicas Disponíveis para monitoramento e incineração de resíduos, baseado na Diretiva da Comissão Europeia para Prevenção e Controle Integrados de Poluição):*

- *Medição direta*
- *Cálculo de parâmetros adjacentes (indiretos)*

- *Balanços de massa*
- *Cálculos*
- *Fatores de emissão*

#### Medição Direta

*Medições diretas se referem à determinação quantitativa direta do respectivo parâmetro na fonte e podem ser contínuas ou descontínuas:*

- **Medição contínua:**
  - *Uso de unidade de medição in situ ou in-line*
  - *Uso de unidade de medição on-line para amostragem e medição contínuas*
- **Medição descontínua:**
  - *Unidades de medição móveis*
  - *Medições de laboratório de amostras coletadas in-situ ou on-line*
  - *Medições de laboratório de amostras pontuais*

#### Parâmetros adjacentes

*Parâmetros adjacentes são aqueles que, quando medidos, podem ser correlacionados com parâmetros convencionais quando estes não podem ser medidos diretamente.*

*Parâmetros adjacentes são usados para monitoramento quando:*

- *Estão estreitamente e consistentemente conectados a um parâmetro direto requerido*
- *São mais baratos e fáceis de ser monitorados que parâmetros diretos*
- *Permitem mais medições e de pontos mais diversos*

#### Categorias de parâmetros adjacentes

Quantitativa: *Permitem informações quantitativas como:*

- *Avaliação dos compostos voláteis totais ao invés de compostos individuais, quando o fluxo de gás é estável.*
- *Cálculo da concentração de gás de resíduo via composição do combustível, o material bruto, etc.*
- *Estimativa do carbono orgânico e demanda química de oxigênio total, ao invés de compostos individuais*

Qualitativa: *fornece informação qualitativa como:*

- *Temperatura, tempo de retenção e fluxo na câmara de combustão*
- *Medição de CO ou COV totais do gás de combustão*
- *Temperatura do gás da unidade de resfriamento*
- *Condutividade, ao invés dos componentes metálicos*
- *Turbidez ao invés de sólidos suspensos*

*Indicativa: fornece informação sobre a unidade de operação ou o processo e dá uma indicação das emissões:*

- *Temperatura do fluxo de gás do condensador*
- *Queda de pressão, taxa de fluxo e umidade*
- *pH*

*Por exemplo:*

- *Fornalhas: medição de CO<sub>2</sub> (direta)*
- *Incinerador: temperatura da câmara de combustão (qualitativa) - tempo de retenção ou taxa de fluxo (indicativa)*

### **Balanços de massa**

*Balanços de massa são usados para estimar as emissões de uma certa unidade ou processo. A equação simplificada de balanço de massa é como a seguir:*

**Entradas = produtos + resíduos +emissões**

*Onde:*

*Entradas: todos os materiais que se agregam ao processo*

*Produtos: materiais exportados do processo*

*Resíduos: materiais nos refugos*

*Emissões: materiais emitidos para o ar ou que vão para os efluentes*

### **Cálculos**

*São baseados em equações teóricas e modelos. Uma equação indicativa fornece uma estimativa de materiais específicos emitidos através do consumo de combustível, por exemplo CO<sub>2</sub> ou metais:*

$$E = Q * C / 100 * (MW / EW) * T$$

*Onde:*

*E: carga anual de material emitido (Kg/ano)*

*Q: taxa de fluxo de combustível (kg/h)*

*C: concentração de material no combustível (% em peso)*

*MW: peso molecular das substâncias químicas presentes no material (Kg/Kg – mol)*

*EW: peso elementar do poluente no combustível (Kg/Kg – mol)*

*T: tempo de operação (horas/ ano)*

### **Fatores de emissão**

*A equação geral para o uso dos fatores de emissão é*

*Taxa de emissão (massa/tempo) = fator de emissão (massa/ unidade de produto ou massa / produção de energia ou massa/ consumo de água) \* dados de atividade (por exemplo: produto ou energia produzida ou água consumida por unidade de tempo)*

*Fatores de emissão foram desenvolvidos a nível internacional (EPA 42, CORINAIR, UNICE, OECD) e usualmente são expressos como o peso de uma substância emitida dividido pela unidade de peso ou volume.*

### **Requerimentos de monitoração de plantas WTE**

*Através dos procedimentos de licenciamento, condições estritas devem ser impostas ao monitoramento de emissões atmosféricas, da água e do solo, como:*

- *Medição contínua de NO<sub>x</sub>, CO, particulado, TOC, HCl, HF, SO<sub>2</sub> e hidrocarbonetos para a atmosfera*
- *Medição contínua de temperatura na câmara de combustão, concentração de oxigênio, pressão, assim como temperatura do gás de combustão*
- *Pelo menos 2 medições por ano para metais e dioxinas/furanos*

*Para os efluentes, medições regulares devem ser feitas para os seguintes parâmetros*

- *Fluxo*
- *pH*
- *Temperatura*
- *Sólidos Suspensos Totais*
- *Mercúrio*
- *Tálio*
- *Arsênio*
- *Chumbo*

- Cromo
- Cobre
- Níquel
- Zinco
- Dioxinas/ Furanos

### **5.11 A cinza do WTE**

*A combustão em grelha reduz o volume do RSU em cerca de 90%. Os resíduos de instalações WTE são a cinza de fundo (20 a 25% do peso do RSU) e cinza suspensa coletada no sistema de Controle de Poluição Ambiental (2 a 3 % do peso do RSU). A cinza de fundo contém partículas de metais ferrosos e não ferrosos que podem ser recuperados por meio de separadores magnéticos e de eddy-current, respectivamente.*

*A cinza de fundo de plantas de grelha de combustão pode atender a diferentes requerimentos. No caso onde altas taxas de recuperação de metais da cinza de fundo são preferíveis, isso pode ser obtido por um processo de combustão padrão na grelha com descarga de cinza seca; por exemplo, a planta KENZO em Hinwil, Suíça, e a planta SATOM em Monthey, França, demonstraram que plantas de combustão em grelha equipadas com sistemas de descarga de cinza seca permitem recuperação muito alta de metais ferrosos e não ferrosos. Quando se deseja uma cinza semifundida, enriquecendo o ar primário com oxigênio, como foi feito em Arnoldstein, Áustria, e Sendai, Japão, (processo Martin SYNCON), a cinza é sinterizada na grelha, proporcionando valores de lichiviado similares a cinza fundida. Os metais são então quimicamente/ fisicamente retidos na matriz de cinza.*

*Como os sistemas de controle de poluição do ar de plantas WTE melhoraram bastante, os metais pesados capturados, dioxinas e outros contaminantes indesejáveis são sequestrados na cinza em suspensão. Atualmente a maior parte das instalações WTE dos EUA misturam as cinzas em suspensão e as cinzas de fundo para formar uma cinza “combinada” que é quimicamente inerte e é usada para a manutenção e cobertura diária de aterros, no lugar da camada de 15 cm de solo requerida pela USEPA. Como os EUA são o maior lançador em aterros do mundo, há grande necessidade de uso de cinzas de WTE em aterros. Entretanto como não há atualmente alternativas comerciais para uso benéfico de cinzas de WTE fora dos aterros, as companhias de WTE não se beneficiam muito do seu suprimento para aterros. De fato, a sua disposição para manutenção de aterros representa um custo operacional substancial. Nas Bermudas a cinza combinada de WTE é misturada com cimento para formar blocos de concreto de 1 metro cúbico que são usados para proteção e aterro da costa.*



**Figura 36 Blocos de concreto feitos de cinzas de WTE usados para proteção e aterro da costa<sup>i</sup>**

*Cinzas de fundo não contêm dioxinas e metais voláteis e sua concentração de cloro e enxofre é muito baixa. Pode ser usada de forma benéfica na construção de estradas, manejo de minas extintas, entre outros, como se faz em vários países. Vários programas experimentais, nos EUA e fora, provaram que a cinza de fundo pode ser processada para gerar um agregado ambientalmente seguro para diversas aplicações na construção. De fato, a instalação WTE da AEB Amsterdã (1,5 milhões de toneladas de RSU anualmente) processa sua cinza de uma maneira inovadora, de modo que apenas 1% em peso do RSU incinerado tem que ser aterrado.*

*Nos EUA um obstáculo percebido para o desenvolvimento de usos da cinza de fundo fora dos aterros é que se cinza de fundo não for misturada com a cinza em suspensão, esta é um resíduo perigoso e cuja disposição é muito custosa. Em 2007 a ECC testou o tratamento de fosfatação da cinza suspensa (processo WES-Phix da Wheelabrator Technologies), utilizando o Procedimento de Lixiviação de Contaminante Tóxico, da USEPA. Os resultados mostraram que a cinza suspensa estava totalmente estabilizada e poderia ser disposta em aterro sanitário. De fato, o procedimento tem sido usado com sucesso há anos na WTE da Covanta Energy em Burnaby, British Columbia, que trata parte do RSU da região metropolitana de Vancouver. Em outro estudo, a ECC testou com sucesso a remoção de cloro do sistema de APC pela simples lavagem com água.*

A EEC está atualmente examinando o processo Alkemy que transforma cinza composta de WTE (cinza de fundo mais cinza suspensa) em um agregado leve que tem um preço de US\$ 40 a 80 / tonelada. Entretanto este processo requer o pagamento de uma taxa de despejo de cerca de US\$ 30/ tonelada de cinza composta.

### 5.12 Balanços de massa e energia

O balanço de energia, assumindo um poder calorífico do resíduo de 9 MJ/kg é apresentado na Tabela 12 abaixo.

**Tabela 12 Balanço de energia**

<b>Entrada de energia (MWh/ t de resíduo)</b>		<b>Energia perdida ou consumida (MWh/ t de resíduo)</b>		<b>Energia remanescente (MWh/ t de resíduo)</b>	
<b>Energia no resíduo</b>	<b>2,5</b>	<b>Perdas de calor na fornalha, cinzas e gases exaustos</b>	<b>0,25</b>	<b>Energia exportada para a rede elétrica</b>	<b>0,54</b>
		<b>Perdas na turbina</b>	<b>1,62</b>		
		<b>Consumo da planta</b>	<b>0,09</b>		
<b>Total</b>	<b>2,5</b>	<b>Total</b>	<b>1,96</b>	<b>Total</b>	<b>0,54</b>

O balanço de massa é apresentado na Tabela 13

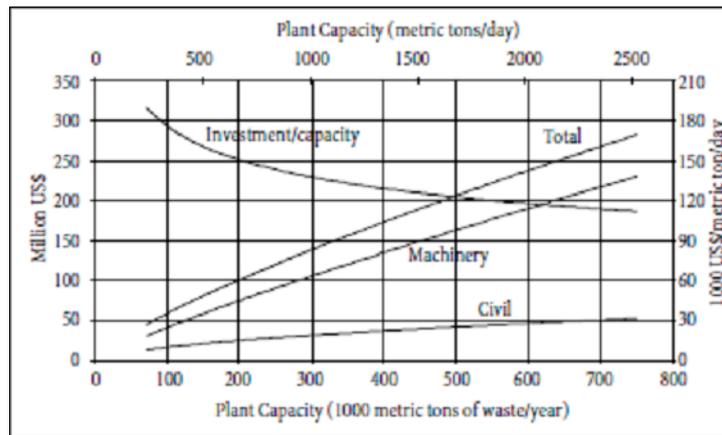
**Tabela 13 Balanço de massa**

<b>Entrada de massa (t)</b>		<b>Massa perdida durante combustão (t)</b>		<b>Massa remanescente (t)</b>	
<b>Resíduo</b>	<b>1</b>	<b>Massa consumida durante a combustão</b>	<b>0,75</b>	<b>Cinza de fundo</b>	<b>0,225</b>
				<b>Cinza Suspensa</b>	<b>0,025</b>
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>Total</b>	<b>0,75</b>	<b>Total</b>	<b>0,25</b>

### **5.13 Aspectos econômicos do WTE**

Os custos e receitas de uma planta WTE variam de local para local. Por isso, os Capítulos 7 a 9 deste Guia examinam três estudos de caso de aplicações hipotéticas da tecnologia WTE na região de Valparaíso, no Chile, o município de Toluca, no México e Buenos Aires, na Argentina. Estes três estudos de caso envolveram extensivas visitas e interação do time do Projeto com especialistas nestes três países. Leitores do Guia são encorajados a examinar estes três estudos e caso e considerar as similaridades e diferenças, pois eles podem se aplicar à sua própria cidade. Esta seção discute os componentes de custos e receitas de uma planta WTE, em geral.

**Custo de capital:** As modernas instalações WTE são equipadas com sistemas de combustão e de controle de poluição atmosférica altamente avançados. Além disso, são requeridos a operar em capacidade plena por mais de oito mil horas por ano (mais de 90% de disponibilidade) e devem ser ter uma aparência esteticamente agradável, Portanto, são mais caros para construir que um aterro sanitário; por exemplo, uma planta média de 160 mil toneladas de capacidade anual pode custar mais de US\$ 80 milhões (US\$ 500 por tonelada de capacidade anual). Os custos de investimento em função da capacidade anual (e diária) de uma típica planta de incineração de resíduos são estimados na figura seguinte (World Bank 2000).



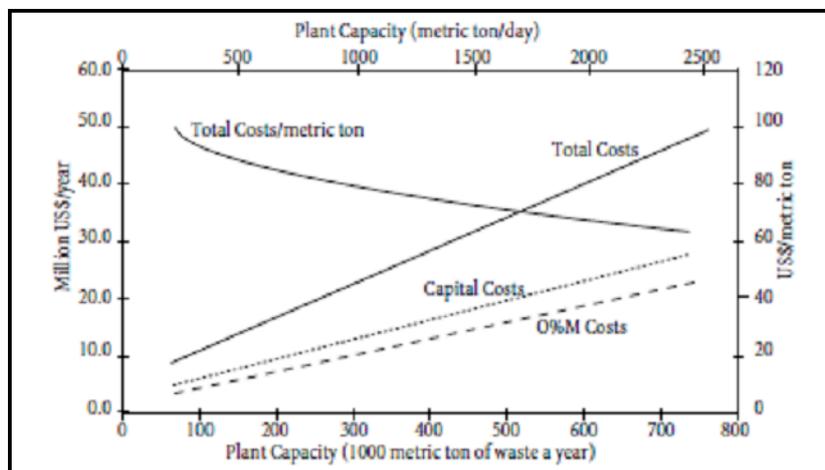
**Figura 37 Custos de capital de investimento do WTE (EEC)**

No caso de um investimento financiado de forma privada, o pagamento deste investimento pode acarretar um custo de capital de US\$ 60 por tonelada de RSU processado, em um período de 20 anos.

Entretanto, o investimento em uma planta WTE provê significativos benefícios econômicos para a comunidade que a acolhe, durante a fase de construção, na operação e muito tempo depois que o investimento inicial foi pago.

**Custos operacionais:** Os três estudos de caso mostraram claramente que os custos operacionais cresceram, por unidade de peso, com a diminuição do tamanho da planta WTE: eles variavam de US\$ 32 / t de RSU para a planta de 1 milhão de toneladas de Buenos Aires a US\$ 47 /t para a planta de 160.000 t de Toluca.

Os custos operacionais em função da capacidade anual (e diária) para uma típica nova planta de incineração de resíduos são estimados na figura seguinte (World Bank 2000).



**Figura 38 Custos de operação do WTE (EEC)**

**Cogeração de energia e calor:** Uma fonte igualmente importante de receitas para a WTE é a venda de eletricidade e vapor. Atualmente, a maior parte das instalações WTE dos EUA vendem apenas eletricidade, chegando a cerca de US\$ 30 por tonelada de RSU a um preço assumido de apenas US\$ 0,06 por kWh. Entretanto, à medida que os estados continuam a editar leis requerendo o uso de energia renovável no sistema elétrico, qualquer fonte de energia renovável será cada vez mais valiosa nos anos vindouros. Uma fonte menor de receitas do WTE é a recuperação de metais das cinzas; atualmente quase 0,8 milhões de toneladas de metais ferroso e não ferrosos são recuperados das plantas WTE dos EUA.

Os três estudos de caso (Capítulos 7 a 9) mostraram que um preço razoável para a eletricidade da WTE pode variar de US\$ 80 a 120 por MWh, ou seja, de US\$ 40 a 70 por tonelada de RSU processado. Pode haver receitas adicionais da venda de vapor de baixa pressão se usuários industriais puderem ser alocados próximos à instalação WTE. As receitas com a venda de metais devem estar na ordem de alguns poucos dólares por tonelada de RSU.

**Taxa de despejo por tonelada de RSU:** Para uma WTE financiada com recursos privados, os custos de capital e operacionais por tonelada de RSU, menos as receitas da venda de eletricidade e créditos de carbono como discutido no parágrafo a seguir, devem ser equiparados à taxa de despejo por tonelada de RSU processado. Devido ao alto custo de capital de uma planta WTE, a taxa de despejo requerida deve com certeza ser maior que aquela para o aterro. Entretanto, aterros estão situados a alguma distância dos centros urbanos e isto requer a construção de estações de transferência de resíduos, onde a carga dos caminhões de coleta é transferida a caminhões de maior porte para transferência de longa distância, com os custos de transporte das estações de transferência para os aterros. Por exemplo, um estudo da ECC mostrou que a implantação do WTE para a cidade de Nova Iorque resultaria na desativação de mais de quinze estações de transferência e evitaria o envio de quase 150.000 caminhões a diesel anualmente para outros estados, a centenas de milhas de distância<sup>36</sup>.

**Créditos de carbono:** O gás de maior contribuição para o efeito estufa é o dióxido de carbono. O Protocolo de Kyoto (KP) do Painel de Convenção de Mudanças Climáticas das Nações Unidas (United Nations Framework Convention of Climate Change - UNFCCC) convocou os países industrializados (listados no Anexo do UNFCCC) a reduzir as suas emissões de gases de efeito estufa para níveis abaixo dos de 1990 no período

de 2008 a 2012. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) habilita os países do Anexo 1 a atingir seus compromissos de redução através da ajuda na implantação de projetos de redução de emissões em países não constantes no Anexo 1, ou seja, nações em desenvolvimento como aquelas da região da ALC.

O mercado de carbono inclui diferentes tipos de créditos de carbono. A forma mais comum de créditos pra projetos MDL são os Certificados de Redução de Emissões (CRE). Um CRE corresponde à compensação da emissão de uma tonelada métrica de CO<sub>2</sub> equivalente.

O ciclo de um projeto de MDL requer o registro e verificação, através de um processo rigoroso e público, que mostrará que o projeto vai de fato resultar em redução de emissões de carbono. Após verificação o projeto é oficialmente autorizado a gerar CREs. Algumas nações, incluindo os EUA ainda não concordaram com o Protocolo de Kyoto e a continuação do mercado de carbono é incerta. Entretanto, os EUA declararam o seu compromisso de longo prazo com sistemas de comercialização de emissões.

O RSU contém tipicamente 30% de carbono, dois terços dos quais são de origem biogênica (papel, madeira, resíduos alimentares, etc.); usá-lo como combustível reduz a quantidade de combustível fóssil usado (origem antropogênica). Além disso, desviar o RSU de aterros reduz a quantidade de metano emitido pelos aterros e uma molécula de metano emitida para a atmosfera é equivalente a 21 moléculas de dióxido de carbono. Devido a esses dois fatores, uma tonelada de RSU queimado ao invés de aterrado resulta no decréscimo da emissão 0,5 a 1 tonelada de dióxido de carbono, a depender da eficiência da coleta de gás do aterro.

Plantas WTE na América Latina poderiam se qualificar como projetos de MDL. Por exemplo, a Sumitomo Corporation, do Japão, investiu em um projeto WTE em Huzhou City, na Província de Zhejiang, China (Huzhou Nantaihu Green Energy Co., Ltd.). Essa planta é projetada para tratar 266 mil toneladas de RSU gerado em Huzhou e fornece 59.000 MWh para a rede. Neste caso, a avaliação do projeto MDL resultou em créditos de 85.000 CREs, ou seja, 0,32 t de CO<sub>2</sub> por tonelada de RSU queimado.

A tabulação da UNFCCC na Tabela 14 mostra que o número de todos os CREs registrados na América Latina até 2012 foi de 378 milhões ou 13,6% de todos os CREs dos países em desenvolvimento.

**Tabela 14 Projetos de MDL registrados e os correspondentes CREs<sup>37</sup>**

Região	População (milhões)	Todos os projetos		Número de CRE projetados para 2012, em milhares		Projetos CRE per capita em 2012
		Quantidade	%	Quantidade	%	
<hr/>						

<b>América Latina</b>	449	939	14,6	378.014	13,8	0,84
<b>Ásia e Pacífico</b>	3.418	5.169	80,6	2.170.758	79,5	0,64
<b>Africa</b>	149	69	1,1	42.261	1,5	0,28
<b>Europa e Ásia Central</b>	891	168	2,6	99.368	3,6	0,11
<b>Oriente Médio</b>	186	71	1,1	40.469	1,5	0,22
<b>Todas as nações menos desenvolvidas</b>	5.093	6.416	100	2.730.870	100	0,54

**Vida de uma planta WTE:** O maior item de custo na operação de uma planta WTE é a recuperação do capital investido, o que normalmente se estende por um período de mais de 20 anos. Entretanto o Apêndice 3 mostra várias plantas WTE que têm operado por mais de 40 anos, e continuam firmes. Com a manutenção adequada, uma nova planta WTE em um município pode ser um bom negócio para a geração atual e um patrimônio legado para as gerações futuras.

#### **5.14 Combinando os planos de uma nova WTE e aumento na reciclagem.**

Como notado antes, há um conceito errado generalizado de que novas plantas WTE vão diminuir a reciclagem em uma comunidade. Portanto, o planejamento para uma nova planta WTE em uma comunidade, especialmente na América Latina e Caribe, onde as taxas de reciclagem atuais são relativamente baixas, deve incluir o estabelecimento ou a melhoria da reciclagem formal, através do fornecimento de containers de coleta para materiais recicláveis, que sejam de interesse da comunidade. Por exemplo, se pode incluir todos os tipos de papel e papelão, metais e alguns tipos de embalagens plásticas.

Um dia por semana, o mesmo caminhão que em outros dias coleta o RSU faz a coleta em Cadeia Única dos recicláveis e os transporta a uma Unidade de Reciclagem de Materiais (URM), localizado próximo a uma unidade WTE. Os recicláveis são então separados, mecânica ou manualmente, em materiais comercializáveis que são enfardados e vendidos. Os resíduos não comercializáveis da URM são conduzidos ao fosso da planta WTE. O fluxograma deste arranjo é mostrado na Figura 39. A construção de uma URM adjacente à planta WTE também mandará uma mensagem clara à comunidade, de que WTE e reciclagem são complementares. A URM incluirá tanto a separação manual quanto a mecânica, e empregará preferencialmente pessoas engajadas na reciclagem informal, proporcionando a elas melhores salários e condições de trabalho.

A URM proposta teria as seguintes características operacionais (Apêndice 3): os recicláveis coletados são despejados no piso da URM e carregados em uma correia

transportadora inclinada que os leva a correias elevadas horizontais passando por uma séria de separadores que catam itens particulares (por exemplo, papel misturado, metais, etc.), e os dispõem em containers sob as correias horizontais. Os containers são periodicamente esvaziados em máquinas enfardadoras.

A RRT Engineering, uma empresa americana especializada em construção de plantas URM gentilmente forneceu à EEC o desenho do Apêndice 5, que mostra uma instalação com capacidade de separar até 80.000 t de recicláveis em Cadeia Única, com custo de construção estimado em cerca de US\$ 7 milhões, incluindo preparação do terreno, acessos de caminhões, construção e equipamentos.

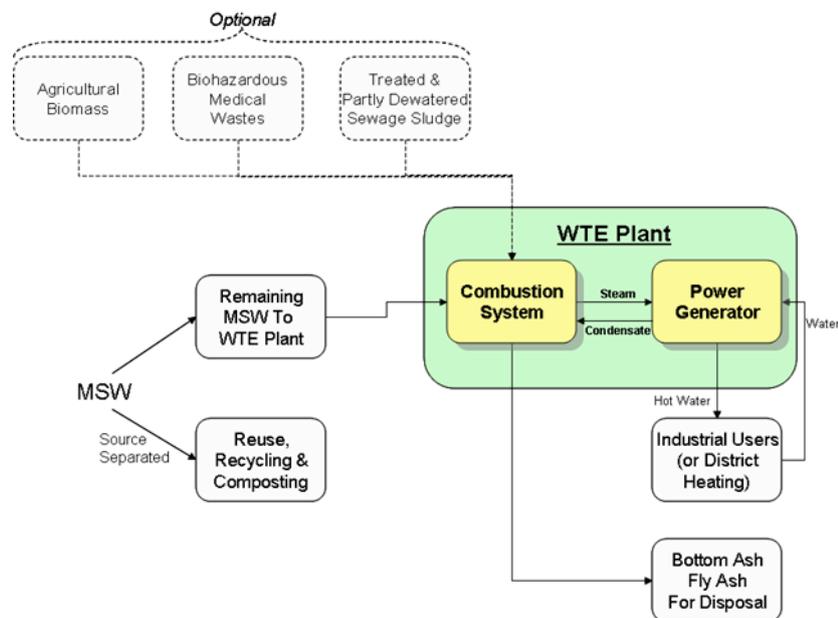


Figura 39 Fluxo de materiais para dentro e para fora de uma planta WTE (EEC)

### 5.15 Padrões de emissão

Plantas WTE modernas são construídas para atender aos limites Europeus de emissões (Tabela 15), similares aos padrões da USEPA e que são os padrões mais rigorosos aplicados a fontes industriais de alta temperatura, incluindo termelétricas a carvão, plantas de cimento e fundições de metal (a tabela também inclui limites de alguns países da América Latina e Caribe). Também, como explicado em 5.10, as emissões das WTE são menores que as emissões de aterros e geralmente são também menores que as emissões de termelétricas a carvão. Recomenda-se que os Editais de Concorrência para uma nova planta WTE sejam baseados em equipamento de CPA que possa resultar em emissões menores que aqueles padrões, mesmo se os padrões nacionais atuais permitam emissões maiores que as mostradas na Tabela 15.

**Tabela 15 Padrões de emissão**

Poluentes	Limites UE	Limites EUA
	Base seca a 11% de O <sub>2</sub> (mg/ Nm <sup>3</sup> )	
TOC	10	15
HCL	10	29
HF	1	NA
SO <sub>2</sub>	50	61
NO <sub>x</sub>	200	219
Cd	0,05 total	0,008
Cd, Ti		NA
Hg	0,05	0,04
Pb		0,11
Pb, As, Sb, Cr, Cu, Mn, Ni, V	0,5 total	NA
CO	50	89
Dioxinas e furanos	0,1 ng/Nm <sup>3</sup>	9,9 ng dioxina total = 0,1 ngTEQ

#### **5.16 Quadro de Pessoal para planta WTE de médio porte e três linhas**

O pessoal requerido para a operação de uma planta WTE de porte pequeno a médio, com uma linha (10 a 20 toneladas por hora ou 80.000 a 160.000 toneladas por ano) consiste de:

- 1 Gerente de unidade
- 2 Gerente assistente
- 3 Equipe administrativa
- 4 Engenheiro chefe
- 5 Engenheiro assistente
- 6 Laboratorista (2)
- 7 Supervisor de turno (5)
- 8 Operadores de sala de controle (5)
- 9 Operador de grua (10)
- 10 Segurança (2)
- 11 Porteiro (2)
- 12 outros (4)
- 13 Total: 40

*O número total de empregados varia de cerca de 40 pessoas para uma planta de 1 linha a 50 pessoas para uma planta de um milhão de toneladas formada por três linhas. O futuro gerente deve ser envolvido no projeto desde o início para entender por que e como decisões foram tomadas. O treinamento de pessoal deve estar incluído nos custos de capital, providenciado pelo fabricante. O pessoal deve ser contratado entre 6 e 12 meses antes do comissionamento da planta e deve ser treinado nas instalações operacionais antes da partida da planta. Estes serviços estão muitas vezes incluídos no contrato com o fornecedor. Tipicamente, uma parada de linha é requerida uma vez por ano.*

### **5.17 Custos de capital e operacionais**

*O custo operacional e de capital, e também as receitas, de plantas WTE é exemplificado em três estudos de caso discutidos na segunda parte deste Guia.*

**Custos de capital:** *Incluem terreno, construção da planta, serviços e outras infraestruturas (por exemplo, estradas). Estes custos variam de acordo como local específico e também parte do equipamento deve ser importado. Portanto dados sobre mão de obra e materiais locais devem ser elencados e riscos do câmbio devem ser considerados. Como notado antes, devido ao seu tamanho, necessidade de alto índice de disponibilidade e sistema de CPA altamente avançado, plantas WTE têm alto custo de construção. Dependendo de sua capacidade e localização, uma planta WTE pode custar entre US\$ 500 e US\$ 1.000 por tonelada de capacidade anual (ou até US\$ 2.000/t, como indicado pelo Banco Mundial.*

*A recuperação do investimento, incluindo custos de partida, é o maior item de custo de uma instalação WTE. Em alguns países, parte do custo de capital é provida na forma de um empréstimo por governos locais, nacionais ou internacionais, ou organismos multilaterais. O futuro proprietário das instalações, tanto privado ou uma parceria público-privada (PPP), providencia outra parte, e o restante é obtido na forma de um empréstimo de longo prazo de um banco nacional ou internacional. Pode-se assumir um tempo de vida para o projeto de 20 anos, embora a experiência internacional tenha mostrado que tais plantas são constantemente mantidas e melhoradas; desta forma, similar a pontes e outras infraestruturas, elas tem vidas úteis muito longas. Um exemplo nos EUA é a instalação de Saugus, MA da Wheelabrator Technologies, que completou 34 anos de serviço e hoje está em melhores condições do que quando foi construída.*

**Efeito da disponibilidade da planta sobre os custos de capital por tonelada de RSU:** *A disponibilidade de planta é um fator muito importante para a rentabilidade de uma*

planta WTE. É calculada dividindo-se o número de horas em que a planta opera na capacidade de projeto (por exemplo, 30 t/ hora) pelo número total de horas do ano. As horas de não operação incluem paradas programadas mais não programadas, interrupções de curta duração devido a problemas temporários com algum equipamento. É evidente que se a disponibilidade da planta é, por exemplo, 60%, ao invés dos 90% de projeto, o custo de capital por tonelada de RSU processado será 50% maior.

**Custos de operação** incluem:

- Pessoal
- Produtos químicos para o sistema CPA: cal, ureia, carbono ativado, etc.
- Manutenção de equipamentos
- Manuseio e disposição de cinzas
- Limpeza do gás
- Testes ambientais
- Seguro

### **5.18 Receitas**

**Taxa de Despejo:** A fonte primária de receita para uma planta WTE é o pagamento de uma “taxa de despejo” por tonelada de RSU entregue à unidade de processamento. Deve-se notar que uma taxa de despejo é também requerida para o aterramento sanitário, mas é usualmente menor que a taxa de despejo do WTE, a menos que o governo nacional imponha uma taxa sobre o aterramento. Nos EUA, a taxa de despejo varia de US\$ 53/t na Flórida a US\$ 85 /t em Nova Jersey. A taxa para aterramento varia de US\$ 28/t no Texas a US\$ 96/t em New Hampshire. Nos três estudos de caso da América Latina (segunda parte do Guia), a taxa de despejo do aterro sanitário variou de US\$ 13 a US\$ 20 /t. Na Europa, por exemplo no Reino Unido, (WRAP, 2011), as taxas de despejo para plantas WTE variam entre US\$ 80 e US\$ 150/ t, na Dinamarca e Alemanha (Relatórios de Países para o CEWEP), entre US\$ 100 e US\$ 150 /t.

Em alguns países desenvolvidos os cidadão pagam pelos serviços de gestão dos resíduos da mesma forma que pagam por outros serviços, como eletricidade e água. Em outros, o governo subsidia a taxa de despejo através de várias outras taxas de modo que os cidadãos não têm uma indicação direta do custo para a gestão dos seus resíduos.

**Venda de eletricidade e vapor:** A venda de eletricidade e vapor representa a segunda fonte de receita importante para uma planta WTE. O seu cálculo vai depender de a)

saídas comprovadas de uma tecnologia particular, b) disponibilidade projetada de uma planta WTE, e c) acordos locais, por exemplo, com indústrias de energia ou outras, para compra de longo prazo da energia da planta.

**Créditos de carbono:** Os preços do CRE variam em função de alguns fatores. No mercado atual de CREs, o preço de um CRE está na faixa de US\$ 12 a 20. Esta é uma receita atrativa, que deve ser considerada quando do desenvolvimento de uma instalação WTE em uma região.

**Outras receitas:** Como citado anteriormente, metais ferrosos e não ferrosos podem ser recuperados das cinzas de fundo da planta WTE. A porção que pode ser recuperada é aproximadamente de 50% dos metais ferrosos e 8% dos não ferrosos.

### **5.19 Partes principais de uma planta WTE**

A construção de uma planta WTE se divide normalmente nas seguintes partes principais:

- Obras civis (preparação de terreno, construção, serviços, paisagismo)
- Equipamentos da câmara e grelha de combustão, incluindo manuseio de cinzas
- Caldeira
- Sistema de controle ambiental
- Turbina a vapor

A proposta dos Fornecedores principais participantes de uma Licitação colocada no mercado por autoridades públicas devem especificar os equipamentos a serem usados e os subfornecedores que fornecerão os diferentes componentes. Para reduzir os custos de capital, os serviços de construção e o fornecimento de equipamentos e materiais devem ser providos por fornecedores locais tanto quanto possível.

### **5.20 Fornecedores de plantas WTE**

Como comentado antes, os componentes cruciais de uma planta WTE são a câmara de combustão e a grelha móvel. Existem vários fornecedores Europeus, Americanos e Chineses de tais equipamentos, incluindo Martin GmbH, Hitachi Zosen Inova, CNIM, Keppel Seghers, , Baumgarte, Fisia Babcock, Babcock & Wilcox, Volund, Covanta Energy, Wheelabrator, Technologies, Urbaser, Sanfeng Covanta, e outros. O Apêndice 3 oferece uma lista de fornecedores de tecnologias e equipamentos WTE.

Algumas destas empresas podem também atuar como fornecedor principal, com subcontratadas fornecendo os serviços civis, caldeira, turbina a vapor e sistema de controle ambiental. É muito importante que o contrato com o fornecedor principal inclua serviços de treinamento e acompanhamento da partida.

Uma lista de fornecedores é apresentada no Apêndice 1. Uma tabela com todas as plantas WTE do mundo pode ser vista no Apêndice 3.

### **5.21 Modelos de negócios usados para a gestão de uma planta WTE durante um período de tempo (usualmente 20 anos)**

*-Propriedade pública: Financiamento, projeto, licitação, construção e operação.*

*-Propriedade pública: Financiamento, projeto, licitação e construção; contrato de concessão com empresa privada para operar.*

*-Propriedade pública: Contrato de concessão com empresa privada para projetar, construir e operar (este é o modelo de negócio selecionado pelo condado de Durham, Ontario para uma planta WTE com início de construção em Agosto 2011).*

*-Parceria público-privada (PPP): Financiamento, projeto, licitação, construção e operação com propriedade privada transferida para o poder público ao fim da concessão.*

*-Propriedade privada: Financiamento e propriedade 100% privados das instalações, através de concessão ou licença de operação; a propriedade é revertida para o poder público ao fim da concessão. Também é chamado de arranjo BOT (Build-Own-Transfer, ou constrói-detém-transfere).*

*-Propriedade privada: Companhia privada é proprietária de 100% das instalações através de uma licença de operação durante o período de concessão. O poder público pode comprar a planta ao fim da concessão a preço de mercado.*

### **5.22 Ciclo de projeto**

*O ciclo de projeto de uma planta WTE consiste de vários estágios:*

***Estudo de pré-viabilidade:*** *é conduzido com o uso de dados disponíveis e fornece uma estimativa da ordem de grandeza da geração e composição do RSU, capacidade desejável da planta, características operacionais incluindo geração de energia projetada, custos de capital e operacionais, e receitas. Com base neste estudo de pré-viabilidade é decidido se se deve continuar para os estágios seguintes de Viabilidade e Licitação.*

***Viabilidade de Licitação:*** *A viabilidade do Projeto é estabelecida através de dados de engenharia detalhada sobre cada aspecto do projeto de forma a se obter estimativas*

*confiáveis e precisas. Neste estágio são estabelecidas as responsabilidades de cada parte interessada e são feitos os acordos em relação a suprimento de resíduos e à venda de energia. Todas as questões financeiras são também resolvidas, ou seja, o modelo de financiamento de projeto deve ser decidido.*

*Licitação se divide em dois estágios: a) lançamento de um questionário de pré-qualificação (Request for Qualification – RFQ) de fornecedores e avaliação das respostas enviadas; e b) seleção das empresas a serem convidadas para uma concorrência (Request for Proposals – RFP), negociação relativa às respectivas responsabilidades e seleção da empresa para construir a planta WTE. Estes aspectos serão discutidos abaixo no Processo de Contratação*

### **5.23 Processo de Contratação**

**Estágio 1 - questionário de pré-qualificação (RFQ)** dos fornecedores, alguns dos quais serão convidados para o próximo estágio, a concorrência (RFP).

#### **a) Critérios técnicos**

- Documentação técnica completa
- Tecnologia WTE proposta
- Time central de projeto proposto
- Locais de referência onde a tecnologia proposta está sendo usada
- Registros de disponibilidade de planta e geração de energia
- Outros

#### **b) Critérios Financeiros**

- Capacidade de obter financiamento
- Capacidade de construção
- Outros

**Estágio 2 - Concorrência (RFP):** Receber, revisar e avaliar as propostas, identificação dos fornecedores preferenciais e negociação do contrato comercial.

*-Identificar uma empresa com a qual contratos de projeto, construção, construção, ou outros, serão firmados e executados por um período de 20 anos. Pode haver também um “acordo pré-operacional” com esta empresa para obtenção de informações*

*proprietárias que possam ser necessárias para concluir a Avaliação Ambiental do projeto.*

*-Negociação de um contrato comercial de longo prazo de acordo com o modelo comercial escolhido.*

#### **5.24 Uso de Consultor Independente e monitoração do processo de contratação**

*Com base no estudo de pré-viabilidade de um projeto WTE, o poder público pode decidir continuar com a implantação do projeto e o lançamento de um questionário de pré-qualificação de fornecedores (RFQ). Recomenda-se que neste ponto a autoridade incumbente responsável pelo projeto contrate os serviços de uma empresa de engenharia que vai atuar como um consultor durante a execução do projeto. Esta empresa deve ter um histórico de atuação em projetos WTE do mesmo porte. O consultor servirá também como um monitor independente do processo de contratação:*

- Revisão da adequação das bases dos critérios para as solicitações de RFQ e RFP*
- Revisão de um Acordo de Participação que todas as empresas participantes do RFQ deverão assinar para ter acesso aos dados do estudo de Pré-viabilidade.*
- Participar do desenvolvimento dos procedimentos e princípios para avaliação das propostas apresentadas.*
- Monitorar a condução de reuniões “comercialmente confidenciais” com cada proponente pré-qualificado.*
- 

#### **5.25 Obrigações contratuais do Fornecedor principal e do poder público**

*-As Propostas vão incorporar tecnologias de estado da arte de controle ambiental que atendam ou superem os padrões de emissão e monitoração da união Europeia, assim como a MACT da USEPA.*

*-Capacidade da planta, diária e anual, acordada entre as partes.*

*-Controle total do fluxo de RSU pela autoridade pública.*

*-Garantias contratuais de emissão, associadas a ações contratuais corretivas contundentes, para atendimento dos limites da UE e USPA.*

*-Capacidade da planta deve ser suficiente para aumento da taxa de reciclagem*

*-Aspectos estéticos da planta (arquitetura, paisagismo, conveniências para visitantes).*

*-Geração de Energia Elétrica, em MW e MWh/ano; conexão à rede elétrica; preços garantidos pela eletricidade.*

*-Prever sistemas de aquecimento/ refrigeração para indústria/comércio.*

Obrigações finais:

*-Penalidades se a taxa real de processamento for menor que a capacidade instalada, após ter sido acordado no período de partida da planta.*

*-Penalidades por entrega a menor de RSU pelo usuário (autoridade incumbente) em relação à capacidade nominal da planta WTE.*

*-Acordo sobre as tarifas de despejo por tonelada de RSU processado e sobre os métodos de correção monetária.*

**5.26 Cronogramas típicos para a conclusão do projeto.**

*Estudo de pré-viabilidade incluindo locação da planta WTE: 12 meses*

*Estudo de viabilidade e análise de custo/ benefício, incluindo projeto da planta WTE: 4 meses*

*Preparação e lançamento dos documentos da licitação: 6 meses*

**Contratação: [15 meses]**

*Mês 1: Lançamento do Questionário de Pré-qualificação*

*Mês 3: Recebimento das respostas ao Questionário*

*Mês 5: Processo de licitação com as empresas qualificadas*

*Mês 8: Recebimento das propostas das empresas*

*Mês 10: Seleção da empresa vencedora, que vai construir a planta WTE*

*Licenças ambientais para a instalação: 10 meses*

*Complementos ao projeto de acordo com a licença ambiental: 1 mês*

*Fase de construção: 24 meses*

**Total: 72 meses**

## **5.27 Questões regulatórias, sociais, e outras**

*Leis nacionais e locais que afetam a implantação e operação das instalações WTE variam em ampla gama, como é ilustrado pelos três Estudos de Caso apresentados neste Guia.*

**Sistema de gestão de resíduos:** *Um requisito básico para a introdução do WTE é que um sistema de gestão de resíduos funcional exista na região. Sem isto, a quantidade de resíduo entregue à planta não pode ser garantida, e a construção da planta pode ser muito arriscada.*

**Sinergias com outras entidades e comunidades vizinhas:** *Sinergias com indústrias (ou Parques Eco-industriais) interessadas na aquisição de calor (vapor), ou indústrias interessadas na compra de materiais recicláveis (p.e.: metais), podem ajudar a planta a garantir certas receitas. Além disso, acordos com comunidades vizinhas podem ajudar a aumentar a rentabilidade da planta WTE pelo aumento do seu suprimento de matéria-prima.*

**Informação pública:** *Aceitação pública é essencial para o sucesso de um projeto WTE. Alguns projetos WTE ao redor do mundo fracassaram ou foram suspensos por vários anos devido a informações inadequadas ao público a respeito dos benefícios ambientais comparados ao aterro. Portanto, é importante disponibilizar informação completa e detalhada sobre o projeto para a comunidade desde o início. Grupos comunitários devem ser formados para explicar os impactos da planta para a comunidade. É importante ouvir as preocupações das pessoas, tratar qualquer mal entendido e eliminar as concepções erradas, como a de que WTE compete com a reciclagem. Inicialmente um plano de comunicação e acompanhamento público deve ser desenvolvido descrevendo os alvos principais da campanha de acompanhamento público e as principais ferramentas para sua implantação.*

*A campanha de informação pública deve procurar:*

- *Sublinhar a utilização da energia dos resíduos e assegurar a aceitação pública via a promoção dos benefícios para a sociedade. O alvo básico da campanha deve ser a comunicação do WTE como uma prática confiável de gestão de resíduos que está fortemente conectada com a gestão de resíduos e desenvolvimento sustentável.*
- *Tratar as resistências e contornar as percepções negativas em relação às plantas WTE (especialmente em relação aos cidadãos que moram próximos às instalações). A percepção negativa dos cidadãos em relação a plantas WTE é parcialmente baseada em concepções erradas ou falsas informações de que a*

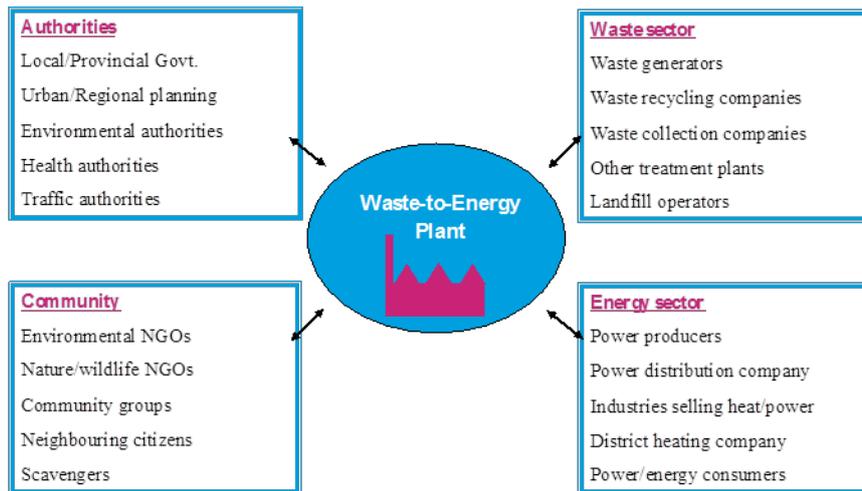
*planta WTE vai resultar em emissões atmosféricas perigosas – principalmente dioxinas.*

*Para finalizar o plano de comunicação, as medidas propostas devem ser implantadas para que o público fique ciente dos benefícios de se desenvolver plantas WTE, e desta forma a oposição pode ser reduzida. Tais ferramentas incluem:*

- *Mídia de massa*
  - *Chamadas na TV a nível nacional e local*
  - *Chamadas no rádio a nível nacional e local*
  - *Anúncios na imprensa nacional e local*
  - *Site na internet*
  - *Distribuição direta de material por email, correio, etc*
  - *Boletins*
  
- *Meios de promoção*
  - *Distribuição de brochuras*
  - *Distribuição de guias, revistas*
  - *Desenvolvimento de pôsteres e propagandas em pontos ventrais*
  
- *Meios de comunicação direta*
  - *Discussões*
  - *Carta às artes interessadas*
  - *Participação/organização de seminários, conferências*
  - *Criação de um número de telefone de assistência*

**Partes interessadas:** *Várias entidades serão afetadas de diferentes maneiras pelo projeto WTE:*

- *Agentes públicos e empresas privadas envolvidos na coleta e disposição de resíduos: todas as entidades no sistema de gestão de resíduos precisam fazer parte do projeto de forma a assegurar que haverá quantidade de resíduo suficiente para a planta.*
- *Agências e companhias de energia/eletricidade: estas entidades devem ser envolvidas desde o início do projeto para assegurar que a planta esteja alinhada com todas as regulações para a venda e distribuição de energia, e garantir acordos de venda de energia de longo prazo.*
- *Grupos da comunidade: como mencionado acima, é importante envolver a comunidade desde o início, para evitar oposição da população.*



**Figura 40 Partes interessadas do WTE<sup>i</sup>**

### **5.28 Riscos e efeitos positivos relacionados com a implantação do WTE**

*Os possíveis riscos e problemas que podem surgir durante a implantação e operação de uma unidade WTE estão relacionados basicamente com a necessidade de haver um fluxo contínuo de resíduos de características similares, e também com o fato de que as taxas globais de gestão de resíduos irão aumentar, e os cidadãos podem não estar aptos a suportar este custo adicional.*

*Quanto ao fluxo de resíduos, um grande risco está associado ao fato de que não é possível se ter uma projeção segura do fluxo futuro de geração de resíduos para os próximos 20 a 30 anos (em termos de tanto de composição quanto de quantidade de resíduos), e mudanças significativas vão afetar a operação e o retorno financeiro da planta. Plantas WTE são intensivas em capital e conseqüentemente os responsáveis pela coleta podem escolher fazer a disposição em aterros controlados ou não, aio invés de direcioná-lo à planta WTE. A incapacidade potencial dos cidadãos de arcar com taxas adicionais também pode contribuir para este resultado.*

*Além disso, caso as quantidades de resíduos que cheguem à planta WTE sejam significativamente menores que as quantidades originalmente previstas, a planta pode não conseguir produzir energia suficiente para que o investimento se torne viável. Também deve ser considerado que a taxa crescente de reciclagem pode afetar o poder calorífico dos resíduos de entrada (já que grande parte dos papéis e plásticos serão desviados do processo WTE) resultando em geração reduzida de energia e conseqüentemente menores receitas. Isto terá um impacto negativo nos custos operacionais e taxa de despejo já que poderá ser necessário o uso de fonte de energia*

convencional (exemplo: gás natural) para manter a carga térmica da câmara de incineração.

Para tratar estes riscos, campanhas contra ou mesmo o banimento de aterros ou subsídios e políticas promovendo as plantas WTE devem ser adotadas para conduzir as práticas de gestão de resíduos para soluções mais modernas. A este respeito, políticas específicas devem ser adotadas para promover a implantação e operação de plantas WTE, incluindo:

- Políticas de financiamento
  - I. Concessões para construção da planta WTE
  - II. Empréstimos com boas condições para a construção da planta WTE
  - III. Isenções fiscais para os operadores da planta WTE
  - IV. Imposição de taxas para os aterros
  - V. Subsídios para preços de energia
  - VI. Subsídios para preços de taxa de despejo
  
- Políticas de legais
  - VII. Restrições para a disposição de resíduos
  - VIII. Simplificação do processo de licenciamento de plantas WTE
  
- Outras políticas
  - IX. Promoção de parcerias público-privadas para a implantação de plantas WTE
  - X. Certificação “verde” da energia gerada na planta WTE

Além disso, deve-se notar que há também riscos não técnicos relacionados com o desenvolvimento da planta WTE, originados das práticas seguidas pelos construtores de plantas para promover o seu produto. Mais especificamente, em muitos casos o processo WTE é promovido como a solução mágica, ignorando os aspectos financeiros, sociais e institucionais da região, assim como o status corrente do sistema de gestão de resíduos (por exemplo, mesmo em áreas muito pobres sem nenhum sistema organizado de gestão de resíduos e nenhuma regulamentação). Em tais casos o desenvolvimento de plantas WTE está fadado ao fracasso e este fato gerou conceitos equivocados sobre a implantação da planta WTE (ou seja, mesmo propostas justificadas e bem desenvolvidas para plantas WTE não são implantadas devido a estes conceitos equivocados). De qualquer forma plantas WTE devem ser implantadas sob condições bastante específicas e todas as características específicas da região afetada

*devem ser levadas em conta para que se tenha certeza que o projeto será bem sucedido.*

*Os sistemas WTE também têm efeitos positivos sobre as áreas onde são implantados, incluindo minimização de resíduos que vão para aterros assim como a geração de energia a partir de fontes não fósseis. Os efeitos gerais positivos dos sistemas WTE incluem:*

- *Crescimento*
  - *Novas oportunidades de emprego e aumento da capacitação nos setores de energia e resíduos*
  - *Transferência de know-how e desenvolvimento de novas estruturas industriais*
- *Independência energética*
  - *Redução da dependência de combustíveis fósseis*
  - *Ajuste fine dos preços da energia para o benefício dos cidadãos*
  - *Aumento da produção de energia a partir de fontes renováveis*
- *Condições ambientais*
  - *Preservação de espaço de aterros através a redução de resíduos destinados aos aterros*
  - *Aumento da produção de energia a partir de fontes renováveis e preservação de recursos naturais, ou seja, combustíveis fósseis*
  - *Redução de emissões atmosféricas (principalmente CO<sub>2</sub>) originadas do consumo de combustíveis fósseis*

### **5.29 Projetos WTE na América Latina e Caribe**

*A aplicação de energias WTE requer um cuidadoso planejamento e o entendimento das condições locais. O objetivo desta seção é descrever as características particulares da América Latina e Caribe (ALC) para examinar se projetos WTE são viáveis nesta região. Por isso as características especiais da região são apresentadas primeiramente e uma tabela no final fornece comentários úteis sobre o processo WTE e essas características.*

*Para começar a ALC é o continente com a segunda maior proporção de população urbana depois da América do Norte. De acordo com dados recentes, 79% da população da ALC vivem em cidades e um em cada 5 habitantes de cidades vive em grandes aglomerados urbanos. Além disso, a ALC possui 51 cidades com mais de 1 milhão de habitantes – 14 delas apenas no Brasil – incluindo 4 megacidades (Cidade do México, São Paulo, Rio de Janeiro e Buenos Aires) e Lima, que está próxima do limite de 10 milhões de habitantes.*

*A urbanização trás consigo alto crescimento da população e da renda, assim como um crescimento espacial imprevisível das cidades. Mais especificamente, de 2002 a 2010, a população urbana da ALC cresceu aproximadamente 63 milhões de habitantes enquanto o PIB/capita cresceu 23%. Áreas urbanas da ALC estão se tornando uma simbiose entre extrema riqueza e extrema pobreza, enquanto permitem a ascensão de uma nova classe média. É característico que 40% da população da Cidade do México e um terço da população de São Paulo estejam na linha de pobreza ou abaixo. Conforme mostram as tendências, a população urbana continuará crescendo a altas taxas, o que valoriza qualquer potencial uso da terra. Estimativas para 2050 apontam para uma população urbana maior em 40% que os níveis atuais, ultrapassando 650 milhões de pessoas.*

*Uma característica significativa, e muitas vezes dominante da gestão dos resíduos sólidos na ALC é o grande e forte setor informal. Os catadores do Brasil, os pepenadores no México e os cartoneros na Argentina são exemplos típicos do setor informal de resíduos, contribuindo ao máximo com a reciclagem e o reuso, e desta forma com a minimização da quantidade de resíduos destinada à disposição. O IDB estima que o setor informal de resíduos na ALC varia de 500.000 a 3,8 milhões de pessoas. Entretanto, à parte da sua grande dimensão, outra característica importante do setor informal é a sua atitude hostil em relação a qualquer mudança potencial nas práticas atuais dos sistemas de gestão de resíduos, por temerem a perda de seus empregos.*

*Apesar do fato de que a operação de aterros não controlados e lixões ao ar livre seja responsável por causar significantes problemas ambientais e de saúde, quase 50% dos resíduos gerados na região não são dispostos apropriadamente, sendo a falta de vontade política e jurisdicional identificadas como as principais causas para esta situação.*

*Prosperidade econômica está diretamente conectada à geração de resíduos sólidos. Evidências empíricas sobre a geração de resíduos mostram que 1% de crescimento do PIB/capita aumenta em 0,69% a quantidade de RSU. Apesar do fato que o crescimento econômico da ALC esteja compreensivelmente diminuindo de 6% em 2010 para 4,5%*

em 2011 e 4% em 2012, as taxas de desenvolvimento ainda são bastante altas, com perspectivas otimistas de continuação do desenvolvimento. É esperado que essa prosperidade econômica leve a um crescimento na geração de resíduos sólidos. Exemplo típico é Brasil, que em 2010 verificou um crescimento de 6% na sua geração de RSU o que, entretanto, caiu para 1,8% em 2011. Desta forma, encontrar uma solução confiável e sustentável para tratamento dos resíduos é mais do que necessário. Entretanto deve-se mencionar que um aumento no PIB/capita faz com que se tornem viáveis e acessíveis as tecnologias de tratamento mais caras, se não em toda a ALC, pelo menos em cidades ou países específicos.

Uma questão adicional ao que foi mencionado acima a respeito de urbanização e desenvolvimento econômico é o suprimento da crescente demanda por energia. Em 2030, com uma modesta taxa de crescimento econômico, a demanda por eletricidade da região da ALC deve chegar a quase 2.500 terawatt-horas (TWh), contra o valor de 1.150 TWh em 2008. Sob esta ótica, o tratamento de resíduos sólidos pode ser usado como uma fonte alternativa de energia, promovendo nestes casos tecnologias que incluem a produção de energia. Entretanto um fator que afeta muito o sucesso de tais tecnologias é o preço de energia que as autoridades públicas estão dispostas a pagar. Como o investimento no aumento da capacidade instalada de geração está estimado em aproximadamente US\$ 430 bilhões entre 2008 e 2030, uma pequena parte disto poderia ser investida em projetos WTE, gerando não apenas eletricidade, mas também provendo uma solução adequada para os resíduos gerados em áreas urbanas e metropolitanas. A tabela abaixo resume as características principais da região da ALC e inclui comentários úteis sobre cada característica.

**Tabela 16 Principais características da América Latina**

<b>Característica</b>	<b>Informação</b>	<b>Comentário</b>
<b>Urbanização</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 79% da população da região da ALC vive em cidades, e dentre estes 1 em 5 vivem em grandes aglomerados urbanos</li> <li>• Entre 2002 e 2010 a população urbana da região da ALC cresceu em quase 63 milhões de habitantes</li> <li>• Estimativas para 2050 mostram aumento da população urbana em 40% sobre a atual, excedendo 650 milhões.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O uso do espaço é valioso para as autoridades públicas. Tecnologias WTE não apenas diminuem o volume de resíduos que deve ser disposto mas também requerem área muito menor quando comparadas aos aterros sanitários.</li> <li>• Características do lixo de áreas urbanas são similares àquelas requeridas para a operação apropriada e sustentável de plantas WTE.</li> <li>• Áreas urbanas e metropolitanas provêm um fluxo regular de resíduos</li> </ul>

<p><b>Setor Informal</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O setor informal na região da ALC é estimado entre 500.000 e 3,8 milhões de pessoas</li> <li>• O setor informal da gestão de resíduos se opõe fortemente a qualquer potencial mudança na situação atual do sistema de gestão de resíduos, temendo a perda de empregos em função disto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A aplicação de qualquer tecnologia WTE na região da ALC deve fortemente levar em consideração o setor informal.</li> <li>• Primeiramente os planejadores devem avaliar se podem integrar o setor informal ao novo sistema dando-lhes empregos, já que coletar lixo na maioria dos casos é a única coisa que sabem fazer. De outra forma, os planejadores devem avaliar se as partes podem coexistir e se beneficiar mutuamente.</li> </ul>
<p><b>Tratamento de resíduos ineficiente</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quase 50% de todo o resíduo gerado na região da ALC não é disposto apropriadamente</li> <li>• Falta de vontade política e legal foram identificados como as razões principais para isto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As modernas tecnologias WTE garantem o tratamento adequado do RSU, requerendo entretanto um embasamento institucional para evitar eventos de operação inadequada</li> </ul>
<p><b>Prosperidade econômica e geração de resíduos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crescimento de 1% do PIB/capita leva a um aumento de 0,69% na quantidade de RSU</li> <li>• O crescimento econômico da região da ALC está compreensivelmente diminuindo de 6% em 2010 para 4,5% em 2011 e 4% em 2012, entretanto com expectativas de manutenção de altas taxas de desenvolvimento.</li> <li>• A prosperidade econômica deve levar ao aumento na geração de resíduos sólidos, tornando indispensável a procura de uma solução confiável e sustentável.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O desenvolvimento econômico pode levar as tecnologias WTE a serem viáveis e acessíveis, se não em toda a ALC, pelo menos em cidades ou países específicos.</li> <li>• Usando a economia de escala, as autoridades podem se beneficiar da geração crescente de resíduos e obter melhores condições financeiras para a construção e operação de plantas WTE.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Em 2030, com uma taxa modesta de crescimento econômico, a demanda por energia da região da ALC vai atingir quase 2.500 terawatt-hora (TWh), contra o valor de 1.150 TWh em 2008.</li> <li>• É o preço da energia gerada que, em grande medida, determina o sucesso e a viabilidade de um projeto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• WTE pode ser uma fonte de energia alternativa, sendo ao mesmo tempo um elemento de diminuição líquida de emissão de CO<sub>2</sub>.</li> <li>• Em áreas com alta demanda por energia, pode-se obter um preço melhor para a energia gerada pelas unidades WTE.</li> <li>• Do total de US\$ 430 bilhões</li> </ul>

<b><i>Demanda por energia</i></b>		<i>previstos para serem investidos em geração de energia entre 2008 e 2030, uma pequena parte poderia ser investida em projetos WTE, não apenas para a geração de energia, mas também para prover uma destinação apropriada para os resíduos gerados na região.</i>
-----------------------------------	--	---

*Outro elemento na região da ALC, que pode afetar o desenvolvimento das plantas WTE é a diferença significativa dos preços de energia entre os países. Essa diferenciação tem um impacto direto na sustentabilidade das plantas WTE e tem um efeito real sobre as receitas da planta.*

*Além disso, deve-se notar que as práticas atuais de gestão de resíduos implantadas na região da ALC são em sua maioria desatualizadas e há um déficit de capacidade tecnológica e de know-how, e este fato é barreira importante para o desenvolvimento de projetos WTE nesta área, pois plantas WTE requerem pessoal especializado para acompanhar sua construção e operação, assim como monitorar os elementos contratuais do desenvolvimento do WTE. Também é digno de nota que em muitos países não há um arcabouço legal que direcione o desenvolvimento de instalações de gestão de resíduos e especialmente de plantas WTE e devido a este atraso é difícil regular e monitorar as performances técnica e ambiental dessas instalações.*

## **6 Conclusões deste Guia**

*Ao longo das duas últimas décadas, a indústria WTE na Europa, América do Norte e Ásia desenvolveu tecnologias que são agora uma das formas viáveis de geração termelétrica de energia. A tecnologia WTE dominante, com grande margem, praticada em mais de 600 plantas em mais de quarenta países, é a combustão direta em grelha do RSU, com produção de eletricidade e vapor. Esta tecnologia, oferecida por diversos fornecedores na Europa, EUA e Ásia, é a recomendada para as primeiras plantas WTE para os países da região da ALC. Entretanto processos alternativos estão sob constante*

*desenvolvimento e é possível que um ou mais delas possam resultar em menores custos de investimento, por capacidade de processamento, do que a tecnologia de queima direta em câmara de combustão com grelha.*

*Considerando as taxas de despejo atuais para os aterros na América Latina, o processo WTE não é economicamente viável sem algum tipo de suporte governamental. Entretanto a diferença entre as atuais taxas de despejo para locais de disposição final na América Latina e a taxa de despejo requerida para sustentar um processo WTE, com os preços atuais de energia, é estimada em US\$ 20 a 30 por tonelada de MSW.*

*Atualmente as cidades da região da ALC não recebem normalmente qualquer retorno da gestão de resíduos sólidos, tendo que cobrir estes custos com outras fontes de receita; portanto elas não podem suportar uma taxa de despejo mais alta. Apenas parte da população suporta a conta para a gestão de resíduos através do pagamento de taxas de propriedade e, além disso, esta taxa não depende da quantidade de resíduo gerado.*

*Em todos os casos estudados, as cidades desta região alocam uma fração significativa do seu orçamento para a gestão de resíduos sólidos, mas 70-80% disto vai para a coleta e transporte do MSW e apenas 20-30% vai para a disposição adequada do RSU. Também há uma grande variação de custos de coleta entre municípios da mesma região. O plano para um processo WTE na região da ALC deve considerar meios mais eficientes e menos dispendiosos de coleta e transporte do RSU para a planta WTE.*

*E como se tem observado nos últimos 20 anos, as receitas do processo WTE com eletricidade crescerão com o tempo, enquanto o custo com a transformação de novos terrenos em aterros sanitários também crescerá. Além disso, a análise econômica desenvolvida neste Relatório é baseada em um ciclo de vida de 20 anos para a planta WTE proposta, enquanto algumas plantas WTE modernas já atingiram 40 anos de operação e continuarão operando no futuro próximo.*

*Este Guia recomenda que os governos, em nível nacional, coloquem a gestão sustentável de resíduos no topo da sua lista de projetos essenciais de infraestrutura, de forma similar ao que fizeram no passado em relação à disponibilização de água potável, energia elétrica e tratamento de esgoto. O que pode não ser economicamente viável na perspectiva de curto prazo do investidor privado pode ser um bônus econômico visto da perspectiva de longo prazo de uma nação, que inclui a criação de empregos para a construção de uma planta WTE, a adição de uma fonte local de geração de energia, a quantidade de terra conservada, e algumas vantagens ambientais e de geração de gases de efeito estufa processo WTE sobre os aterros. Pode ser então prudente para o governo nacional ou regional considerar a usa*

*participação em parcerias público-privadas que permitirão ao País avançar na direção de uma gestão de resíduos mais sustentável.*

## **Apêndices da Parte 1**

### *Apêndice 1: Lista de fornecedores WTE*

**Tabela 17 Fornecedores de WTE**

<b>Empresa</b>	<b>Website</b>	<b>País</b>
<b>Alstom Corporation</b>	<a href="http://www.alstom.com">www.alstom.com</a>	<b>França</b>

<b>Babcock Noell</b>	<a href="http://www.babcocknoell.de">www.babcocknoell.de</a>	Alemanha
<b>Babcock &amp; Wilcox Volund</b>	<a href="http://www.volund.dk">www.volund.dk</a>	Dinamarca
<b>CNIM (Martin GmbH detem 10.25% da CNIM)</b>	<a href="http://www.cnim.com">www.cnim.com</a>	França
<b>Covanta Energy</b>	<a href="http://www.covantaenergy.com">www.covantaenergy.com</a>	EUA
<b>Fisia Babcock Environment GmbH</b>	<a href="http://www.fisia-babcock.com">www.fisia-babcock.com</a>	Alemanha
<b>Groupe TIRU</b>	<a href="http://www.groupe-tiru.com">www.groupe-tiru.com</a>	França
<b>Hangzhou New Century Energy and Environmental</b>	<a href="http://www.chinaboilers.com/en/filiale_detail.asp?id=62">www.chinaboilers.com/en/filiale_detail.asp?id=62</a>	China
<b>Hitachi Zosen Inova AG (antiga Von Roll Inova)</b>	<a href="http://www.hz-inova.com">www.hz-inova.com</a>	Suíça
<b>Inova</b>	<a href="http://www.inova-groupe.com">www.inova-groupe.com</a>	França
<b>JFE Steel Corporation</b>	<a href="http://www.jfe-steel.co.jp/en/">www.jfe-steel.co.jp/en/</a>	Japão
<b>Jiangsu Kelin Environmental and Equipment</b>	<a href="http://www.kelin-china.com/en/gy01.htm">www.kelin-china.com/en/gy01.htm</a>	China
<b>Kawasaki Heavy Industries Ltd.</b>	<a href="http://www.khi.co.jp">www.khi.co.jp</a>	Japão
<b>Keppel Seghers</b>	<a href="http://www.keppelseghers.com">www.keppelseghers.com</a>	Multinacional
<b>Martin GmbH</b>	<a href="http://www.martingmbh.de">www.martingmbh.de</a>	Alemanha
<b>Mitsubishi Heavy Industries</b>	<a href="http://www.mhi.co.jp/en/">www.mhi.co.jp/en/</a>	Japão
<b>Standardkessel Baumgarte Holding GmbH</b>	<a href="http://www.standardkessel-baumgarte.com">www.standardkessel-baumgarte.com</a>	Alemanha
<b>Sanfeng Covanta</b>	<a href="http://www.covantaenergy.com/facilities/asia-pacific.aspx">www.covantaenergy.com/facilities/asia-pacific.aspx</a>	China
<b>Sinosteel Tiancheng Environmental Protection Science and Technology</b>	<a href="http://en.sinosteel.com/qqzg/kjqy/2007-09-13/1743.shtml">http://en.sinosteel.com/qqzg/kjqy/2007-09-13/1743.shtml</a>	China
<b>Takuma Co., LTD</b>	<a href="http://www.takuma.co.jp/english/index.html">www.takuma.co.jp/english/index.html</a>	Japão
<b>Urbaser S.A.</b>	<a href="http://www.urbaser.es">www.urbaser.es</a>	Espanha
<b>Weiming Group</b>	<a href="http://www.wmgroun.cn/en">http://www.wmgroun.cn/en</a>	China
<b>Wheelabrator Technologies Inc.</b>	<a href="http://www.wheelabratortechologies.com">www.wheelabratortechologies.com</a>	EUA
<b>Wuxi Huaguang Boiler</b>	<a href="http://www.wxboiler.cn/en/about.asp">www.wxboiler.cn/en/about.asp</a>	China
<b>Wuxi Xuelang Environmental Science and Technology</b>		China
<b>Zhejiang Feida Environmental Science &amp; Technology</b>	<a href="http://www.feidagroup.cn">www.feidagroup.cn</a>	China
<b>Zhejiang University</b>	<a href="http://www.zju.edu.cn/english/">www.zju.edu.cn/english/</a>	China

## Apêndice 2: Custo de capital divulgado de algumas plantas WTE

Tabela 18 Custo de capital divulgado de algumas plantas WTE

Localização	Ano de partida	Capacidade (t/ano)	Custo de capital (US\$ de 2011)	Custo de capital (US\$ /t)
<b>Ranheim, Noruega</b>	1997	10.000	18	1.781
<b>Averoy, Noruega</b>	2000	30.000	39	1.285
<b>Isle of Wight, Reino Unido</b>	2009	30.000	13	444
<b>Sault Ste. Marie, On, Canada</b>	a confirmar 2011	35.000	31	874
<b>Hurum, Noruega</b>	2001	39.000	31	800
<b>Minden, Alemanha</b>	2001	39.000	32	819

<b>Forus, Noruega</b>	2002	39.000	38	987
<b>St. Lucia</b>	a confirmar 2011	45.000	50	1.111
<b>Ramboll 1</b>	Não divulgado	48.000	30	625
<b>Ramboll 2</b>	Não divulgado	64.000	66	1.031
<b>Bermuda</b>	1994	68.000	98	1.441
<b>Ramboll 3</b>	Não divulgado	72.000	60	833
<b>Sarpsborg, Noruega</b>	2002	78.000	49	628
<b>Ramboll 4</b>	Não divulgado	80.000	73	913
<b>Martinica</b>	2002	112.000	87	780
<b>Ramboll 5</b>	Não divulgado	120.000	91	758
<b>Zhejiang, China</b>	2003	128.000	17	129
<b>Guangdong, China</b>	2003	150.000	42	282
<b>Zhejiang, China</b>	2004	150.000	39	258
<b>Ramboll 6</b>	Não divulgado	160.000	112	700
<b>Ramboll 7</b>	Não divulgado	160.000	139	869
<b>Ramboll 8</b>	Não divulgado	192.000	147	766
<b>Ramboll 9</b>	Não divulgado	200.000	138	690
<b>Ramboll 10</b>	Não divulgado	200.000	185	925
<b>Ramboll 11</b>	Não divulgado	208.000	184	885
<b>Ramboll 13</b>	Planejado	220.000	200	909
<b>Guangdong, China</b>	2005	225.000	51	224
<b>Zhejiang, China</b>	2003	225.000	33	145
<b>Spokane, Wa, EUA</b>	1991	248.200	253	1.018
<b>Guangdong, China</b>	2005	267.000	76	286
<b>Guangdong, China</b>	2005	267.000	62	232
<b>Ramboll 12</b>	Não divulgado	280.000	176	629
<b>Mauritius</b>	NA	300.000	200	667
<b>Guangdong, China</b>	2005	300.000	111	371
<b>Zhejiang, China</b>	2005	300.000	39	131
<b>Fujian, China</b>	2005	333.000	39	117
<b>Jiangsu, China</b>	2005	333.000	88	265
<b>Jiangsu, China</b>	2005	333.000	53	159
<b>Zhejiang, China</b>	2001	350.000	76	218
<b>Moscow, Russia</b>	2007	360.000	288	800
<b>Shanghai, China</b>	2002	365.000	118	323
<b>Chongqing, China</b>	2005	400.000	56	139
<b>Guangdong, China</b>	2005	400.000	111	277
<b>Tianjin, China</b>	2005	400.000	95	238
<b>Shanghai, China</b>	2003	500.000	165	331
<b>Palm Beach, FL, EUA</b>	Planejado	1.000.000	668	668

### Apêndice 3: Plantas WTE operando no mundo

Essa planilha Excell foi construída pela EEC da Columbia com base em dados de 2011 obtidos de fornecedores de fornalhas WTE em todo o mundo. Ela permite uma consulta por país, tamanho, geração de energia, fornecedor, etc., e está disponível na rede WTERT, [www.wetert.org](http://www.wetert.org), base de dados SOFOS “WTE plants 2011”.

## **Bibliografia da Parte 1**

T. Rand, J. Haukohl, U. Marxen. “Municipal Solid Waste Incineration, A Decision Maker’s Guide”. World Bank, Junho 2000. Disponível em, [http://www.wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2000/08/14/000094946\\_00072505420045/Rendered/PDF/multi\\_page.pdf](http://www.wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2000/08/14/000094946_00072505420045/Rendered/PDF/multi_page.pdf)

Encyclopedia of the Science and Technology of Sustainability, R.A. Meyers, Editor; “Waste-to-Energy Volume”, N. J. Themelis, editor, Springer Publishing (in press). <http://www.springer.com/physics/book/978-0-387-89469-0>

Waste-to-Energy in Austria, 2nd Edition, Ministry of Environment of Austria English Translation, by Franz Neubacher. Maio 2010 <http://www.lebensministerium.at/suchergebnisse.html?queryString=Franz+Neubacher>

Themelis, N.J., "Global Growth of Traditional and Novel Thermal Treatment Technologies", *Waste Management World, Review Issue 2007-2008*, p. 37-47, Julho-Agosto 2007

EPA Report, *GHG emissions of solid wastes*. Disponível em, [http://www.epa.gov/climatechange/emissions/downloads/08\\_Waste.pdf](http://www.epa.gov/climatechange/emissions/downloads/08_Waste.pdf)

USEPA, "Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2006", *Waste*.

USEPA-LMOP, "Energy Projects and Candidate Landfills". Disponível em, [www.epa.gov/lmop/proj/index.htm](http://www.epa.gov/lmop/proj/index.htm)

HSC Chemistry, *Chemical Reaction and Equilibrium Software*, Outotec, Finland. Disponível em, <http://www.hsc-chemistry.net/>

USEPA: <http://www.epa.gov>

EUROSTAT: <http://ec.europa.eu/eurostat>

WORLD BANK: <http://www.worldbank.org/>

WASTE MANAGEMENT WORLD: <http://www.waste-management-world.com>

WRAP. "Comparing the costs of alternative waste treatment options" 2011, source:<http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Gate%20Fees%20Report%202011.pdf>

European Commission. "Reference Document on the Best Available Technique for Waste Incineration", EU IPPC Bureau, Agosto 2006

European Commission. "Reference Document on the Best Available Technique on General Principles of Monitoring", EU IPPC Bureau, Julho 2003

WORLD BANK, "Decision Makers' Guide to Incineration of Municipal Solid Waste", 2000

Confederation of European Waste –to-Energy plants: <http://www.cewep.eu>  
Christensen, T., H. (2011), "Solid Waste Technology & Management", Vol. 1-2, Blackwell Publishing Ltd, ISBN: 978-1-405-17517-3

UNEP (2009), 'Integrated Solid Waste Management-Training Manual', Vol. 1: Waste Characterization and Quantification with Projections for Future, Disponível em: [http://www.unep.or.jp/ietc/publications/spc/iswmplan\\_vol1.pdf](http://www.unep.or.jp/ietc/publications/spc/iswmplan_vol1.pdf), Acesso em 13th Junho 2012.

Klundert, Ar., Anschutz, J. (1999), "Integrated Sustainable Waste Management: the selection of appropriate technologies and the design of sustainable systems is not (only) a technical issue", Disponível em: [http://www.worldbank.org/urban/solid\\_wm/erm/Annexes/US%20Sizes/Annex%204B.3.pdf](http://www.worldbank.org/urban/solid_wm/erm/Annexes/US%20Sizes/Annex%204B.3.pdf), Acesso em 13th Junho 2012.

UN-HABITAT (2010), "Solid Waste Management in the World's Cities/Water & Sanitation in the World's Cities 2010", Malta, Disponível em: <http://www.unhabitat.org/pmss/getElectronicVersion.aspx?nr=2918&alt=1>, Acesso em 13th Junho 2012

Klundert, Ar., Anschutz, J. (2001), 'Integrated Sustainable Waste Management - the Concept – Tools for Decision-makers - Experiences from the Urban Waste Expertise

Programme (1995-2001)', Disponível em:

[http://www.waste.nl/sites/default/files/product/files/tools\\_iswm\\_concept\\_eng1.pdf](http://www.waste.nl/sites/default/files/product/files/tools_iswm_concept_eng1.pdf), Acesso em 13th Junho 2012.

Mavropoulos, A. (2011), "Globalization, Megacities and Waste Management", ISWA's knowledge base, Disponível em:

[http://www.iswa.org/index.php?eID=tx\\_iswaknowledgebase\\_download&documentUid=2306](http://www.iswa.org/index.php?eID=tx_iswaknowledgebase_download&documentUid=2306), Acesso em 13th Junho 2012.

Harrison, K., W., Dumas, R., D., Solano, E., Barlaz, M., A., Brill., D., E., Jr., &

Ranjithan, R., S. (2001), 'Decision Support Tool for Life-Cycle Based Solid Waste Management', *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 15, No. 1, Janeiro 2001, Disponível em: [http://ericSolano.uvitacr.com/maincontent/publications/JCE\\_DST\\_Life-Cycle-Based%20SWM.pdf](http://ericSolano.uvitacr.com/maincontent/publications/JCE_DST_Life-Cycle-Based%20SWM.pdf), Acesso em 13th Junho 2012.

ABRELPE & ISWA (2012), "Solid Waste: Guidelines for successful planning"

D-Waste (2012), "The planning challenge: A road map for waste management planners",

Disponível em: [http://www.d-waste.com/index.php/products/view\\_product\\_full/39#](http://www.d-waste.com/index.php/products/view_product_full/39#), Acesso em 13th Junho 2012.

Mazzanti, M., Zoboli, R. (2009), "Municipal Waste Kuznets curves: evidence on socioeconomic drivers and policy effectiveness from the EU", *Environmental and Resource Economics*, Volume 44, Number 2, p. 203-230

World Bank (2011), "LAC's Long-Term Growth: Made in China?", 2011 Annual Meetings, IMF-World Bank, Washington, DC, 20 Setembro 2011, Disponível em:

[http://siteresources.worldbank.org/EXTLACOFFICEOFCE/Resources/870892-1197314973189/LAC\\_Growth\\_Made\\_in\\_China20Sep11.pdf](http://siteresources.worldbank.org/EXTLACOFFICEOFCE/Resources/870892-1197314973189/LAC_Growth_Made_in_China20Sep11.pdf), Acesso em on 13th Junho 2012

Yepez-García, R.A., Johnson, T., M., Andrés, L., A. (2010), "Meeting the Electricity Supply/Demand Balance in Latin America & the Caribbean", World Bank, Setembro 2010, Disponível em:

<http://siteresources.worldbank.org/EXTLACOFFICEOFCE/Resources/LACElectricityChallenge.pdf>, Acesso em on 13th Junho 2012

Espinoza, P., T., Martinez Arce, E., Daza, D., Soulier Faure, M., Terraza, H. (2011), "Regional Evaluation of urban solid waste management in Latin America and the Caribbean – 2010 Report", IDB, AIDIS, PAHO/WHO, Disponível em:

[http://www.aidis.org.br/PDF/bid\\_english\\_web.pdf](http://www.aidis.org.br/PDF/bid_english_web.pdf)

ABRELPE (2012), "PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL, 2011",

Disponível em: [http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_apresentacao.cfm](http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm), Acesso em on 13th Junho 2012

## **Referências adicionais para a Parte 1 do Guia**

<sup>1</sup> Themelis, N.J. and Ulloa, P.A. "Methane generation in landfills". *Journal of Renewable Energy*, 32 (7), 1243-1257. 2007.

<sup>2</sup> Themelis, N.J. and Ulloa, P.A. Capture and utilization of landfill gas. In: *Renewable Energy 2005*, pp. 77-81. Disponível em, [www.sovereign-publications.com/renewableenergy2005-art.htm](http://www.sovereign-publications.com/renewableenergy2005-art.htm)

- <sup>3</sup> Van Haaren, Rob “Large scale aerobic composting of source separated organic wastes”. Columbia University, 2010. Disponível em, [www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/haaren\\_thesis.pdf](http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/haaren_thesis.pdf)
- <sup>4</sup> Arsova, Ljupka, “Anaerobic digestion of food wastes”, Columbia University, 2009. Disponível em, [www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/arsova\\_thesis.pdf](http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/arsova_thesis.pdf)
- <sup>5</sup> Matthews, E. and N.J. Themelis, “Potential for reducing global methane emissions from landfills”. *Proceedings Sardinia 2007, 11th International Waste Management and Landfill Symposium, Cagliari, Italy, 1–5 Outubro 2007*, pp. 2000-2030, 2007.
- <sup>6</sup> Kaufman, S.M. and N.J. Themelis, “Using A Direct Method to Characterize and Measure Flows of Municipal Solid Waste in the United States”; *J. Air & Waste Management. Assoc.* 2009. 59: 1386-1390. (EEC-made figure, appears in several publications including most recent Fig. 4, p. 11834 *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, (ESST, Springer Pub))
- <sup>7</sup> N.J. Themelis, M.J. Castaldi, J. Bhatti, and L. Arsova, “Energy and Economic Value of Non-Recycled Plastics (NRP) and Municipal Solid Wastes (MSW) that are Currently Landfilled in the Fifty States”. EEC Columbia University, Agosto 2011.
- <sup>8</sup> Eurostat data 2008. Disponível em, [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-CD-07-001/EN/KS-CD-07-001-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-CD-07-001/EN/KS-CD-07-001-EN.PDF) (EEC figure)
- <sup>9</sup> Van Haaren et al, “Columbia/BioCycle U.S. survey”. *BioCycle*, Oct. 2010. Available from, <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/SOG2010.pdf>
- <sup>10</sup> Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S., “Integrated Solid Waste Management”, Chapter 4, McGraw-Hill, New York, 1993.
- <sup>11</sup> Themelis, N.J., Y.H. Kim, and M.H. Brady, “Energy recovery from New York City municipal solid wastes”, *Waste Management & Research* 20, no. 3 (2002): 223-233. (EEC made Figure published in several publications, including ref. given in Guidebook reference provided)
- <sup>12</sup> Reitman, D.O., “CEWEP Energy Report II (Status 2004-2007)”. Disponível em, [www.cewep.eu/studies/climate-protection/art230,223.html](http://www.cewep.eu/studies/climate-protection/art230,223.html) (Reference provided in Guidebook (Reitman), most recent appearance in ESST-Springer, p. 11842)
- <sup>13</sup> Themelis, N.J., “Overview of Global WTE”, *Waste Management World*, Julho-Agosto 2003, p. 40-47. Disponível em, [www.seas.columbia.edu/earth/papers/global\\_waste\\_to\\_energy.html](http://www.seas.columbia.edu/earth/papers/global_waste_to_energy.html)
- <sup>14</sup> Franz P. Neubacher, Franz P., *WTE Section of Encyclopedia of Science and Technology of Sustainability*, Springer Pub. In press (2012). (F. Neubacher presentation at WTERT 2010 Bi-annual meeting, [www.wtert.org](http://www.wtert.org))
- <sup>15</sup> Cen, K. Department of Energy Engineering, Zhejiang University, China
- <sup>16</sup> Energy Products of Idaho. Disponível em [www.energyproducts.com/EPITechnology.htm](http://www.energyproducts.com/EPITechnology.htm)
- <sup>17</sup> Velis C.A., P. J. Longhurst, G. H. Drew, R. Smith & S. J. T. Pollard (2010) “Production and Quality Assurance of SRF”, *Environmental Science and Technology*, 40:12, 979-1105. Disponível em, <http://dx.doi.org/10.1080/10643380802586980a>
- <sup>18</sup> Vehlou, Jurgen, *Proceedings WTERT Bi-annual Meeting 2008*. Disponível em,

<http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/meeting2008/presentations/Vehlow.pdf>

<sup>19</sup> S. Nagayama. Disponível em, [www.iswa.org/uploads/tx\\_iswaknowledgebase/Nagayama.pdf](http://www.iswa.org/uploads/tx_iswaknowledgebase/Nagayama.pdf)

<sup>20</sup> Dr. David Longden, Hans Olav Midtbust, Loren Beaman (Energos) to Ranjith Annepu (Earth Engineering Center, Columbia University), Novembro 17, 2010. Energos Technology, Small Scale Solid Waste Gasification.

<sup>21</sup> ENERGOS Gasification Technology, Proven Gasification Based Small-scale Energy from Waste. Disponível em, [http://www.envirolinknorthwest.co.uk/envirolink/Events0.nsf/0/8025739B003AADE38025750000321B0E/\\$file/ENERGOS.pdf](http://www.envirolinknorthwest.co.uk/envirolink/Events0.nsf/0/8025739B003AADE38025750000321B0E/$file/ENERGOS.pdf)

<sup>22</sup> ENERGOS, "Plant Reference List". Disponível em, <http://www.energ.co.uk/energyfrom-waste>

<sup>23</sup> ENERGOS, "Energy from Waste Video Case Study," (2005). Disponível em, <http://www.energ.co.uk/?OBH=53&ID=351>

<sup>24</sup> ENERGOS, "The Process". Disponível em, <http://www.energ.co.uk/energy-fromwaste-process>

<sup>25</sup> ENERGOS, "Operational Energos Plants". Disponível em, <http://www.energ.co.uk/index1578.aspx>

<sup>26</sup> ENERGOS, "Energy from waste-Our Customers". Disponível em, <http://www.energ.co.uk/energy-from-waste-our-customers>

<sup>27</sup> S. Suzuki, Ebara Corp. Disponível em, [www.wtert.org/sofos/nawtec/nawtec15/nawtec15-speaker-abstract06.pdf](http://www.wtert.org/sofos/nawtec/nawtec15/nawtec15-speaker-abstract06.pdf)

<sup>28</sup> Interstate Waste Technologies. Disponível em, [www.wtert.org/sofos/IWTThermoselect.pdf](http://www.wtert.org/sofos/IWTThermoselect.pdf)

<sup>29</sup> Ducharme, C, "Analysis of thermal plasma – assisted WTE processes", Columbia University, 2010. Disponível em, [http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/ducharme\\_thesis.pdf](http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/ducharme_thesis.pdf)

<sup>30</sup> ISWA, Thermal Treatment Group, Energy from Waste Statistics, Maio 2006. Available from, [www.greenkerala.net/pdf/energy-from-Waste\\_2006.pdf](http://www.greenkerala.net/pdf/energy-from-Waste_2006.pdf)

<sup>31</sup> <http://www.google.com/search?q=waste+to+energy+plants+pictures&hl=en&biw=1375&bih=784&prmd=imvns&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=5xewTsTTLsbh0QHE3aTPAQ&ved=0CFcQsAQ>

<sup>32</sup> EPA website. Disponível em, <http://www.epa.gov/ttnatw01/eparules.html>

<sup>33</sup> EPA website, "Air Emissions from MSW Combustion Facilities". Disponível em <http://www.epa.gov/wastes/nonhaz/municipal/wte/airem.htm>

<sup>34</sup> Kaplan, P.O., J. Decarolis, and S. Thorneloe, "Is it Better to Burn or Bury Waste for Clean Electricity Generation?". *Environ. Sci. Technol.*, 2009, 43, 1711---1717.

<sup>35</sup> Karsten Millrath, "University Consortium on Advancing the Beneficial Use of Ash from Waste-To-Energy Combustion". 11th North American Waste-To-Energy Conference Tampa, Florida, Abril 30, 2003.

<sup>36</sup> Monica M. DeAngelo, "Siting of Waste-to-Energy Facilities in New York City Using GIS Technology". Columbia University, Maio 2004.

<sup>37</sup> UNFCCC website. Disponível em, <http://unfccc.int/2860.php>

<sup>38</sup> Werner Sunk, Earth Engineering Center, Columbia University. "Increasing the Quantity and Quality of Metals Recovered at Waste-to Energy Facilities". NAWTEC 14, Tampa, FL, Maio 2006.

<sup>39</sup> Ramboll, Denmark

## **PARTE 2**

### **7 Estudo de caso 1: Valparaíso, Chile**

#### **7.1 Fatos sobre o país**

*O Chile é uma economia emergente com um PIB de cerca de US\$ 200 bilhões, uma população de 17 milhões e um rendimento per capita de cerca de US\$12.000 em dólares correntes e US\$ 15.000 em dólares com paridade de poder de compra (PPP), ou seja, cerca de um terço do PIB per capita dos EUA. O Chile é uma das economias mais abertas do mundo e o seu comércio exterior (importações mais exportações) responde por 67% do PIB do país.*

*O Chile lidera os países da América Latina e a maioria das outras economias emergentes nos rankings de diferentes agências de crédito, como Moody's e Standard & Poor's, e de organizações internacionais como o Fórum Econômico Mundial e a Unidade de Inteligência do The Economist. O desempenho do Chile, validado por essas instituições ajudou a posicioná-lo como um dos locais mais seguros do mundo emergente para investimentos estrangeiros.*

*Apesar das condições externas adversas, a economia chilena tem crescido entre 4% e 5% ao ano, mantendo contas externas estáveis, gastos públicos responsáveis (o que transformou o setor público em um credor líquido) e reservas internacionais robustas (aproximadamente 1/3 do PIB); espera-se um crescimento do PIB projetado para 2011 de 4%.*

#### **7.2 Gestão de resíduos no Chile**

*O Chile experimentou um enorme crescimento econômico nos últimos 25 anos, melhorando muito os padrões de vida da sua população. Como sempre, este crescimento foi associado ao aumento significativo e descontrolado das quantidades de resíduos gerados, criando muitos custos sociais e ambientais que precisam ser tratados.*

*A gestão de resíduos sólidos da maior parte das regiões do Chile é claramente insustentável, e enfrenta importantes desafios políticos, geográficos e ambientais. Portanto há uma necessidade urgente de investigar novas tecnologias de gestão de resíduos sólidos, como a WTE. EM uma abordagem de “desenvolvimento sustentável”, resíduos deveriam ser considerados como uma fonte de recuperação de materiais e energia e não apenas como um problema de descarte.*

*No Chile os municípios são responsáveis pela coleta, transporte e disposição final do RSU. A maior parte dos municípios contratam serviços de gestão de resíduos junto ao setor privado através de licitações para serviços de coleta e disposição. Os outros têm seu próprio sistema de coleta e instalações para disposição, que em muitos casos são muito ineficientes. Cada município age de forma independente a negocia seu próprio preço; conseqüentemente não há preço fixo para estes serviços, e os municípios cobram dos cidadãos os custos da coleta e disposição dos resíduos através de “taxa de propriedade”.*

*Há uma necessidade crescente para a resolução dos problemas sanitários relacionados à disposição inadequada de resíduos em todo o país. Apenas a capital, Santiago, onde 100% do resíduo coletado vai para aterros sanitários, e alguns poucos centros regionais urbanos contam com modernos aterros.*

### **7.3 Razões para a escolha de região de Valparaíso para o estudo de caso do Chile.**

*O time do projeto avaliou vários fatores para decidir sobre o local para o estudo de caso do Chile. As razões para a escolha de Valparaíso foram:*

*População: A região de Valparaíso tem a terceira maior população urbana do Chile e é também uma destinação turística; gera, portanto, uma grande quantidade de resíduos*

*Estado atual da gestão de resíduos: A maior parte das instalações de disposição de resíduos da região de Valparaíso atingiu capacidade quase máxima; em contraste, Santiago tem três aterros sanitários com uma vida remanescente esperada de mais de duas décadas.*

*Políticas descentralizadas do Chile: O governo nacional está desenvolvendo políticas para descentralizar a Região Metropolitana e priorizar o desenvolvimento de projetos de infraestrutura nas regiões.*

*Localização geográfica: Valparaíso é saída para o mar da região metropolitana de Santiago e é uma cidade histórica, considerada uma Cidade Patrimônio da Humanidade pela ONU. Se a primeira planta WTE do Chile fosse construída na região de Valparaíso, poderia influenciar outras regiões do Chile a desenvolver e implantar soluções modernas de gestão de resíduos.*

#### **7.4 Visão geral de Valparaíso.**

*A região de Valparaíso está localizada no centro do Chile (Figura 41), 120 km a noroeste da cidade de Santiago. A capital da região é a cidade de Valparaíso, que também abriga o Congresso Nacional e é designada como Patrimônio da Humanidade pela UNESCO. É um dos portos mais importantes do país e um centro cultural cada vez mais vital. Cerca de cinquenta navios de cruzeiro internacionais aportam em Valparaíso durante os três meses do verão chileno. O porto de Valparaíso é também um entreposto importante para o carregamento de fretadores de containers, incluindo exportação de vinhos, cobre e frutas frescas. A população de Valparaíso, com a cidade vizinha de Viña del Mar e cidades balneário próximas como Reñaca, Concon, San Antonio e Quintero, quase dobra durante os meses de verão e férias de Dezembro a Fevereiro. A cidade é popularmente conhecida como a cidade jardim e é a capital turística do Chile, devido às suas treze praias e a proximidade com Santiago.*

*As principais atividades econômicas de Valparaíso são o turismo, a cultura, o transporte e indústrias manufatureiras e de produção de alimentos. A região de Valparaíso abriga terras de agricultura, produtores de vinho, assim como atividades industriais como mineração de cobre e plantas de cimento. A maior refinaria de petróleo do Chile e também uma importante planta de beneficiamento de cobre, a estatal Ventanas, estão localizadas na região. Nos vales do interior há uma indústria de exportação em expansão, principalmente de frutas frescas e flores. A área de terra da região de Valparaíso é de cerca de 16.400 km<sup>2</sup>.*



**Figura 41 Local da Região de Valparaíso no Chile (EEC)**

### **7.5 Gestão de resíduos na região de Valparaíso.**

*De acordo com o censo mais recente (2006) a população da região de Valparaíso era de 1,9 milhões de pessoas<sup>40</sup>. O RSU gerado em 2009 foi de 1.600 t por dia, ou seja, cerca de 584.000 t<sup>41</sup>.*

*Há apenas um aterro sanitário, dez aterros regulados, e quatro lixões clandestinos que representam cerca de 10% do RSU disposto na região. Não estações de transferência na região, e índice de reciclagem muito baixo<sup>42</sup>.*

*Há vários municípios nesta região, mas este estudo de caso se concentrou em sete municípios adjacentes, Valparaíso, Viña del Mar, Concon, Quilpue, Villa Alemana, Quillota e Quintero. O mapa da Figura 42 mostra os limites geográficos desta área.*

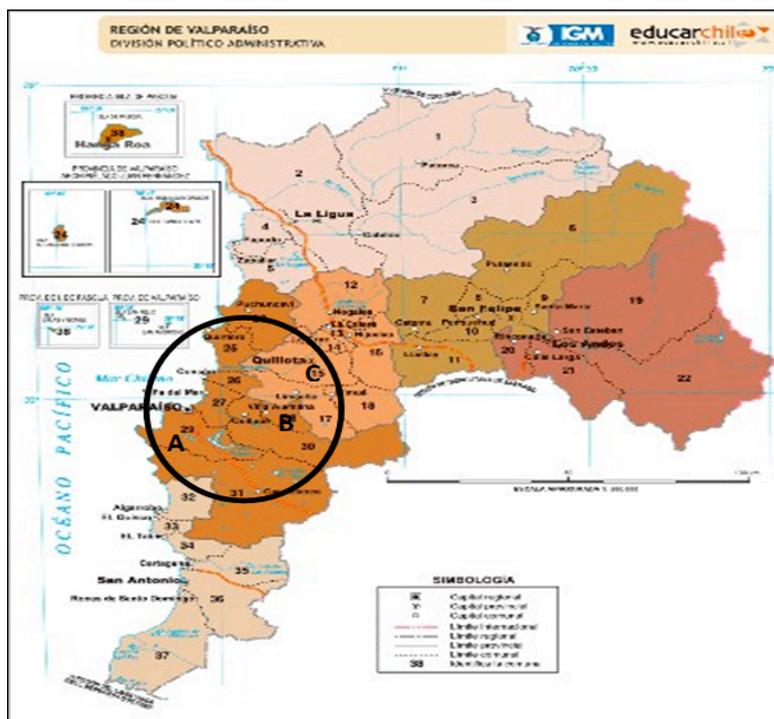


Figura 42 Área geográfica do Estudo de Caso de Valparaíso (EEC)

A população e a geração de resíduos (2009) para os municípios considerados neste estudo são mostrados na Tabela 19.

Tabela 19 Geração de resíduos por município<sup>43</sup>

MUNICÍPIO	POPULAÇÃO	t por ano	t por dia
Concon	53.944	21.684	59
Viña del mar	291.760	117.362	322
Valparaíso	275.892	97.580	267
Quilpué	155.318	43.085	118
Villa Alemana	125.275	35.108	96
Quintero	25.054	21.632	154
Quillota	86.160	43.062	118
<b>TOTAL</b>	<b>1.013.493</b>	<b>379.513</b>	<b>1.134</b>

Os resíduos sólidos trazidos para Valparaíso por navios de cruzeiro são considerados “resíduo estrangeiro” e devem ser transportados e dispostos em uma terra de Santiago.

Os municípios de Valparaíso e Viña del Mar representam 56% da população total da região de Valparaíso. A geração de RSU está crescendo 1,8% ao ano e estima-se que

atinge 155.000 toneladas em Viña del Mar e 121.000 toneladas ao ano em Valparaíso<sup>43</sup>.

A geração de energia e as receitas de uma planta WTE dependem do poder calorífico do resíduo. Vários estudos passados de caracterização de resíduos na literatura foram consultados, mas se mostraram antigos e não confiáveis. O governo de Valparaíso não desenvolveu nenhuma caracterização atualizada. A tabela 20 mostra a composição média do RSU em Valparaíso e Viña del Mar em 2001, obtida de um Relatório de 2011 disponibilizado por Esteban Alvez, da Stericycle. (Ref. 45). O poder calorífico de 9,38 MJ/kg, do estudo de 2001, é baixo em relação àquele obtido pelo EEC para Buenos Aires, Toluca e Montevidéu. Em vista do desenvolvimento econômico do Chile na primeira década do século 21, espera-se que o poder calorífico seja um pouco mais alto.

**Tabela 20 Composição do RSU de Valparaíso e poder calorífico**

<b>Componente do RSU</b>	<b>Caracterização do RSU de Valparaíso (2001)</b>	<b>MJ/kg material (Guia Tchobanoglous)</b>	<b>Contribuição para o poder calorífico do RSU, MJ/kg</b>
<b>Resíduo Orgânico</b>	63,6%	4,6	2,9
<b>Papel e papelão</b>	11,7%	15,6	1,8
<b>Plásticos</b>	11,7%	32,4	3,8
<b>Têxteis</b>	4,4%	18,4	0,8
<b>Vidro</b>	4,1%	0	0
<b>Metais</b>	3,9%	0	0
<b>Outros</b>	0,6%	4	0,02
<b>Total</b>	100%		9,4

## **7.6 Disposição atual de RSU na região de Valparaíso.**

### **Reciclagem**

Reciclagem na região de Valparaíso é informal e pouco significativa. O governo local estima que ela seja de 2%.

### **Aterro**

A figura 42 mostra o local das instalações de disposição atual dos municípios sob estudo, da região de Valparaíso. Segue a sua descrição.

#### **a) Aterro de El Molle (A na Figura 42)<sup>45</sup>**

O aterro de El Molle é o principal da região, é gerenciado pela Empresa Stericycle e está localizado ao sul da autoestrada La Polvora na Comuna de Valparaíso. Está em operação desde 2001 e ocupa uma área de 943,6 hectares (231 acres). Ele consiste de três células, a primeira das quais atingiu plena capacidade em 2001, a segunda está

*em operação e atingirá a capacidade plena em 2014, e a terceira vai ser aberta como um aterro sanitário em 2013 e deve chegar à capacidade plena em 2028.*

*A célula número dois recebe cerca de 357.000 toneladas (1.000 t/ dia) de resíduos sólidos anualmente dos municípios de Valparaíso, Viña del Mar, Quilpue, Concon, La Ligua, Olmue e Limache (população total de 872.000 (2009) habitantes). Deste total, 837 t por dia são de RSU dos municípios e 167 t por dia são de resíduo comercial de firmas particulares. A instalação coleta e queima uma quantidade estimada de 15 t ao dia de metano e El Mole obtém créditos de carbono pela redução de emissões de metano para a atmosfera. A densidade final do RSU aterrado é de 0,9 t/ m<sup>3</sup>. Como discutido na seção 7.12 a taxa de despejo é de US\$ 14 por tonelada aterrada.*

*O aterro de El Molle tem um histórico de problemas ambientais, tendo recebido várias multas. A nova administração, da Stericycle, assumiu em 2010 e está engajada em evitar os problemas ambientais do passado. Ela está desenvolvendo um aterro sanitário na terceira célula, a ser aberta em 2013.*

***b) Aterro de Villa Alemana, controlado pelo município e não sanitário (B na Figura 42)<sup>42</sup>***

*Este aterro é propriedade do e é operado pelo município de Villa Alemana, e está localizado no "Sector Sur Poniente Rosenquista, vía 2B-1" na Comuna de Villa Alemana. Está em operação desde 1994 e cobre uma área de 10 hectares (25 acres). Esperava-se que atingisse a sua capacidade final oficial em 2010, mas ainda recebe cerca de 23.000 t de resíduos por ano (63 t por dia) de uma população de cerca de 116.000 pessoas. Nos últimos anos o aterro recebeu várias multas ambientais, mas ainda não há uma solução final devido à falta de alternativas de locais de disposição. Planeja-se a desativação deste aterro assim que uma estação de transferência seja construída. A taxa de despejo é de apenas US\$ 6 por tonelada.*

***c) Aterro não sanitário de San Pedro (C na Figura 42)<sup>42</sup>***

*Este lixão, de propriedade e operação privadas, está localizado em Fundo Los Hermanos, setor Lo Venecia na Comuna de Quillota. Está em operação desde 1996 e cobre uma área de 10 hectares (25 acres). Projetava-se o atingimento de sua capacidade final em 2007, mas ainda recebe o resíduo dos municípios de Quillota, Calera, Hijuelas, La Cruz e Nogales, ou seja, 38.000 t de resíduos por ano (103 tpd) de uma população de cerca de 194.000 pessoas. A taxa de despejo é de US\$ 8 por tonelada.*

## **7.7 Taxas de despejo.**

Como mencionado acima, as cidades principais da região de Valparaíso, Viña del Mar e a cidade de Valparaíso dispõem seu RSU no aterro de El Molle.

A Tabela 21 mostra os custos de coleta, transporte e disposição dos municípios avaliados neste estudo.

**Tabela 21 Custos de Coleta/disposição de vários municípios em 2010<sup>43</sup>**

Município	Local de descarte	Término do contrato	Custo de coleta (US\$/t)	Custo de disposição (US\$/t)	Custo total (US\$/t)	Custo anual (US\$)	Distância até o aterro
Concon	El Molle	29/09/2021	32,80	15,60	48,40	1.049.146,00	30
Viña del Mar	El Molle	31/10/2021	98,30	13,40	111,70	13.111.765,00	21
Valparaíso	El Molle	03/10/2021	77,20	12,40	89,60	8.938.332,00	10
Quilpué	El Molle	01/08/2013	39,40	11,50	50,90	2.193.600,00	33
Villa Alemana	Villa Alemana	NA	21,90	6,40	28,30	995.143,00	7
Quintero	Quintero	NA	25,80	3,60	29,40	637.433,00	3
Quillota	San Pedro	30/06/2011	24,90	7,80	32,70	1.408.629,00	12

### **7.8 Capacidade proposta e potencial de geração de energia**

Com base nas informações coletadas para os municípios da região de Valparaíso, propõe-se que a primeira planta WTE do Chile seja de uma capacidade de 42 toneladas por hora, ou 336.000 toneladas anuais (disponibilidade de 90%, ou seja 8.000 horas/ano). Propõe-se que a planta consista de duas linhas, cada uma com capacidade nominal de 21 toneladas /hora. O PCI do RSU de Valparaíso é assumido como sendo de 9,4 MJ/kg (Tabela 20). Portanto, replicando os cálculos da Seção 5.8 deste Guia (Recuperação de energia), a produção de energia líquida de uma planta de 1.000 toneladas/dia é estimada em 540 KWh/t ou 182 GWh/ano.

### **7.9 Local selecionado para a planta WTE.**

O time do projeto avaliou várias alternativas para o local da planta WTE, em consulta a pessoas conhecedoras da Região de Valparaíso:

-Aterro de El Molle

-Área industrial de Concon

*-Área industrial de Curauma*

*-Lixão de Villa Alemana*

*O aterro de El Molle foi selecionado pelas seguintes razões:*

- *É o local mais próximo de Valparaíso e Viña Del Mar, os municípios mais populosos da Região de Valparaíso*
- *É um aterro em operação com todas as licenças ambientais e outras aprovadas*
- *Motivos econômicos*
- *Motivos estratégicos*
- *Proximidade a estradas principais e acessos garantidos*
- *El Molle é operado por uma empresa privada, que tem interesse em desenvolver métodos que reduzam impactos ambientais.*

*A área de terra aproximada requerida para a planta proposta é estimada em 5 Hectares de acordo com a Seção 5.5 deste Guia (Seleção de um local para a planta WTE). A Figura 43 mostra uma vista aérea do sítio de El Molle.*



**Figura 43 Foto aérea do aterro de El Molle (EEC)**

### **7.10 Limites projetados de emissões**

*Uma norma chilena de incineração foi aprovada em 2007. A Tabela 22 apresenta as emissões projetadas de uma planta WTE (medidas na chaminé) para diferentes poluentes em base diária e a compara com padrões chilenos, americanos e europeus.*

**Tabela 22 Comparação de limites de WTE com padrões internacionais<sup>i</sup>**

<b>Poluente</b>	<b>Unidade</b>	<b>EU<sup>a</sup></b>	<b>EUA<sup>b</sup> (EPA)</b>	<b>Chile<sup>c</sup></b>	<b>Unidade WTE</b>
<b>Material Particulado</b>	mg/Nm <sup>3</sup>	10	15	30	9
<b>Opacidade</b>	%	---	10	---	Nulo
<b>Cádmio</b>	ug/Nm <sup>3</sup>	5*	8	100	8
<b>Chumbo</b>	ug/Nm <sup>3</sup>	500**	107	1000	107
<b>Mercúrio</b>	ug/Nm <sup>3</sup>	50	38	100	19
	% Eliminação	---	85	---	> 85
<b>SO<sub>2</sub></b>	mg/Nm <sup>3</sup>	50	61	50	49
	% Eliminação	----	80	---	> 80
<b>HCl</b>	mg/Nm <sup>3</sup>	10	29	20	20
	% Eliminação	---	95	---	> 95
<b>CO</b>	mg/Nm <sup>3</sup>	50	89	50	50
<b>NOX</b>	mg/Nm <sup>3</sup>	200	219	300	124
<b>Dioxinas/Furanos (TEQ)</b>	ng/Nm <sup>3</sup>	0,1	0,13	0,2	0,1

Dezembro de 2000 sobre a incineração de resíduos.

\* Padrão para Cd +Ti; \*\* Padrão para Pb,+ Sb+ As+ Co+Cr+ Cu+ Mn+ Ni+ V

a. Diretiva 2000/76/EC do Parlamento Europeu de incineração de resíduos, 4 de Dezembro de 2000 ([www.ingvar.is/Sorp/FlueGas Cleaning.pdf](http://www.ingvar.is/Sorp/FlueGas%20Cleaning.pdf));

b. Registro Federal, EPA 40 CRF Parte 60, 19 de Dezembro de 2005 ([www.epa.gov/ttn/atw/129/mwc/fr19de05.pdf](http://www.epa.gov/ttn/atw/129/mwc/fr19de05.pdf))

c."Norma de emisión para Incineración y Coincineración. Decreto 45 Fecha Publicación 05/10/2007"

*A Tabela 22 mostra que as emissões projetadas da planta WTE serão tão baixas quanto os padrões americanos e europeus para instalações WTE e abaixo dos atuais limites chilenos*

*i Todas as concentrações são referenciadas para 11% de O<sub>2</sub>, base seca e nas condições Normais (0°C e 1 atm)*

### **7.11 Custos projetados da planta WTE**

Deve-se notar que os custos apresentados neste relatório são estimativas baseadas em unidades recentemente construídas na Europa e nos EUA onde as plantas WTE são projetadas com um forno com grelha de alta qualidade, uma caldeira vertical com paredes d'água e superaquecedores e economizadores na zona de convecção, seguida por um sistema semi-seco de limpeza de gases de combustão e uma chaminé de 75 metros; as unidades WTE são adquiridas em um processo de licitação competitivo em três pacotes mecânicos e um pacote civil; e um consultor é contratado para coordenar o processo de licitação e as interfaces entre os pacotes.

Entretanto estas estimativas não levam em conta as condições locais, e estão também sujeitas a muitos fatores variáveis como o preço do aço e custo do trabalho. Desta forma, considera-se que podem variar numa faixa de mais ou menos 20%.

#### **Custo de capital:**

O sítio necessário para o desenvolvimento de uma unidade é estimado em aproximadamente 5 hectares (50.000 metros quadrados). O custo por metro quadrado em El Molle é equivalente a US\$ 13. Assim, o custo com o terreno será aproximadamente  $50.000 \text{ m}^2 \times \text{US\$ } 13 = \text{US\$ } 650.000$ . Todos os itens do custo de capital estão presentes na Tabela 23.

**Tabela 23 Custo de capital estimado**

<b>Número de linhas</b>	<b>2</b>
<b>Preparação do local, acesso, paisagismo (milhões de US\$)</b>	14
<b>Construção civil, chaminé (milhões de US\$)</b>	46
<b>Grelha, caldeira, fornecimento de ar, manuseio de cinzas, sistemas elétricos e mecânicos (milhões de US\$)</b>	94
<b>Turbo gerador (milhões de US\$)</b>	23
<b>Sistema de controle de emissões atmosféricas (milhões de US\$)</b>	23
<b>Contingência (milhões de US\$)</b>	23
<b>Terreno</b>	2
<b>Custo de capital estimado (milhões de US\$)</b>	225
<b>Custo de capital estimado (US\$ / tonelada de capacidade anual)</b>	670

#### **Custos operacionais:**

Os custos operacionais, assumindo um efetivo de 43 pessoas, e que a cinza de fundo e em suspensão serão misturadas e dispostas no aterro de El Molle são mostradas na Tabela 24.

**Tabela 24 Custos operacionais**

<b>Número de linhas</b>	<b>2</b>
<i>Disposição de cinzas (milhões de US\$; US\$ 3,75/ t)</i>	1,3
<i>Produtos químicos (milhões de US\$; US\$ 4/ t)</i>	1,3
<i>Limpeza do gás (milhões de US\$; US\$ 8/ t)</i>	2,7
<i>Manutenção (milhões de US\$; US\$ 15,6/ t)</i>	5,2
<i>Miscelâneas (milhões de US\$; US\$ 2/ t)</i>	0,7
<i>Pessoal (milhões de US\$)</i>	1,2
<i>Subtotal (milhões de US\$)</i>	12,4
<i>Contingências (milhões de US\$; 5%)</i>	0,6
<b>Subtotal</b>	<b>13,0</b>
<i>Seguro (milhões de US\$; 0,6%)</i>	0,1
<b>Custo de operação estimado (milhões de US\$)</b>	<b>13,1</b>
<b>Custo de operação estimado (US\$ / tonelada de capacidade anual)</b>	<b>39,0</b>

## **7.12 Receitas projetadas da planta WTE**

### **Taxa de despejo**

Como a planta WTE é projetada para ser instalada em El Molle, a taxa de despejo cobrada em El Mole será considerada. Como notado antes, El Molle recebe RSU de municípios e resíduo industrial do setor privado, com diferentes valores para a taxa de despejo<sup>45</sup>.

- 16,3% do resíduo disposto é resíduo industrial de empresas privadas que pagam uma taxa de despejo de US\$ 22,8 por tonelada.
- 83,7% do resíduo disposto é RSU dos municípios que pagam uma taxa de despejo de US\$ 12 por tonelada

Portanto, a taxa de despejo média é:  $0,163 \times US\$22,8 + 0,837 \times US\$12 = US\$ 14/ t$ .

Assume-se que os custos de coleta permanecem constantes. Entretanto, considerando os altos custos presentes de coleta de RSU em Valparaíso e Viña del Mar, há indicação de que o sistema de coleta deva ser simplificado juntamente com a construção da WTE.

### **Venda de eletricidade**

No Chile o setor privado é responsável pela geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Desta forma, os preços de mercado da energia elétrica são o resultado de um mercado livre de energia, em contraste com outras economias da América Latina onde os governos fixam os preços da energia elétrica, a energia é vendida em um mercado “spot” baseado em despacho com um custo marginal de curto prazo; ou em um mercado de contratos, no qual geradores de eletricidade a vendem a preços estáveis em contratos com as companhias de distribuição e também com clientes do setor de mineração, industrial e comercial.

Concessões ou permissões não são requeridas para a instalação de plantas de geração e outras atividades anexas; entretanto elas devem preencher os requerimentos a que qualquer instalação industrial está sujeita, incluindo as licenças ambientais necessárias.

Energias renováveis não convencionais não têm tido uma contribuição importante para o sistema de geração de energia do Chile, principalmente devido ao seu alto custo. Entretanto, em anos recentes, o uso de energia renovável começou a ser um fator de motivação para o governo chileno, e por isso várias emendas às leis têm sido aprovadas.

#### Preço spot

O preço spot é influenciado principalmente pelo nível de água no reservatório no Centro-Sul do Chile (se é um ano seco ou não) e preços de combustíveis fósseis. A Tabela 25 mostra preços do Sistema Interconectado Central.

**Tabela 25 preços spot (US\$/MWh)<sup>46</sup>**

Mês	2007	2008	2009	2010	2011
Janeiro	57	247	115	116	157
Fevereiro	123	272	142	135	217
Março	144	325	134	135	236
Abril	145	280	121	133	205
Maio	171	252	95	141	221
Junho	252	181	108	148	
Julho	223	200	102	138	
Agosto	208	143	96	157	
Setembro	176	134	68	127	
Outubro	154	155	104	128	
Novembro	169	141	84,7	125	
Dezembro	215	127	80	163	

Em anos recentes, os preços spot de energia no Chile têm sido altos, mas também muito variáveis devido a secas na região centro-sul. Além disso, o aumento dos preços de combustíveis e a crise econômica internacional resultaram em preços spot muito altos no primeiro semestre de 2011. Assume-se que quando o novo projeto hidrelétrico HydroAysen partir em 2017 os preços spot cairão, mas não há certeza sobre essa consideração.

#### Preço sob Acordo de Compra de Energia (ACE)

Um Acordo de Compra de Energia (ACE) pode ser assinado tanto com um uma companhia industrial, de mineração, distribuição ou de geração de energia. Em 2011, os processos de concorrência para contratos de eletricidade no Chile mostraram preços

entre US\$ 80 e US\$ 110 por MWh<sup>46</sup>. Este preço não considera a “multa” ou “tributo de energia renovável”. Como é mencionado no Apêndice 1 do Estudo de Caso do Chile, as empresas de energia precisam ter pelo menos 5% da sua energia vinda de fontes renováveis não convencionais entre 2010 e 2014 e aumentar gradualmente para 10% até 2014. No caso de resíduos a lei especifica que a fração biogênica está na categoria de biomassa, mas não especifica qual fração do RSU seria considerado para o tributo de energia renovável.

O mecanismo ACE foi assumido para precificar a energia a ser gerada pela WTE de Valparaíso. Com este mecanismo o preço da energia é menor, mas proporciona uma entrada estável por 20 anos. Este é um cenário mais confiável para uma instalação WTE, embora a legislação do Chile permita que pequenas instalações forneçam eletricidade para a rede nacional pelo preço spot.

Um ACE de US\$ 90/ MWh foi assumido para esta análise. Consequentemente, a receita com a venda de eletricidade foi estimada em US\$ 46 por tonelada de RSU.

### **Créditos de carbono**

Para cálculo das receitas com crédito de carbono, o fator de 0,6 toneladas de CO<sub>2</sub>/MWh foi usado, como estabelecido pelo Painel de Convenção de Mudanças Climáticas das Nações Unidas (UNFCCC). Ele foi calculado para o Sistema Interligado Central, que engloba a Região de Valparaíso e usa uma combinação de geração de energia a óleo, a carvão e hidroelétrica que a planta WTE iria deslocar. Este fator é então multiplicado pela geração de energia elétrica estimada da planta (182 GWh/ano) para se obter a estimativa de 109.200 toneladas de créditos de dióxido de carbono.

O cálculo acima não inclui as emissões evitadas de metano, pois a metodologia usada atualmente pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) reconhece apenas os primeiros dez anos de emissões evitadas de metano no aterro, o que é uma fração do metano total realmente evitado através da planta WTE (aterros podem emitir metano por cem anos ou mais). Portanto, a quantidade de metano de aterro evitável que se pode creditar será mais provavelmente comparável às emissões de CO<sub>2</sub> fóssil na chaminé da planta WTE. Assim, nesta análise será assumido que apenas 109.200 CERs serão emitidos ao preço de US\$ 16 (Seção 5.18 deste Guia- Receitas); isto resulta em uma receita de apenas US\$ 5 por tonelada de RSU.

### **Venda de metais recuperados**

Como mencionado na Seção 5.18 deste Guia estima-se que pelo menos 50% dos metais contidos no RSU podem ser recuperados das cinzas de fundo. Como o RSU na Região de

Valparaíso contém 3,9% de metais (Tabela 20), então de cada tonelada de RSU incinerado aproximadamente 19,5 Kg de metais podem ser recuperados. Portanto, a unidade WTE proposta para El Molle recuperaria uma quantidade estimada de 6.500 toneladas de metais por ano. Dado este número e um preço estimado de sucata metálica no Chile de US\$ 200 por tonelada, a unidade WTE teria uma receita de US\$ 1,3 milhão por ano, ou seja, US\$ 3,9 por tonelada de RSU incinerada.

### **7.13 Análise financeira para a WTE da área de Valparaíso**

A abordagem usada para a análise financeira foi o Valor Presente Líquido (VPL) e a taxa de retorno interno (TIR) dos fluxos de caixa operacionais. Isto significa que custos específicos de financiamento não foram levados em conta, e portanto ambos VPL e TIR irão provavelmente decrescer uma vez que estes custos sejam incluídos. Além disso, variações de fluxo de caixa devido à inflação ou outros fatores não foram incluídos e poderiam ter um importante impacto na análise.

Os cenários considerados para as avaliações financeiras são os seguintes:

- Cenário Base: ACE onde a eletricidade é vendida a US\$ 90/ MWh, e não há tributos de energia renovável.
- Cenário 2: ACE com uma empresa de geração, o que significa que o tributo de energia renovável está incluído, e portanto o preço da energia seria de US\$ 112,4/ MWh.
- Cenário 3: Energia é vendida ao preço Spot. O preço de energia assumida para este cenário é a média de preço spot de 2011, US\$ 207/ MWh.

A taxa de despejo para estes cenários foi fixada ao preço presente de US\$ 14 / t. Esta taxa é muito baixa e inadequada para o aterramento sanitário de RSU, mas nas presentes circunstâncias, onde os municípios não conseguem receitas suficientes para atender ao seu orçamento de disposição de resíduos, não é realista esperar que paguem uma taxa de despejo mais alta para o despejo do RSU, a despeito dos consideráveis benefícios energéticos e ambientais da alternativa do WTE para a região e para o Chile como um todo.

O período de retorno usado foi de 23 anos, assumindo cerca de 3 anos para construção e 20 anos de operação.

As taxas de desconto usadas para cálculo do VPL são 5%, 10% e 15%. A razão para selecionar 5% é que é o custo de capital estimado do governo federal do Chile em dólares americanos; em 18 de Outubro de 2011, o bônus de 20 anos do Chile sobre o Tesouro Americano era de 2%, e o Título de 20 anos do Tesouro americano estava

sendo transacionado a 2,7%<sup>47</sup>. A razão para também usar taxas de desconto de 10% e 15% é que se investidores privados participassem da planta WTE, o custo de capital seria maior que para o governo do Chile.

A Tabela 26 mostra o VPL para as três taxas de desconto e também a TIR para os três cenários.

**Tabela 26 VPL a taxas de desconto de 5%, 10% e 15%, e TIR para os três cenários**

<b>Cenário</b>	<b>VPL a 5% (milhões de US\$)</b>	<b>VPL a 10% (milhões de US\$)</b>	<b>VPL a 15% (milhões de US\$)</b>	<b>TIR (ao ano)</b>
<b>Base</b>	(85)	(115)	(124)	-0,2%
<b>Cenário 1</b>	(42)	(89)	(108)	2,7%
<b>Cenário 2</b>	141	19	(39)	11,3%

Os resultados mostram que às atuais baixas taxas de despejo, o único cenário viável é o Cenário 3, quando o custo de capital é menor que 11,3%. As taxas de retorno para que a planta atinja o equilíbrio operacionalmente (ou seja, com VPL=0), com taxas de desconto de 5%, 10% e 15% nos três cenários são mostrados na tabela 27.

**Tabela 27 Taxa de despejo com taxas de desconto de 5%, 10% e 15%, e TIR para os três cenários**

<b>Cenário</b>	<b>Taxa de despejo (US\$/t)</b>		
	<b>Taxa de desconto 5%</b>	<b>Taxa de desconto 10%</b>	<b>Taxa de desconto 15%</b>
<b>Base</b>	38	69	106
<b>Cenário 1</b>	26	56	94
<b>Cenário 2</b>	0	5	43

### **7.14 Partes interessadas**

Quando uma nova tecnologia, como a WTE, é introduzida em uma sociedade, há uma ampla gama de reações, desde suporte total até completa oposição, por partes interessadas locais com diferentes níveis de interesse e de informação e de habilidades econômicas e organizacionais. É necessário conhecer suas motivações e reações antes de continuar com as etapas de planejamento e implantação do projeto.

Um sistema ótimo de gestão de RSU que vá atender às necessidades da comunidade e prover soluções ambientalmente amigáveis requer a prévia identificação e análise das partes interessadas e seus interesses; e a disseminação adequada da comunicação.

*A Tabela 28 no Apêndice 2 do Estudo de Caso do Chile lista as possíveis partes interessadas que podem se envolver na discussão e desenvolvimento de uma unidade WTE na Região de Valparaíso, seus interesses e sua influência.*

*Durante as visitas de campo à Região de Valparaíso e à capital Santiago, o time da EEC encontrou uma reação positiva ao conceito de um avançado sistema de gestão de resíduos com a implantação da primeira WTE chilena na Região de Valparaíso. A maior preocupação expressada pelos oficiais do governo, pela indústria e pela academia foi a viabilidade econômica de tal projeto sob as condições econômicas vigentes.*

### **7.15 Conclusão do Estudo de Caso do Chile**

*A Região de Valparaíso é vista o local mais provável para a primeira moderna planta WTE do Chile devido à urgente necessidade de resolver seu atual problema de gestão de resíduos e à sua proeminência, no contexto do Chile e mundialmente. A maior parte dos aterros desta região já atingiu capacidade plena ou se espera que atinjam dentro de alguns anos; além disso, a localização geográfica e topografia da região fazem da abertura de novos aterros um desafio.*

*A melhor opção para a planta WTE da região de Valparaíso é a localização em El Molle, onde a maior parte das licenças ambientais requeridas já foi aprovada. El Molle é a maior unidade de disposição de resíduos da região e recebe o RSU das cidades de Valparaíso e Viña del Mar, com contratos de disposição de resíduos já estabelecidos. A colaboração com a empresa que está atualmente operando este aterro seria vantajosa para o desenvolvimento do projeto WTE e a empresa expressou seu interesse neste projeto. É necessário interagir com todas as outras partes interessadas listadas neste relatório e discutir suas preocupações e necessidades especiais.*

*Infelizmente, apesar de todas as suas vantagens ambientais, a análise financeira apresentada neste relatório mostrou que, com as taxas de despejo e preços de energia elétrica atuais no Chile, o WTE não é ainda economicamente viável, a não ser que a energia seja vendida ao preço spot. Além disso, a taxa de despejo deveria ser de pelo menos US\$ 38/ t (ou seja, US\$ 24 maior que a atual taxa de despejo do aterro) para que o projeto se equilibre operacionalmente nas condições do cenário base. Entretanto El Molle, até o presente, é uma terra que não protege as águas subterrâneas nem o clima global. Com base na experiência internacional, estima-se que a implantação de um verdadeiro aterro sanitário na região de Valparaíso iria requer uma taxa de despejo de pelo menos US\$ 30/t de RSU; tal taxa de despejo faria a planta WTE proposta economicamente competitiva com o aterramento sanitário.*

*A percepção atual é de que os municípios já estão estressados e tem que cobrir os custos totais da gestão de resíduos com outras fontes de receita; portanto eles não podem bancar uma taxa de despejo maior, mesmo que os benefícios ambientais sejam óbvios para eles. Apenas parte da população assume a conta da gestão de resíduos através da taxa sobre propriedade imóvel e, além disso, esta taxa não depende da quantidade de resíduo gerada.*

*Os municípios da região já alocam uma fração significativa do seu orçamento para a gestão de resíduos sólidos. Em particular, do orçamento total de gestão de resíduos de Valparaíso e Vinã del Mar, os custos de coleta e transporte representam 87% enquanto o aterramento representa 13% do orçamento total. Estes altos custos de coleta não parecem estar relacionados à distância até o aterro. Por exemplo, a distância entre a cidade de Valparaíso e El Molle é de apenas 10 km, enquanto a coleta e o transporte custam US\$ 77/ t. O plano para uma nova planta WTE em El Molle deveria certamente considerar um meio mais eficiente e menos custoso de coletar RSU em Valparaíso e Vinã del Mar.*

*Os municípios são inteiramente responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos, portanto estão a cargo de todo o processo licitatório para a disposição de resíduos. Futuras licitações devem incluir a opção de tecnologias WTE, como já fez um município no sul do Chile.*

*A reciclagem em Valparaíso é informal e mínima. Recomenda-se que o plano para uma planta WTE em El Molle também considere o seguinte sistema de reciclagem:*

*a) os municípios de Valparaíso e Vinã del Mar solicitam que seus cidadãos acondicionem alguns recicláveis específicos (por exemplo, papel sortido, recipientes de metal e plástico, outros metais) separadamente e uma vez por semana (por exemplo, Sábados), os coloquem para ser coletados pelos mesmos caminhões que durante a semana coletam o lixo que vira RSU.*

*b) a coleta em cadeia única é transportada para um edifício adjacente à instalação WTE em EL Molle, onde trabalhadores separam e enfardam os vários recicláveis (por exemplo, papel sortido, recipientes de plástico, metais ferrosos e não ferrosos) para transporte para plantas de reciclagem no Chile ou no exterior. Este programa vai reforçar o princípio bem estabelecido de que reciclagem está sempre junta com o WTE.*

*As análises econômicas desenvolvidas neste Relatório são baseadas em um ciclo de vida de 20 anos para a planta WTE proposta, embora algumas modernas unidades WTE já tenham atingido seus trigésimo quinto ano e continuarão a operar pelo futuro próximo.*

*Para desenvolver uma instalação WTE do estado-da-arte em Valparaíso, será necessário que o governo nacional eleve a questão da gestão do resíduo sólido na sua lista de prioridades, similarmente à decisão governamental tomada uma década atrás em relação ao tratamento de esgotos no Chile; hoje em dia, o tratamento de efluentes acontece em modernas instalações com cobertura de quase 95%. O primeiro projeto WTE no Chile deveria ser assumido como uma decisão de infraestrutura similar a uma decisão do passado de desenvolver autoestradas nacionais que mudou o panorama da infraestrutura do país. Por exemplo, em algumas outras nações o governo apoiou o primeiro projeto WTE do país através do subsídio da taxa de despejo ou co-financiando uma parte do capital de investimento, cuja recuperação representa o maior custo da WTE proposta. Portanto, o governo nacional pode considerar maneiras e meios pelas quais pode encorajar a construção da primeira planta de waste-to-energy do país.*

*Suporte financeiro adicional pode ser possível através da compensação de carbono e mecanismos de mitigação de gases de efeito estufa. As metodologias mais acuradas de compensação de carbono, que melhor reflitam o impacto líquido de carbono destas unidades, vão aumentar os benefícios monetários dos projetos de compensação de carbono, e conseqüentemente, a viabilidade de tais projetos<sup>48</sup>.*

*Este projeto deve ser visto como um desenvolvimento positivo genuíno, com muitos impactos benéficos, tanto ambientais quanto sociais, como um resultado direto da implantação, começando com a região de Valparaíso, um sistema de gestão de resíduos sustentável que inclui reciclagem, recuperação de energia e aterramento sanitário. O Chile é agora um país membro da OCDE e a implantação do WTE pode ajudar a nação a atingir as metas desta organização quanto a questões ambientais.*

*O desenvolvimento de projetos como o WTE será mais provável, devido à existência de multas pelo não atendimento do requerimento legal de geração de energia verde, assim como as discussões correntes no Senado que podem resultar no requerimento de que 20% da geração de energia do Chile sejam derivados de fontes de energia renováveis não convencionais. Além disso, o potencial, ratificado por lei, de conexão de tal energia à rede elétrica a um custo marginal e a venda de energia renovável a taxas similares àquelas de grandes atores do mercado vai acelerar a implantação de projetos de menor escala de energia, como instalações WTE.*

## **Apêndices para o Estudo de Caso do Chile**

### **Apêndice 1: Arcabouço legal**

#### **1.1 Leis e regulamentos relacionados à gestão de resíduos**

1. Em 2007, a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) convidou o Chile a participar da organização, o que impõe um alto padrão ambiental para as políticas públicas e para a qualidade do crescimento. As recomendações da OCDE são projetadas para reduzir o número de aterros e aumentar a recuperação de materiais recicláveis assim como o tratamento térmico de resíduos com recuperação de energia.

2. O Ministério da Saúde em 2007 emitiu a regulação sobre as condições de saúde e segurança em Aterros Sanitários (DS No189/2007 MINSAL), que obrigou que todos os lixões fossem convertidos em aterros sanitários ou que submetessem ao Ministério da Saúde planos de fechamento até 31 de Dezembro de 2010, para garantir a conformidade com esta norma. Entretanto este e outros “prazos limite” foram estendidos devido à falta de soluções para a disposição final.

3. A Política Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (La Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos) aprovada pela Mesa Diretora da Comissão Ambiental Nacional (CONAMA) em 2005, estabelece os padrões para o manuseio de resíduos sólidos no Chile.

4. Decreto Supremo nº 95 de 2002 complementa as regras do processo Avaliação de Impactos Ambientais.

5. Lei 19300 de 1994: A Lei Básica do Meio Ambiente (Ley de Bases del Medio Ambiente)

Há duas outras leis que estão em estudo e se espera que sejam colocadas em vigor durante esta administração: a Lei Geral de Parceria Municipal (Ley de Asociamiento Municipal) e a Lei Geral de Resíduos (Ley General de Residuos).

6. *Lei municipal de Valparaíso (artigo 3.16). Esta lei se refere à locação de áreas para instalações de descarte de resíduos sólidos. Áreas fora da área urbana e áreas rurais serão permitidas para gestão municipal de resíduos sólidos sob o plano estabelecido pelo Plano Intercomunal de Valparaíso, além dos usos da terra que estejam previstos na lei. A terra onde tais instalações podem ser locadas deverá atender às seguintes condições:*

- *Respeitar uma distância de 300 metros de casas e mais de 600 metros de uma área residencial*
- *Respeitar uma distância mínima de 2000 metros de áreas urbanas e áreas residenciais urbanas.*
- *Não ser locada em áreas protegidas.*
- *Respeita o mínimo de 600 metros de áreas de proteção de vida selvagem e áreas prioritárias para a conservação de flora e fauna.*

### **1.2 Leis e regulamentos relacionados à energia**

*A Lei Geral de Serviços Elétricos DFL 4 (2006) é o arcabouço legal que regula as concessões e licenças elétricas, áreas de servidão, sistemas de transporte de energia elétrica, desenvolvimento de serviços elétricos e suprimento de energia elétrica.*

*A seguir está o sumário dos aspectos mais relevantes para as fontes não convencionais de energia:*

*1. Artigo 149 da DFL4 estabelece que fontes de geração não convencional, e pequenas fontes de geração que estão sincronizadas com o sistema elétrico através de instalações pertencentes à empresas de distribuição, terão direito a:*

- *Vender energia despachada para o sistema ao Custo Marginal Instantâneo (CMg); ou,*
- *Subscrever um contrato com grandes clientes comerciais e industriais em um Acordo de Compra de Energia (ACE)*

*2. Uma modificação da Lei de Energia, conhecida como “Lei Curta I”, introduzida em 2004, estabeleceu o primeiro incentivo direto para a geração de energia renovável (especificamente no artigo 71-7). A lei parcialmente ou completamente exonera aqueles geradores que produzem eletricidade de fontes não convencionais do pagamento de tarifas da transmissão. Geradores, que produzam menos que 9 MW, estão completamente exonerados, enquanto os que geram entre 9 MW e 20 MW estão parcialmente exonerados, pagando um parte da tarifa. Para geradores acima de 20 MW, a tarifa deve ser paga.*

3. Em Abril de 2008, a Lei 20257 complementou a lei de energia, redefinindo quais fontes não convencionais de energia são consideradas energia renovável. Sob esta lei a fração biodegradável do resíduo foi classificada como biomassa, portanto uma fonte renovável de energia. Antes desta emenda de lei, resíduo não era considerado biomassa.

4. Artigo nº1 transitório, da Lei 20257 requer que as companhias de eletricidade tenham pelo menos 5% da sua energia vinda de fontes renováveis não convencionais entre os anos 2010 e 2014 (a partir de 2015 aumentando 0,5%) e 10% em 2024. A não conformidade será punida com multas de 0,4 UTM/MWh (33 US\$/ MWh) e 0,6 UTM/MWh (US\$ 49/MWh) para recorrência. Esta lei é válida até 2035, depois do que se espera que fontes renováveis vão continuar produzindo sem estes incentivos. Atualmente uma nova lei está sendo discutida no Senado, que será provavelmente aprovada e que considera modificar as metas atuais para uma meta de 20% em 2020<sup>49</sup>.

## Apêndice 2 para o Estudo de Caso do Chile: Potenciais partes interessadas

**Tabela 28 Lista de Potenciais partes interessadas**

<b>PARTE INTERESSADA</b>	<b>OBJETIVOS DA PARTE INTERESSADA</b>	<b>POSSÍVEL INFLUÊNCIA DA PARTE INTERESSADA</b>
<b>Ministério do Ambiente</b>	<i>O projeto requer uma avaliação de impactos ambiental Supervisão e monitoramento do sistema Estabelecer políticas ambientais Procurar o atingimento de padrões internacionais de práticas ambientais</i>	<i>Cancelamento, atraso ou mudança do projeto Obstáculos administrativos e burocráticos</i>
<b>Ministério da Saúde</b>	<i>O resíduo é manuseado apropriadamente e as emissões atmosféricas da unidade atendem às normas de emissões</i>	<i>Cancelamento, atraso ou mudança do projeto</i>
<b>Municípios</b>	<i>Administração do sistema de gestão de resíduos</i>	<i>Fornecer resíduos para a unidade e pagamento pela disposição dos resíduos Negociação de contratos</i>

		<p><i>Problemas na gestão do RSU</i></p> <p><i>Falta de clareza e transparência no cálculo das tarifas de disposição de resíduos</i></p> <p><i>Falta de iniciativas de reciclagem</i></p>
<b>Ministério da Energia</b>	<i>Propor e regular incentivos para a energia limpa</i>	<i>Regular o preço da energia</i>
<b>Prefeitura de Valparaíso</b>	<p><i>Benefícios Sociais, Ambientais e de Saúde para a comunidade</i></p> <p><i>Encorajar incentivos de melhorias contínuas para o sistema</i></p>	<p><i>Demanda por recursos e competência técnica para resolver questões de curto e longo prazo</i></p> <p><i>Resolver conflitos com várias partes interessadas</i></p>
<b>Catadores</b>	<i>Mudança na gestão de resíduos pode afetar ou eliminar sua fonte de renda</i>	<i>As atividades dos catadores podem afetar as propriedades e quantidade de resíduos</i>
<b>Grupos comunitários e cidadãos das vizinhanças</b>	<p><i>Aumento da qualidade de vida devido às melhorias ambientais</i></p> <p><i>O projeto pode gerar oportunidades de emprego</i></p> <p><i>Impactos negativos</i></p>	<i>Cancelamento, atraso ou mudança do projeto devido a protestos das comunidades</i>
<b>ONGs ambientais</b>	<i>Reduzir o impacto da gestão de resíduos no ambiente</i>	<i>Cancelamento, atraso ou mudança do projeto devido a protestos das ONGs ou apoio ao projeto devido a impactos ambientais positivos</i>
<b>Vizinhos</b>	<i>Vizinhança livre de ruído poeira, tráfego pesado e impacto visual. Impacto no preço de imóveis</i>	<i>Cancelamento, atraso ou mudança do projeto devido a protestos de vizinhos</i>
<b>Empresas de Coleta e transporte</b>	<i>Desejo de manter ou expandir seus negócios</i>	<i>Novos equipamentos para separação, recipientes e veículos</i>
<b>Geradores de Energia</b>	<i>Preferem poucos fornecedores e preços maiores de energia</i>	<i>Variação de preços de energia devido a preços de combustíveis fósseis e secas</i>
<b>Instalações de disposição de resíduos</b>	<i>Desejo de receber mais resíduos Participar de concorrências para serviços municipais</i>	<i>Podem reduzir taxas de despejo devido à crescente competição</i>
<b>Municípios vizinhos à área</b>	<i>Têm uma alternativa economicamente competitiva para a disposição de resíduos</i>	<i>Fornecer resíduos para a planta e pagamento pela disposição do resíduo</i>

## **Referências para o Estudo de Caso do Chile**

---

<sup>40</sup> Instituto Nacional de Estadísticas do Chile. Disponível em [www.ine.cl](http://www.ine.cl)

<sup>41</sup> Ministério do Meio Ambiente do Chile, "Reporte del Manejo de Residuos Sólidos en Chile (2010)".

<sup>42</sup> Ministério do Meio Ambiente do Chile, CONAMA (Comissão Ambiental Nacional). Disponível em [www.mma.gob.cl](http://www.mma.gob.cl)

<sup>43</sup> Centro de Economía y Administración de Residuos Sólidos, Universidad Federico Santa Maria, "Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos Región de Valparaíso". 2011.

<sup>44</sup> Grupo de Residuos Solidos, P.U.C.V., "Caracterización de RSU para Valparaíso". Report provided by provided by Esteban Alves, Stericycle, Valparaiso.

<sup>45</sup> Esteban Alvez, El Molle Landfill Manager, Stericycle.

<sup>46</sup> SIC-SING, SYSTEP, "Reporte Sector Eléctrico". June 2011.

<sup>47</sup> Bloomberg.

<sup>48</sup> Weaver, A. J. 2011. Towards the Second Commitment Period of the Kyoto Protocol. *Science* 332: 795-796.

<sup>49</sup> Bloomberg New Energy Finance 2011.

## **8 Estudo de Caso 2: Toluca, México**

### **8.1 Fatos sobre o país**

*O México tem uma área de 1,96 milhões de km<sup>2</sup>, uma população de 112 milhões de habitantes (2010), e uma taxa de crescimento populacional de 1,8% (2005-2010)<sup>50</sup>. O país é dividido em 31 estados mais o Distrito Federal (Cidade do México) e cada estado é dividido em municípios.*

*O PIB do México é de US\$ 1,57 trilhões (estimativa de 2010)<sup>51</sup>, o décimo segundo do mundo, e o mais alto da América Latina. O PIB per capita é de US\$ 13.900 (estimativa de 2010 com base na paridade do poder de compra)<sup>51</sup>.*

*O México tem uma economia baseada no livre comércio e cerca de 90% do seu comércio está sob acordos de livre comércio com mais de 50 países, incluindo o North America Free Trade Act (NAFTA) e a Área de Livre Comércio da Europa. A economia é baseada em um misto de indústria (alimentos e bebidas, tabaco, química, ferro e aço, petróleo, mineração, têxteis, veículos automotivos e turismo) e agricultura (milho, trigo, soja, arroz, feijão, algodão, café, frutas, tomate). É o sétimo maior produtor de petróleo do mundo, com uma produção total de 3 milhões de barris por dia<sup>52</sup>.*

### **8.2 Gestão de resíduos no México**

*Cada município é responsável pela sua gestão de resíduos, incluindo coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos. Entretanto, o Congresso Federal emite leis que ajudam os governos Federal, Estadual e Municipal a gerenciar efetivamente todos os seus assuntos de proteção ambiental (ver Apêndice 1 – Estudo de Caso do México). A maior parte dos municípios gerencia estes serviços diretamente, enquanto alguns o fazem através de companhias municipais autônomas, como a SERVILIMPIA em Mérida<sup>53</sup> ou companhias privadas, por exemplo o aterro sanitário em Queretaro<sup>53</sup>.*

*Os cidadãos mexicanos não pagam diretamente pela gestão de resíduos; os governos municipais são responsáveis por custear estes serviços através de taxas sobre bens imóveis ou outras taxas. Portanto, o financiamento disponível pode não ser suficiente para prover serviços de qualidade.*

*Estima-se que 66% do RSU sejam dispostos em aterros sanitários, 12% em aterros regulamentados, 12% em lixões clandestinos, 6% queimado a céu aberto e 4% é descartado no solo e nas águas<sup>54</sup>. Em zonas metropolitanas, onde 56% da população do México vive, 77-96% do RSU coletado é disposto em aterros sanitários ou*

regulamentados; em áreas semiurbanas essa fração varia de 29 a 34%, enquanto que em áreas rurais menos que 3% é disposto apropriadamente<sup>55,56</sup>.

### **8.3 Outras informações básicas relevantes**

O México tem a vantagem de ter bancos de desenvolvimento que são parte da Administração Pública Federal (Apêndice 2- Estudo de Caso do México). Sua função principal é facilitar acesso a financiamento e prover assistência técnica a indivíduos e instituições. Estes bancos de desenvolvimento podem ajudar empreendimentos, como uma planta WTE, a se tornar realidade no México.

### **8.4 Razões para selecionar o Município de Toluca para o Estudo de Caso do México**

As cidades consideradas para o caso do México foram:

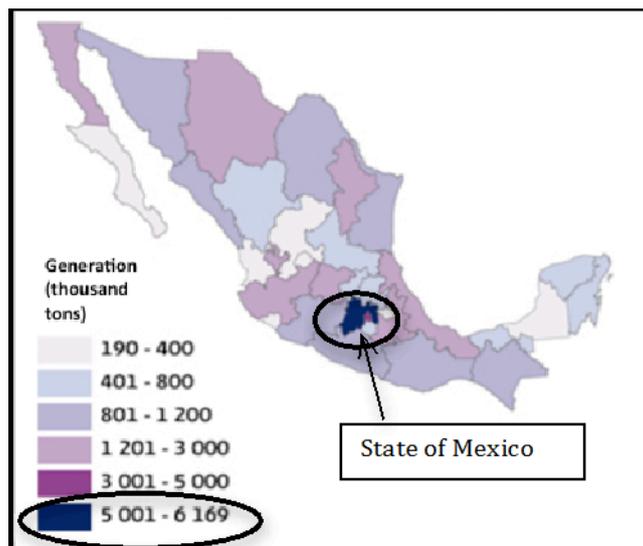
- Cidade do México
- Monterrey e sua área metropolitana
- Toluca

As razões para selecionar Toluca para este estudo de caso foram:

É uma cidade de médio porte, que é mais representativa das cidades da América Latina; ao contrário da Cidade do México e Monterrey, ambas cidades grandes.

É uma cidade industrial com companhias que podem contribuir com insumo de alto poder calorífico para a planta WTE e que também podem ser compradores em potencial do vapor de baixa pressão produzido pela planta.

Toluca é a capital do Estado do México, o estado com a maior geração de RSU no país (Figura 44).



**Figura 44** Distribuição da geração de RSU no México (2008) (EEC)

### 8.5 Visão geral de Toluca

Toluca tem uma população de 0,82 milhões de habitantes e é a capital do Estado do México, o estado mais populoso do país (14 milhões). Está localizada na parte central do México, cerca de 72 Km a leste da Cidade do México (Figura 45). Devido à sua alta altitude (2,6 Km acima do nível do mar), a temperatura média anual de Toluca é de cerca de 12 °C.

Toluca é dividida em 24 delegações. Devido a sua proximidade da Cidade de México, Toluca é ao mesmo tempo cosmopolita e industrial. Algumas das mais importantes indústrias mexicanas podem ser encontradas aqui, como indústria têxtil, automobilística, de bebidas e farmacêutica.



**Figura 45** Localização geográfica de Toluca e Cidade do México (EEC)

## 8.6 Gestão de Resíduos em Toluca

De acordo com o Código de Biodiversidade do Estado do México (Apêndice 1 – Estudo de Caso do México), a gestão de resíduos sólidos inclui os seguintes estágios:

- Varrição de áreas comuns, ruas, estradas e qualquer outro tipo de espaço público
- Coleta e transporte de RSU para estações de transferência e /ou aterros
- Armazenamento temporário de RSU dentro de plantas selecionadas para a distribuição de materiais para compostagem, reuso, reciclagem, tratamento térmico ou qualquer outro tratamento.
- Disposição final em aterros sanitários ou controlados

A Direção Geral de Serviços Públicos e Meio Ambiente da Cidade de Toluca relatou que coleta e transporta 510 t/dia, a um custo de US\$ 39/t de RSU. O custo de disposição relatado no aterro de San Antonio La Isla é de US\$ 12,7/t.

A geração per capita de RSU em Toluca triplicou de 0,11 para 0,36 nos últimos 50 anos e chegou a 295.000 toneladas em 2009. A composição do RSU em 2009 é mostrada na Figura 46.

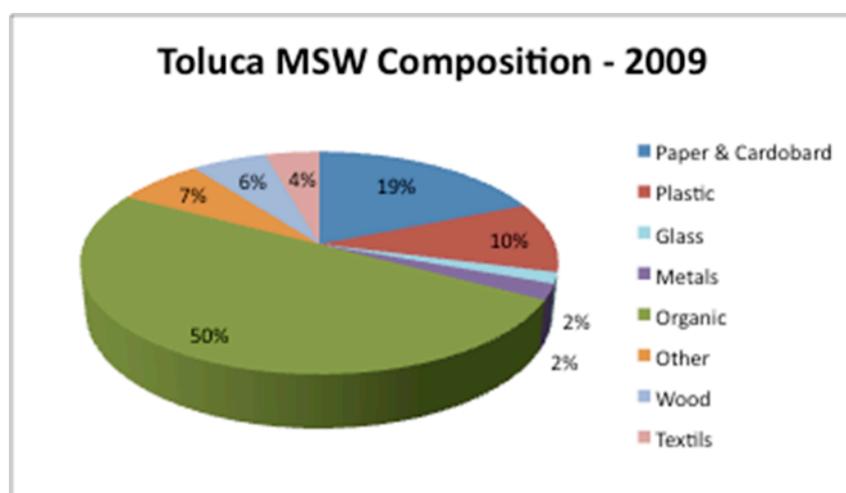


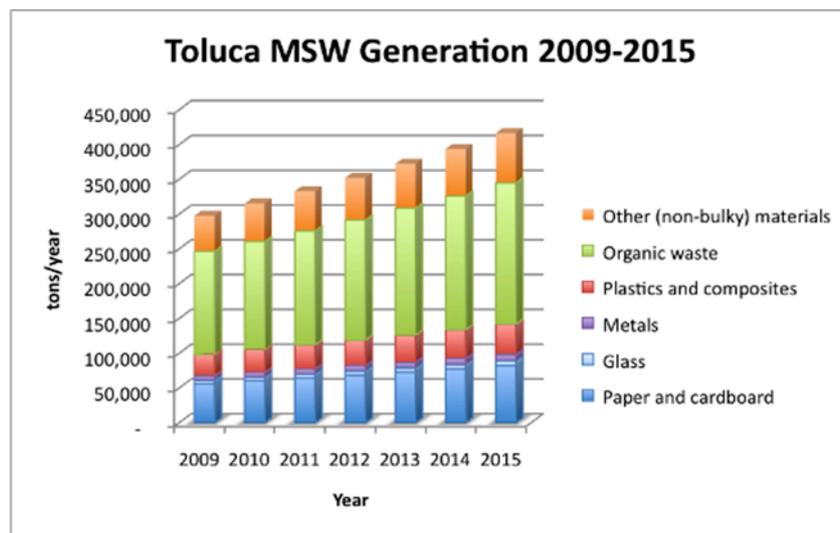
Figura 46 Composição do RSU de Toluca em 2009<sup>1</sup> (EEC)

O menor PCI para o RSU de Toluca é estimado em 10,4 MJ/Kg (Tabela 29). Está próximo da metade da faixa de poderes caloríficos de plantas WTE operando na Europa e América do Norte (7 MJ a 14 MJ/ Kg).

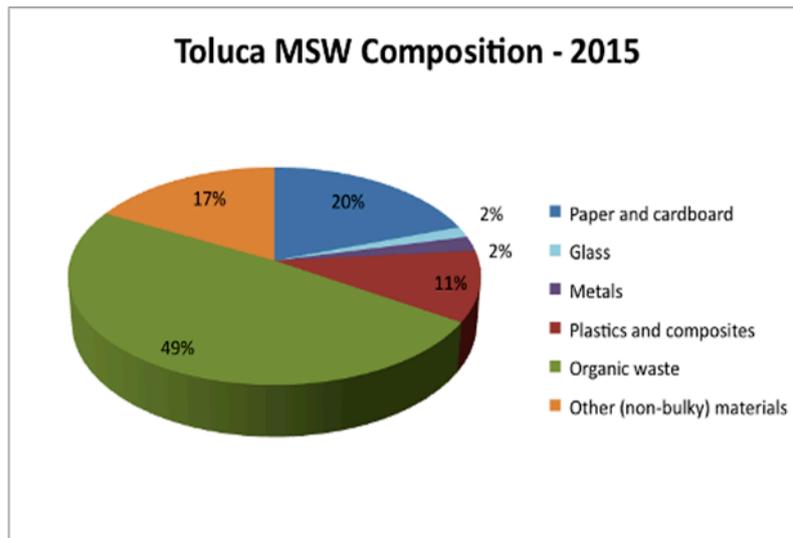
**Tabela 29 Composição do RSU de Toluca (2010) e poder calorífico**

Componente do RSU	Caracterização do RSU de Valparaíso (2001)	MJ/kg material (Guia Tchobanoglous)	Contribuição para o poder calorífico do RSU, MJ/kg
Restos de comida	50,0%	4,6	2,3
Papel e papelão	19,0%	15,6	3,0
Madeira	6,0%	15,4	0,9
Plásticos	10,0%	32,4	3,2
Têxteis	4,0%	18,4	0,7
Vidro	2,0%	0	0
Metais	2,0%	0	0
Outros	7,0%	4	0,3
<b>Total</b>	<b>100%</b>		<b>10,4</b>

Em 2015 espera-se que a geração de RSU aumente para 0,45 toneladas per capita e eleve levemente o PCI. A Figura 47 e a Figura 48 mostram o crescimento e a composição projetados do RSU em 2015.



**Figura 47 Geração projetada de RSU em Toluca: 2009-2015(EEC)**



**Figura 48 Composição projetada do RSU de Toluca em 2015 (EEC)**

### **8.7 Disposição atual do RSU em Toluca**

#### **Coleta**

*Estima-se que 186.000 toneladas<sup>58</sup> de RSU são coletadas anualmente em Toluca. Isto representa apenas 63% do RSU total gerado em Toluca; o restante é descartado em aterros clandestinos.*

*O serviço de coleta é fornecido através da Direção de Resíduos Sólidos para 9 delegações. As outras 15 delegações são servidas desde 2004 pela empresa privada “Servicio de Transporte S.S. de C.V.”. Os 75 caminhões municipais seguem 193 rotas, 148 em áreas urbanas e suburbanas e 45 em zonas rurais. Muito embora o Código de Biodiversidade de 2007 estabeleça que cidadãos do Estado do México devam separar seus resíduos em orgânicos e inorgânicos, os resíduos ainda não são separados na fonte. O serviço de coleta começa diariamente às 07:00 h e continua até que todas as rotas previstas sejam percorridas. Não há estações de transferência de resíduos (ETR) em Toluca. Todo o resíduo coletado é transportado para o local da disposição final quando a rota de coleta é finalizada ou o caminhão fica cheio.*

#### **Reciclagem**

*Como no restante do México, a coleta informal tem um papel significativo na reciclagem em Toluca e atinge, estima-se, 8% do RSU gerado. É muito comum ver*

*peessoas indo de casa em casa oferecendo a compra ou coleta todos os tipos de papel, papelão, metais e outros materiais. Além disso, para promover a reciclagem pelos cidadãos as autoridades municipais de Toluca criaram 12 “centros de coleta” localizados em diferentes lojas de conveniências e vizinhanças que aceitam papel, vidro, plástico, metais, alumínio, baterias, madeira, etc. Para cada quilo de material reciclado os cidadãos recebem em troca cupons chamados “Ecos”. Os Ecos têm valor monetário e podem ser usados para a compra de produtos básicos como arroz, feijão, detergentes, etc.*

*Além deste programa, A Direção Ambiental de Toluca encoraja escolas a criar centros de coleta. Dezesesseis escolas estão participando deste projeto e recebem certificados que podem ser usados para adquirir material educacional ou melhorar as condições das instalações da escola. Uma parte importante na operação destes centros é a criação de um “Conselho de Vigilância” para assegurar a transparência no uso das receitas. Um jornal local, “Poder Edomex”, relatou em Fevereiro de 2011 que ao longo de 2010 estes centros coletaram 300 toneladas<sup>59</sup> de recicláveis como alumínio, papelão, papel, vidro e PET.*

### **Compostagem**

*Embora não haja oficialmente atividades de compostagem na cidade de Toluca, há alguns locais de compostagem como o do aterro de San Antonio La Isla, que atende Toluca. Durante uma visita do time do projeto, o gestor deste aterro declarou que resíduos verdes (“resíduos de poda”) são triturados e compostados aerobicamente. Aproximadamente duas toneladas de resíduos por dia são processadas aqui, gerando cerca de 500 Kg de composto, que é usado para condicionamento do solo.*

*Durante a visita ao segundo aterro sanitário que atende Toluca, Zinacantepec, foi declarado que eles tentaram compostar RSU misto, mas não foi possível produzir um composto utilizável dos resíduos mistos domésticos.*

### **Aterro**

*O RSU coletado pelo município é disposto em dois aterros sanitários. Quase metade é disposto no aterro de San Antonio La Isla (SALI) que fica a cerca de 17 quilômetros do centro de Toluca e serve à parte norte da cidade; a outra metade, da parte sul da cidade, é disposta no aterro de Zinacantepec, a 15 Km do centro (Figura 49). Ambos coletam e queimam uma parte do gás de aterro. Quanto às taxas de despejo, o gerente geral de SALI relatou que o Município de Toluca paga em média uma taxa de cerca de US\$ 13 /t. A Figura 49 mostra a localização de outros aterros na área de Toluca.*

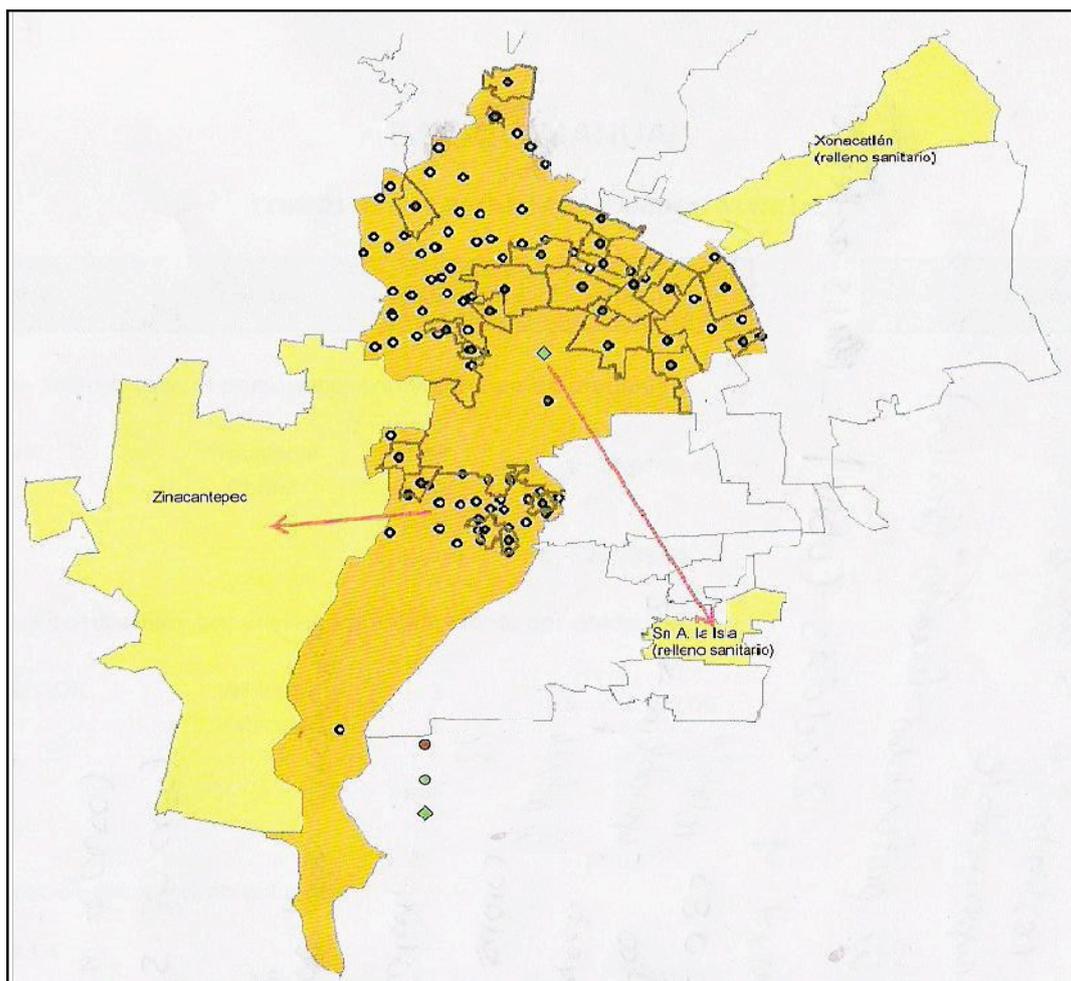


Figura 49 Localização dos dois aterros sanitários e aterros clandestinos de Toluca<sup>57</sup> (EEC)

Tabela 30 Dados operacionais dos dois aterros que atendem Toluca (Novembro de 2010)

	San Antonio La Isla	Zinacantepec
<i>Distância do centro de Toluca (Km)</i>	17	15
<i>Área total do aterro (Ha)</i>	10,5	8,5
<i>Ano de início de operação</i>	2007	2007
<i>RSU recebido em média (t/dia)</i>	850	600
<i>Capacidade total (milhões de toneladas)</i>	2,29	1,48
<i>t/ m<sup>2</sup> a plena capacidade</i>	21,7	17,4
<i>Vida útil (anos)</i>	13	8
<i>Capacidade remanescente (milhões de t)</i>	1,78	0,88

### 8.8 Potencial proposto de capacidade e geração de energia

O tamanho selecionado para o caso da planta de Toluca é de 20 t/h de capacidade em linha única, ou seja, 20 toneladas X 8.000 horas de operação por ano = 160.000 toneladas por ano. Como mencionado antes, a geração atual de RSU em Toluca é de cerca de 300.000 t/ano, é projetado que aumente para 400.000 t em 2015. A ideia é começar com uma planta de custo relativamente baixo e também deixar espaço para o aumento da reciclagem. Com base na experiência adquirida com

esta planta de uma linha, uma segunda linha pode ser adicionada no futuro, assim dobrando a capacidade para 320.000 t/ano.

Como mostrado antes, o poder calorífico do RSU de Toluca é estimado em 10 MJ/Kg. Para tal poder calorífico e uma capacidade de 160.000 t/ano, a produção líquida de energia elétrica é estimada em 0,6 MWh/t de RSU, ou seja, 96.000 MWh anualmente e 12 MW de energia de base para a rede. Como uma família mexicana consome em média 1.660 MWh/ano, a WTE de Toluca forneceria eletricidade suficiente para cerca de 60.000 famílias.

### 8.9 Local selecionado para a planta WTE

O local mais apropriado para a WTE de Toluca é próximo ao aterro sanitário de “San Antonio La Isla”, um dos dois aterros sanitários que atualmente atende a Toluca. (Figura 50).

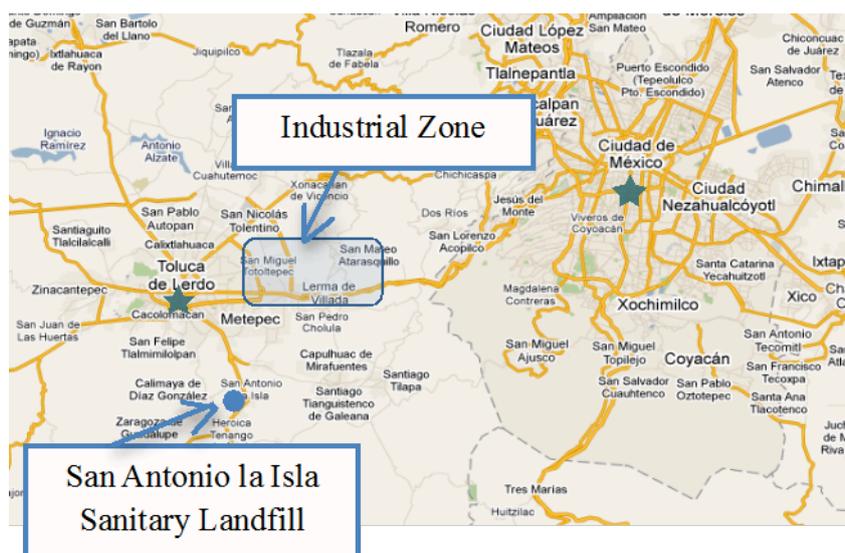


Figura 50 Mapa de Toluca mostrando o local potencial para a planta WTE de Toluca (EEC)

Estima-se que a unidade WTE ocuparia uma área de cerca de 4 hectares do terreno de San Antonio La Isla (ver Seção 5.5 deste Guia). Esta estimativa inclui uma Unidade de Recuperação de Materiais e um Centro de Visitantes que iria ilustrar os vários métodos de gestão de resíduos, incluindo a operação da WTE. Entretanto, se for necessário alguma área adicional, e não houver disponibilidade dentro de San Antonio La Isla, ela poderia ser comprada na área do entorno. (Figura 51).

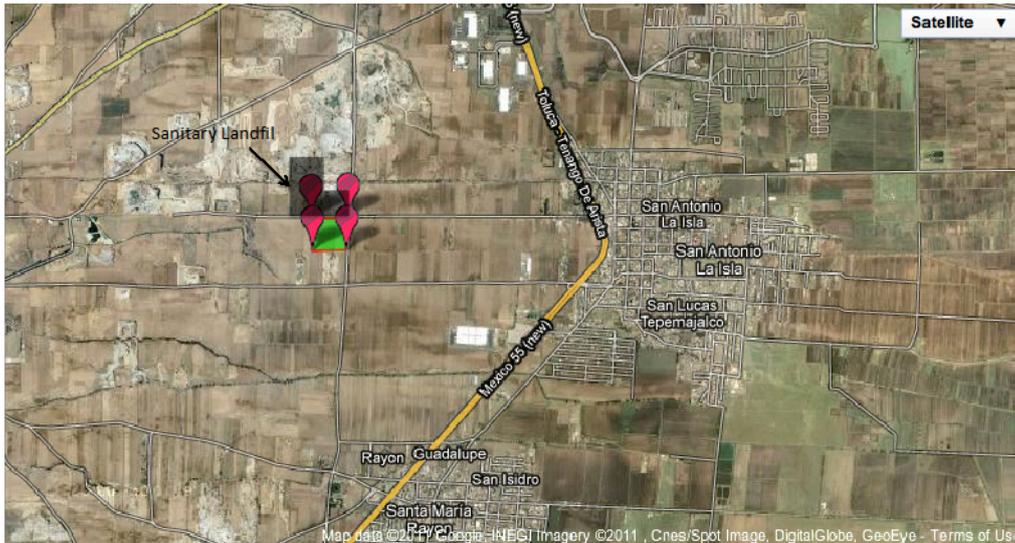


Figura 51 Área de San Antonio la Isla mostrando áreas adicionais em volta o aterro sanitário (EEC)

### 8.10 Limite de emissões projetado

Os padrões de emissão para instalações de incineração no México são publicados no NOM-098-SEMARNAT-2020 (Apêndice 1 do Estudo de caso do México). Entretanto, a WTE de Toluca será projetada para atender os padrões ainda mais rigorosos da EU (Tabela 17). A tabela 31 compara os padrões mexicanos atuais com padrões da EU que serão atendidos pela unidade WTE projetada para Toluca. Embora os padrões mexicanos requeiram monitoramento contínuo apenas do dióxido de carbono, a planta WTE proposta teria também monitoramento contínuo de todos os gases ácidos e material particulado.

Tabela 31 padrões de emissão da NOM-098-SEMARNAT-2002 para instalações de incineração no México, em comparação com padrões de emissão da UE (11% O<sub>2</sub>, base seca)

Emissão	Padrão mexicano (mg/m <sup>3</sup> )	Frequência de medição (México)	Padrão EU (mg/m <sup>3</sup> )
CO	63	Contínuo	50
HCl	15	Trimestral	10
NO <sub>x</sub>	300	Bianual	200
SO <sub>2</sub>	80	Bianual	50
Material particulado	50	Bianual	10
Cádmio	0,07	Bianual	0,05
Titânio	0,7	Bianual	
Selênio			
Cobalto			
Níquel			
Manganês			
Arsênio			

<b>Chumbo</b>	0,7	Bianual	0,5
<b>Cromo</b>			
<b>Cobre</b>			
<b>Zinco</b>			
<b>Mercúrio</b>	0,07	Bianual	0,05
<b>Dioxinas e Furanos (TEQ; ng/m<sup>3</sup>)</b>	0,2	Anual	0,10

### 8.11 Custos projetados da planta WTE

Como nos estudos de caso de Chile e da Argentina, os custos estimados apresentados aqui são baseados em unidades recentemente construídas na Europa e nos EUA onde a planta WTE é fornecida com uma fornalha de grelha de combustão e uma caldeira de alta qualidade, e um sistema de controle de poluição de estado-da-arte.

As estimativas preliminares mostradas nesta seção não levam em consideração as condições locais e estão sujeitas a muitos fatores, tais como o preço do aço. Desta forma, considera-se que estão dentro de uma faixa de mais ou menos 20%.

#### Custo de capital

Como mencionado antes, a instalação precisará de aproximadamente 4 Hectares de terra (40.000 m<sup>2</sup>). O custo da terra em torno do aterro sanitário de “San Antonio La Isla” é de aproximadamente US\$ 22/ m<sup>2</sup>. Isto foi determinado após realização de algumas pesquisas na Internet de preços de terra acima de 2 Hectares naquelas vizinhanças.

Portanto o custo total da terra é:

$$\text{US\$ } 22,41/\text{m}^2 \times 40.000 \text{ m}^2 = \text{US\$ } 900.000$$

Todos os itens dos custos de capital estão mostrados na Tabela 32.

**Tabela 32 Estimativas de Custo de capital**

<b>Número de linhas</b>	<b>1</b>
<b>Preparação do local, acesso, paisagismo (milhões de US\$)</b>	<b>6</b>
<b>Construção civil, chaminé (milhões de US\$)</b>	<b>33</b>
<b>Grelha, caldeira, fornecimento de ar, manuseio de cinzas, sistemas elétricos e mecânicos (milhões de US\$)</b>	<b>38</b>
<b>Turbo gerador (milhões de US\$)</b>	<b>16</b>
<b>Sistema de controle de emissões atmosféricas (milhões de US\$)</b>	<b>10</b>
<b>Contingência (milhões de US\$)</b>	<b>16</b>
<b>Terreno</b>	<b>1</b>

<b>Custo de capital estimado (milhões de US\$)</b>	120
<b>Custo de capital estimado (US\$ / tonelada de capacidade anual)</b>	750

### Custos operacionais

Os custos operacionais, assumindo um quadro de pessoal de 40 pessoas, e combinando as cinzas de fundo e em suspensão para uso como cobertura no aterro de San Antonio La Isla, estão mostrados na Tabela 33.

**Tabela 33 Custos de operação**

<b>Número de linhas</b>	<b>2</b>
<b>Disposição de cinzas (milhões de US\$; US\$ 3,75/ t)</b>	0,60
<b>Produtos químicos (milhões de US\$; US\$ 4/ t)</b>	0,64
<b>Limpeza do gás (milhões de US\$; US\$ 8/ t)</b>	1,28
<b>Manutenção (milhões de US\$; US\$ 21,1/ t)</b>	3,38
<b>Miscelâneas (milhões de US\$; US\$ 2/ t)</b>	0,32
<b>Pessoal (milhões de US\$)</b>	0,98
<b>Subtotal (milhões de US\$)</b>	7,19
<b>Contingências (milhões de US\$; 5%)</b>	0,36
<b>Subtotal</b>	7,55
<b>Seguro (milhões de US\$; 0,6%)</b>	0,05
<b>Custo de operação estimado (milhões de US\$)</b>	7,60
<b>Custo de operação estimado (US\$ / tonelada de capacidade anual)</b>	47,50

É importante mencionar que os salários no México são mais baixos que nos EUA e Europa; por exemplo, “La Alianza Global Jus Semper” publicou no seu relatório “Gráficos de Gaps de Salários no México”<sup>60</sup> que em 2008 os trabalhadores na indústria manufatureira do México ganhavam 30% a menos que trabalhadores análogos nos EUA, o que significa que salários podem estar superestimados neste estudo de caso. Entretanto alguns outros custos podem estar subestimados, por exemplo, alguns materiais necessários à manutenção podem não estar disponíveis no México e deverão ser importados. Portanto, como mencionado antes, estas estimativas podem mudar, quando foram levadas em conta as condições locais.

### **8.12 Receitas projetadas da planta WTE**

Esta seção vai apresentar as receitas da planta, incluindo aquelas da venda de eletricidade, taxa de despejo, venda de metais e créditos de carbono.

#### **Taxas de despejo:**

Para esta análise assumiu-se que a taxa de despejo paga para a planta WTE seria a mesma que a atual taxa para aterro em Toluca. Durante a visita ao aterro sanitário de San Antonio la Isla, o seu gerente, eng. Jorge Mejía, afirmou que a taxa de despejo média é de MXN \$150 por tonelada, correspondentes a cerca de US\$ 13 por tonelada de RSU<sup>ii</sup>. Portanto as receitas anuais com a taxa de despejo serão de aproximadamente US\$ 2 milhões.

### **Venda de eletricidade:**

Em Dezembro de 2004, A Gazeta Oficial da Federação alterou a Lei do Imposto de Renda (Seção XII do Artigo 40, Apêndice 1 do estudo de caso do México); agora os contribuintes que investirem em máquinas e equipamentos para a geração de energia a partir de fontes renováveis podem deduzir 100% do investimento em um período. A lei estipula que o equipamento comprado deve permanecer em operação por um período mínimo de cinco anos.

O Banco Mundial, o Fundo Global para o Meio Ambiente (FGM) e o Governo Mexicano também criaram uma aliança estratégica para suportar a geração de energia renovável por meio de um empréstimo de duas fases de US\$ 70 milhões que tem o objetivo de compensar as diferenças que existem entre as fontes de energia renováveis e convencionais. Este Fundo pode prover o pagamento de incentivos que vão de US\$ 7,5 a US\$ 15/MWh de energia renovável sobre o preço que a Companhia Energética Nacional paga aos geradores. Entretanto, este suporte será garantido apenas por um número limitado de anos<sup>61</sup>.

---

<sup>ii</sup> 1USD = 11,78 MXN

### **Receitas com eletricidade**

De acordo com a lei mexicana (ver Apêndice 1 – Estudo de Caso do México), a eletricidade gerada por produtores independentes, como a futura planta WTE, só pode ser vendida para a Comissão Federal de Eletricidade (“CFE”), enquanto que a energia térmica a ser produzida pela WTE não pode ser vendida a terceiros. Entretanto, como a lei permite o uso da eletricidade produzida na propriedade de alguém, produtores independentes de energia (PIE) no México podem superar este problema vendendo sua energia elétrica através de Acordos de Compra de Energia, com o “arrendamento” da propriedade onde a planta está para terceiros. Com este esquema, terceiros, usuários desta eletricidade, pagam menos do que usualmente pagariam para o CFE, enquanto o PIE vende a energia a um preço maior do que a CFE pagaria.

Os pagamentos feitos pela CFE para os Produtores Independentes de Energia (PIE) consistem de três categorias principais:

- Tarifas fixas de capacidade, destinadas a cobrir o capital investido
- Tarifas fixas e variáveis de operação e manutenção
- Custo de combustível, que é o principal elemento do custo total de geração e é altamente variável, pois o gás natural é pago a preço de mercado.

O PIE entrega a sua energia elétrica ao ponto mais próximo de conexão com a rede. Não há custos para o PIE para a transmissão de energia e as tarifas são as mesmas para todos os produtores, independente da fonte de energia (ou seja, não há incentivos para os renováveis). Os pagamentos da CFE pela energia elétrica, chamados de “custos de geração” no período 2007-2012 são mostrados na Tabela 34.

**Tabela 34 Custos de geração da CFE**

Ano	Tarifas fixas de capacidade	Tarifas de operação e manutenção	Subtotal	Combustíveis	Total
	US\$/KWh				
2007	0,014	0,007	0,021	0,049	0,070
2008	0,012	0,006	0,018	0,052	0,070
2009	0,014	0,007	0,020	0,031	0,051
2010	0,014	0,007	0,021	0,035	0,055
<b>Média 2007-2010</b>	0,013	0,007	0,020	0,042	0,062

A planta WTE de Toluca, com capacidade de 160.000 t/a e geração de energia líquida de 0,6 MWh/t, forneceria uma carga na base de 12 MW para a rede uma produção esperada de energia elétrica de 96 GWh por ano. Como consequência, assumindo um pagamento de US\$62/ MWh entregue, a receita da venda de energia elétrica é estimada em US\$ 5,95 milhões ou US\$ 37,2 por tonelada de RSU.

Além disso, se os incentivos de redução de carbono mencionados acima fossem aplicados, o preço da energia elétrica seria entre US\$ 69,5/MWh (US\$ 62/MWh +US\$ 7,5/ MWh) e US\$ 77/ MWh (US\$ 62/MWh + US\$ 15/ MWh). Neste caso a receita da venda de energia seria entre US\$ 6,67 milhões e US\$ 7,39 milhões, ou seja, US\$ 41,7 – US\$ 46,2 por tonelada de RSU.

#### **Créditos de carbono:**

Como foi discutido neste Guia, a redução projetada na emissão de gases de efeito estufa devido à operação da WTE seria de 0,5 toneladas de dióxido de carbono, em comparação com o aterramento sanitário. Como no estudo de caso do Chile, o valor conservador de US\$ 5 por tonelada de RSU incinerado foi usado, ou seja, US\$ 0,8 milhões por ano para Toluca.

#### **Venda de metais recuperados das cinzas de fundo:**

O RSU de Toluca contém 2% de metais (Tabela 29) e, como nos dois outros estudos de caso, será assumido que 50% deste metal será recuperado. De acordo com um estudo

conduzido pelo Governo do México e o GTZ ( German Technical Cooperation), o preço médio da sucata no Vale de Toluca é de US\$ 93 / t. Portanto, a receita total dos metais recuperados será de US\$ 148.800 anualmente, ou US\$ 0,93 /t.

### **8.13 Análise Financeira para a WTE de Toluca**

De forma análoga aos outros estudos de caso, a abordagem usada para a análise financeira foi calcular o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de retorno (TIR) do fluxo de caixa operacional. Isto quer dizer que custos específicos de financiamento não foram levados em consideração e, portanto, tanto o VPL quanto a TIR vão provavelmente diminuir quando estes custos forem considerados. Além disso, variações nos fluxos de caixa devido à inflação ou outros fatores não foram incluídos, e poderiam ter impactos importantes na análise.

Os cenários considerados para a avaliação da análise financeira são os seguintes:

- Cenário Base: Energia elétrica é vendida a US\$ 62/ MWh (não há incentivo à energia renovável)
- Cenário 2: Há um incentivo à energia renovável, e a eletricidade seria vendida a US\$ 73,25/ MWh (média entre US\$ 69,5/ MWh e US\$ 77/ MWh).
- Cenário 3: O projeto obtém um empréstimo equivalente a 50% do capital do investimento de um banco de desenvolvimento (ver Apêndice 2 do Estudo de Caso do México), e a energia é vendida a US\$ 62/ MWh.

A taxa de despejo assumida para os cenários foi a taxa atual do aterro de San Antonio la Isla (US\$ 12, 75/ t).

O período de retorno usado foi de 23 anos, assumindo aproximadamente 3 anos de construção e 20 de operação.

As taxas de desconto usadas para cálculo do VPL são de 5%, 10% e 15%. A razão para selecionar 5% é que é o custo de capital estimado do governo federal do México em dólares americanos, pois em 18 de Outubro de 2011, o bônus soberano de 23 anos do México em US\$ (UMS 34) estava sendo negociado a 5%<sup>62</sup>. A razão para também usar taxas de desconto de 10% e 15% é que se investidores privados participassem da planta WTE, o custo de capital seria maior que para o governo do México, e portanto 10% e 15% são usados para ilustrar este cenário.

A Tabela 35 mostra o VPL para as três taxas de desconto e também a TIR para os três cenários.

**Tabela 35 VPL a taxas de desconto de 5%, 10% e 15%, e TIR para os três cenários**

<b>Cenário</b>	<b>VPL a 5% (milhões de US\$)</b>	<b>VPL a 10% (milhões de US\$)</b>	<b>VPL a 15% (milhões de US\$)</b>	<b>TIR (ao ano)</b>
<b>Base</b>	-94	-90	-85	-10,8%
<b>Cenário 1</b>	-83	-83	-80	-7,0%
<b>Cenário 2</b>	-40	-41	-40	-6,3%

A TIR para os três cenários foi negativa, o que indica que o projeto não é viável com nenhum custo de capital com a atual taxa de despejo. Além disso, como o projeto está muito distante de se equilibrar, os resultados obtidos com os cálculos de VPL para estes cenários não fazem sentido.

As taxas de despejo requeridas para que a planta se equilibre operacionalmente (ou seja, VPL =0), com taxas de desconto de 5%, 10% e 15% nos três cenários são mostradas na Tabela 36.

**Tabela 36 Taxa de despejo a taxas de desconto de 5%, 10%, e 15%, e TIR para os três cenários**

<b>Cenário</b>	<b>Taxa de despejo (US\$/t)</b>		
	<b>Taxa de desconto 5%</b>	<b>Taxa de desconto 10%</b>	<b>Taxa de desconto 15%</b>
<b>Base</b>	69	103	145
<b>Cenário 1</b>	62	97	139
<b>Cenário 2</b>	36	53	74

O resultado mostra que mesmo com um empréstimo de 50% (Cenário 3), a taxa de despejo da unidade WTE deveria ser pelo menos duas vezes a taxa de despejo paga atualmente no aterro de San Antonio la Isla.

Isto pode ser atribuído à falta de políticas ambientais no México que suportem a geração de energia a partir de fontes renováveis e às taxas de despejo muito baixas cobradas atualmente no México. Além disso, o aumento das taxas de despejo parece improvável, pois o governo municipal seria demandado a pagar mais que duas vezes o que é pago atualmente para a disposição.

#### **8.14 Partes interessadas**

*Com a introdução de uma nova tecnologia como a WTE no México, uma ampla gama de partes interessadas vai desempenhar um papel vital tanto a favor quanto contra o projeto. Seus interesses podem ser econômicos, sociais, ambientais e legais. É importantes identificar as principais partes interessadas, que precisam ser aconselhadas e consultadas durante toda a duração de um projeto como a instalação de uma unidade WTE no México, principalmente por que existe muito pouca informação e muitos paradigmas foram criados em relação a estas tecnologias.*

*A identificação de partes interessadas vai permitir aos gerentes de projeto a também desenvolver planos de ação e mecanismos para manter contato próximo com elas, e compartilhar todas as informações que possam ser úteis ou interessantes para elas. A Tabela 37 do Apêndice 3 do estudo de caso do México lista as partes interessadas mais importantes e que podem desempenhar um papel durante as discussões, o planejamento e desenvolvimento de uma instalação WTE na cidade de Toluca, os seus interesses e influência.*

*Durante sua visita ao aterro sanitário de San Antonio la Isla e os encontros com diferentes partes interessadas na cidade de Toluca (universidades, oficiais do governo e o gestor do aterro), o time recebeu um retorno muito positivo de todos os contatos, declarando que eles tiveram uma mudança de visão em relação à combustão e geração de energia e a poluição atmosférica gerada por ela. Em adição a isto, o gerente do aterro comentou para o time do projeto que eles já estão considerando ofertas de captura e uso do biogás do aterro para produzir energia elétrica. Participantes destas reuniões sugeriram que os principais obstáculos para o desenvolvimento desta tecnologia no México são o financiamento necessário, o arcabouço legal para a geração de energias renováveis, o fato de que a energia elétrica é fornecida por apenas uma empresa (CFE – e portanto energia elétrica de geradores privados só pode ser vendida para a CFE) e oposição pública devido a informações inadequadas sobre os benefícios do WTE.*

#### *Mecanismos para manter contato estreito com as partes interessadas*

*A ampla gama de interesses e participação de partes interessadas pode levar à criação de diferentes mecanismos, de modo a manter contato estreito com eles. É muito importante se ter uma política de informação aberta e promover a participação das partes interessadas neste projeto. Se eles se envolverem, é mais provável que terão uma influência positiva em qualquer estágio do projeto.*

*Durante as primeiras fases é crucial manter contato regular com as agências governamentais, comunidades próximas, empresas privadas relacionadas com a gestão de RSU, ONGs, e qualquer outra figura interessada neste projeto, através de reuniões e ou apresentações. Isso vai permitir às partes interessadas entender melhor o que é o WTE, como funciona e como é benéfico para a comunidade e o ambiente, especialmente quando comparado aos métodos típicos de disposição de resíduos (como lixões e aterros sanitários); em uma pesquisa conduzida em Toluca no ano 2010, descobriu-se que “queima de resíduos” é visto como o mais perigoso método de disposição/tratamento de resíduos, depois dos lixões<sup>63</sup>. Portanto é necessário mudar este paradigma para se receber o apoio das partes interessadas.*

*Outro canal básico para se manter as partes interessadas informadas é a internet, o que pode ser feito através de uma página oficial da planta, onde qualquer pessoa pode descobrir informações sobre a planta, FAQs, informações gerais sobre WTE, exemplos de plantas WTE pelo mundo, etc., e até uma seção para receber sugestões e/ou comentários. A página pode também disponibilizar um serviço de informações onde, mediante o cadastro, as pessoas podem receber notícias periódicas com mais informações sobre o WTE e sobre a própria instalação.*

### **8.15 Conclusões sobre o Estudo de Caso do México**

*Não há dúvidas de que waste-to-energy é a única maneira comprovada de substituição do aterro de resíduos remanescentes após a reciclagem e a compostagem. Em particular, WTE poderia ser mais benéfico em locais como Toluca, onde se relatou que não há mais locais para aterramento<sup>64</sup>. Em países como o México, onde não há instalações WTE, se recomenda o uso de uma tecnologia comprovada, com a grelha de combustão.*

*Devido a sua proximidade à Cidade do México, uma cidade de médio porte como Toluca é um bom local para a instalação da primeira planta WTE do México. Para este estudo, a locação escolhida para a planta foi próxima a um dos dois aterros sanitários onde Toluca despeja os seus resíduos: San Antonio la Isla. E a razão é que o RSU já está sendo transportado para esta área e também, durante a visita do time para o aterro sanitário, foi mencionado que as pessoas a cargo do aterro já estão interessadas na instalação de uma tecnologia que recupere a energia dos resíduos. Entretanto, outros possíveis locais podem ser considerados, como a parte norte da cidade, pois neste local a aparência estética e a arquitetura da planta poderiam ser usadas como uma atração turística e uma motivação para as demais cidades do México.*

*Entretanto, mesmo com várias vantagens, os benefícios ambientais e a necessidade de substituição de aterros no México, a análise financeira mostrou que a taxa de despejo da instalação WTE deveria ser aumentada substancialmente para que o projeto fosse viável, o que implica que a WTE não é competitiva com o aterro no México. Isso se deve principalmente à falta de estratégias de políticas públicas e econômicas que alinhem o arcabouço legal, por exemplo, em termos dos preços de energia elétrica, com os fatores econômicos da energia elétrica gerada a partir de fontes renováveis.*

*Além disso, o único cenário realista sob o qual a planta poderia ser construída é se ela for de propriedade privada e o governo construí-la, como uma demonstração para o avanço da nação na gestão de resíduos, apesar do fato de que no curto prazo ela será mais dispendiosa que o aterramento sanitário.*

*Finalmente, com base na situação atual da gestão de resíduos em Toluca, onde a reciclagem informal e formal estão estimadas em menos que 10%, é muito importante que se planeje para o aumento da atual taxa de reciclagem através da coleta de resíduos separados na fonte, como discutido no Guia (Seção 5.14), em paralelo com a implantação da planta WTE.*

## **Apêndices para o Estudo de Caso do México**

### **Apêndice 1: Arcabouço legal**

#### **1.1 Leis e regulamentos relacionados à gestão de resíduos**

*A gestão de resíduos (GR) no México é regulamentada pelas leis estabelecidas na Constituição dos Estados Unidos Mexicanos: a Lei Geral para o Equilíbrio Ecológico e a Proteção Ambiental, os Padrões Oficiais Mexicanos e a Lei Geral para a Prevenção e Gestão Integrada de Resíduos.*

*A Constituição do México especifica (Artigo 115º) que os municípios são responsáveis pela varrição, coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos. Aqui fica claro que cada município tem a liberdade de instituir seu próprio sistema de coleta de resíduos. Entretanto, o Artigo 73 estabelece que o Congresso Federal tem o papel de emitir leis que ajudem aos Governos Federal, Estadual e Municipal a gerir efetivamente todos os seus assuntos de proteção ambiental. Além disso, com base neste Artigo, os legisladores criaram a “Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente” (Lei geral do Equilíbrio Ecológico e Proteção Ambiental) que resultou na formulação dos Padrões Oficiais Mexicanos (Normas Oficiales Mexicanas, NOM) para o controle da localização, projeto, construção e operação de diferentes aterros usados para a disposição final de RSU.*

*Especificamente, as NOM relativas à gestão de resíduos sólidos urbanos em nível Federal são:*

*NOM-083-SEMARNAT-2003: Regula a disposição final de RSU, estabelecendo que tudo relativo com estes locais de disposição final (localização, construção, operação, encerramento, monitoramento e serviços complementares) deve ser conduzido de acordo com diretrizes técnicas que garantam proteção ambiental e minimizem os efeitos da poluição relacionados à gestão inapropriada de resíduos.*

*NOM-098-SEMARNAT-2002: Esta NOM faz referência à incineração de resíduos, estabelecendo que a incineração de qualquer tipo, incluindo resíduos tóxicos, tem efeitos tóxicos que poluem o ambiente, causando danos a ecossistemas e à saúde humana, e que por isso ações preventivas devem ser adotadas para que se atinjam níveis aceitáveis de emissões. Sobre ações preventivas, também estabelece que elas devem considerar o controle integral de emissões atmosféricas, assim como a gestão das cinzas.*

*A Lei Geral para a Saúde favorece a prevenção e o controle dos efeitos tóxicos dos fatores ambientais para a saúde pública; entretanto não há um só artigo que faça referência a qualquer tipo específico de resíduos e os seus efeitos na saúde pública.*

*Em 8 de Outubro de 2003, a Lei Geral para a Prevenção e Gestão Integral de Resíduos (Ley General para la Prevencion y Manejo Integral de Residuos, LGPGIR) foi publicada no Jornal Federal Oficial (Diario Oficial de la Federación), preenchendo muitas das lacunas regulatórias relacionadas à Gestão Municipal de Resíduos Sólidos (GMRS). Esta lei considera o resíduo sob dois pontos de vista; primeiro, como um contaminante potencial, que deve ser evitado, reduzido e gerido de uma maneira ambientalmente*

*adequada, incluindo o pagamento por isto; e segundo, como material dotado de um valor, que poderia ser empregado através do reuso, reciclagem ou pela recuperação da energia nele contida – contanto que isto seja feito de uma maneira ambientalmente correta.*

*Juntamente com as leis e regulamentos federais sobre gestão de resíduos, cada estado e município tem o seu próprio arcabouço regulatório. No Estado do México eles são: Código para a biodiversidade do Estado do México (Código de Biodiversidad del Estado de México), Programa para a Prevenção e Gestão Integral de Resíduos Sólidos Urbanos e Resíduos Especiais do Estado do México (Programa para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Estado de México), Lei Orgânica Municipal do Estado do México (Ley Orgánica Municipal del Estado de México), a Lei para a Proteção do Ambiente e o Desenvolvimento Sustentável do Estado do México (Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México) e Padrões Técnicos Ambientais do Estado. Em adição a estas leis, Toluca é regulada pelo Código Municipal de 2010 (Bando Municipal).*

*O Código para a Biodiversidade do Estado do México fornece as linhas básicas gerais para o planejamento e a implantação de programas de gestão de resíduos. Para estar conforme com este Código, o Programa para a Prevenção e Gestão Integral de Resíduos foi publicado em Abril de 2009. Algumas das ações propostas neste documento são: o apoio a novos tratamentos de resíduos e tecnologias de reuso de resíduos que sejam viáveis, aceitáveis econômica e socialmente, a separação na fonte, coleta separada e tratamento diferenciado para o RSU. Além disso, este programa menciona que o SEMARNAT tem a responsabilidade para coordenar estas atividades. As autoridades municipais devem implantar todas estas ações, programas, estratégias, e o sistema de gestão de resíduos propriamente dito (Lei Orgânica Municipal, Artigos 31 e 12).*

*A Lei para a Proteção do Ambiente e o Desenvolvimento Sustentável do Estado do México foca na promoção do reuso e da reciclagem, a instalação e operação de unidades e o encorajamento dos cidadãos a participarem no planejamento, execução e avaliação das políticas ambientais.*

*Quanto aos Padrões Técnicos Ambientais Estaduais, aqueles relativos à gestão de resíduos sólidos são:*

*NTEA-006-SMA-RS-2006: estabelece os requerimentos para a produção de melhoradores de solo, ou composto, feito de resíduo orgânico.*

*NTEA-010-SMA-RS-2008: estabelece os requerimentos e especificações para a instalação, operação e manutenção da infraestrutura para a coleta, transferência, separação e tratamento do RSU e manuseio especial.*

*NTEA-011-SMA-RS-2008: estabelece os requerimentos para a gestão de resíduos resultantes das atividades de construção neste estado.*

*Finalmente, o 17º Artigo do Código Municipal de Toluca estabelece que é uma obrigação de todos os cidadãos a separação adequada de resíduos sólidos em orgânicos e inorgânicos. Além disso, o artigo 77 classifica como infração o não cumprimento desta obrigação. Entretanto, nenhum destes dois artigos está realmente implantado.*

*Como mencionado antes, a incineração de qualquer tipo de resíduo no México está sujeita à NOM-098-SEMARNAT-2002, e também à Lei Geral para a Prevenção e Gestão Integral de Resíduos (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, LGPGIR) e a Convenção de Estocolmo.*

### **1.2 Leis e regulamentos relativos à geração de energia elétrica**

*O fornecimento e a geração de energia elétrica é regulada pela Lei para o Suprimento Público de Eletricidade (Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, LSPEE). Esta lei proíbe o comércio livre de energia entre particulares. Entretanto, há uma permissão para particulares gerarem energia para seu próprio uso. Além disso, particulares podem gerar energia para abastecer a rede operada pelo CFE sob os regimes de produtor externo de energia ou de pequeno produtor, assim como para o mercado de exportação.*

*Quanto à cogeração, o Artigo 104 do Regulamento do LSPEE estabelece que o uso da cogeração em uma instalação é permitido desde que:*

- O vapor, energia térmica ou combustíveis produzidos sejam usados pela mesma instalação que os produziu*
- Os proprietários da planta de cogeração sejam coproprietários ou sócios da instalação.*

*O último ponto indica que, sob a legislação atual, a planta WTE de Toluca não pode fornecer energia térmica para um parque industrial desta cidade. Isto, é claro, é contra produtivo e pode ser modificado no futuro próximo.*

*Em Novembro de 2008, a Lei para a Melhora da Utilização das Energias Renováveis e Financiamento da Transição da Energia foi publicada. Muito embora esta lei tenha o objetivo de regulamentar o uso das fontes de energia renovável, seu primeiro artigo explicitamente exclui a geração de energia elétrica por meio da combustão ou outro tratamento térmico de resíduos. Isto claramente impediria o uso do WTE no México, e é totalmente contrário à legislação nos EUA, na EU, China, Japão e alguns outros países.*

## **Apêndice 2 do Estudo de Caso do México: Bancos de Desenvolvimento**

*Como explicado antes, o México tem bancos de desenvolvimento que podem suprir financiamento e empréstimos para diversos projetos. Em particular, o Banco Nacional de Obras e Serviços Públicos (Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, Banobras)<sup>65</sup> esta a cargo de promover e financiar projetos de infraestrutura e serviços públicos, como instalações de gestão de resíduos. Os serviços do Banobras incluem: financiamento sub-nacional, financiamento de projetos, estruturação de projetos de infraestrutura, garantias financeiras, gestão de confiança, e assistência técnica especializada.*

*Banobras é também o depositário do Fundo Nacional de Infraestrutura (FONADIN), que é um fundo fiduciário do governo mexicano destinado a apoiar o desenvolvimento da infraestrutura no México, nos setores de comunicações, transporte, água, ambiente (incluindo energia e resíduos) e turismo.*

*Alguns dos produtos que o FONADIN oferece são:*

- *Contribuições não recuperáveis: O fundo fornece contribuições não recuperáveis para agências da administração pública federal para financiar projetos de infraestrutura sujeitos a algum critério de elegibilidades. Entre estes critérios o projeto deve ter:
  - Sua própria fonte de pagamento.
  - Participação do setor privado.
  - Estudos de viabilidade que mostrem sua viabilidade técnica, impactos sociais e a justificativa para requerer o suporte do Fundo.
  - O suporte do fundo não deve exceder 50% do investimento total, a menos que haja uma justificativa.*
  
- *Empréstimos: Com o objetivo de maximizar o investimento de capital privado em projetos de infraestrutura promovidos por agências da administração*

*pública federal, e com baixa rentabilidade econômica, mas alto impacto social. Alguns dos critérios de elegibilidade são:*

- O projeto deve ter sua própria fonte de pagamento*
  - A participação do setor privado, com pelo menos 25% do investimento total do projeto*
  - Demonstração de que os fluxos de caixa projetados não são atrativos para investidores privados*
  - Estudo de viabilidade mostrando viabilidade técnica, social e financeira, incluindo o empréstimo*
  - O apoio do Fundo não deve exceder 50% do investimento total, amenos que haja uma justificativa*
- *Garantias: O fundo fornece garantias para facilitar acesso ao financiamento, por exemplo, empréstimos bancários e emissão de títulos. As garantias são de até 50% do crédito, empréstimo ou emissão.*
  - *Empréstimos subordinados: O fundo emite empréstimos subordinados ou conversíveis para entidades privadas que recebem concessões, permissões ou contratos que permitem associações público-privadas para projetos de infraestrutura.*
  - *Capital de risco: o fundo é autorizado a fazer contribuições temporárias de capital (até 49%) para ajudar projetos de infraestrutura.*
  - *Estudos: O fundo fornece estudos de apoio financeiro e serviços de consultoria para projetos de infraestrutura*

*O apoio que o FONADIN fornece não é limitado a um produto. Por exemplo, um projeto particular pode ser financiado com o seguinte esquema:*

*15% empréstimo FONADIN*

*25% Capital privado*

*20% Empréstimo subordinado FONADIN*

*40% Débito garantido pelo FONADIN/Banobras*

### *Apêndice 3 do Estudo de Caso do México: Partes Interessadas potencias*

**Tabela 37 Partes interessadas envolvidas no desenvolvimento de uma instalação WTE em Toluca, México**

<b>PARTE INTERESSADA</b>	<b>OBJETIVOS DA PARTE INTERESSADA</b>	<b>POSSÍVEL INFLUÊNCIA DA PARTE INTERESSADA</b>
<b>Ministério do Ambiente nos níveis Municipal, Estadual e Nacional</b>	<p><i>O projeto requer uma avaliação de impactos ambientais</i></p> <p><i>Supervisão e monitoramento do sistema</i></p> <p><i>Estabelecer políticas ambientais</i></p> <p><i>Procurar o atingimento de padrões internacionais de práticas ambientais</i></p>	<p><i>Cancelamento, atraso ou mudança do projeto</i></p> <p><i>Obstáculos administrativos e burocráticos</i></p>
<b>Ministério da Saúde</b>	<p><i>O resíduo é manuseado e disposto apropriadamente</i></p> <p><i>Emissões atmosféricas da unidade são regulamentadas</i></p>	<p><i>Cancelamento, atraso ou mudança do projeto</i></p>
<b>Subministério da gestão de resíduos dos municípios</b>	<p><i>Administração do sistema de gestão de resíduos</i></p> <p><i>Ter uma alternativa economicamente competitiva para a disposição de resíduos</i></p>	<p><i>Fornecer resíduos para a unidade e pagamento pela disposição dos resíduos por um período de tempo acordado</i></p> <p><i>Negociação de contratos</i></p> <p><i>Problemas na gestão do RSU</i></p> <p><i>Falta de clareza e transparência no cálculo das tarifas de disposição de resíduos</i></p> <p><i>Afetar as iniciativas de reciclagem</i></p>
<b>Secretaria do Tesouro (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, SHCP)</b>	<p><i>Determina os preços dos serviços públicos, como a eletricidade</i></p>	<p><i>Possibilidade de determinar uma tarifa preferencial de energia, quando esta provém de uma fonte renovável</i></p>
<b>Ministério de Energia (SENER)</b>	<p><i>Propor e regular incentivos para energia limpa</i></p> <p><i>Estabelecer as linhas gerais da política e assegurar a coerência da política energética nacional</i></p>	<p><i>Regular preços da energia</i></p> <p><i>Determinar políticas para apoiar energias renováveis</i></p>
<b>Comissão Reguladora de Energia (Comisión Reguladora de Energía, CRE)</b>	<p><i>Regulamentação da indústria do gás natural e da eletricidade</i></p> <p><i>Aprova o arcabouço de contratos para a provisão de energia</i></p>	<p><i>Regulamentação do arcabouço para o fornecimento de energia para a rede</i></p>
	<p><i>Fornece a eletricidade</i></p>	

<p><b>Comissão Federal de Eletricidade (Comisión Federal de Electricidad, CFE)</b></p>	<p><i>Controla a rede de transmissão de energia do país</i></p> <p><i>Emite permissões para a geração de energia privada</i></p> <p><i>Aprova os instrumentos regulatórios relativos à geração de eletricidade, e participa na determinação do suprimento de energia e tarifas de venda</i></p>	<p><i>Concede permissões para uso da rede</i></p> <p><i>Compra a energia elétrica gerada</i></p>
<p><b>Governos de Toluca e do Estado do México</b></p>	<p><i>Benefícios Sociais, Ambientais e de Saúde para a comunidade</i></p> <p><i>Encorajar incentivos de melhorias contínuas para o sistema</i></p> <p><i>Solução de longo termo para a disposição de resíduos</i></p> <p><i>Ter a vantagem de criar a primeira WTE do México e usá-la como uma atração turística</i></p>	<p><i>Demanda por recursos e competência técnica para resolver questões de curto e longo prazo</i></p> <p><i>Resolver conflitos com várias partes interessadas</i></p> <p><i>Incentivos financeiros</i></p> <p><i>Facilitar a alocação da planta</i></p>
<p><b>Catadores</b></p>	<p><i>Mudança na gestão de resíduos pode afetar ou eliminar sua fonte de renda</i></p>	<p><i>As atividades dos catadores podem afetar as propriedades e quantidade de resíduos</i></p> <p><i>Catadores podem bloquear ou protestar contra a construção da unidade</i></p>
<p><b>Grupos comunitários e cidadãos das vizinhanças/ vizinhos</b></p>	<p><i>Aumento da qualidade de vida devido às melhorias ambientais</i></p> <p><i>O projeto pode gerar oportunidades de emprego</i></p> <p><i>Vizinhança livre de ruído, poeira, transporte de carga e impacto visual</i></p> <p><i>Impacto de preços de imóveis em torno da área</i></p>	<p><i>Cancelamento, atraso ou mudança do projeto devido a protestos das comunidades</i></p>
<p><b>ONGs ambientais</b></p>	<p><i>Reduzir o impacto da gestão de resíduos no ambiente</i></p>	<p><i>Cancelamento, atraso ou mudança do projeto devido a protestos das ONGs ou apoio ao projeto devido a impactos ambientais positivos</i></p>
<p><b>Empresas de Coleta e transporte</b></p>	<p><i>Desejo de manter ou expandir seus negócios</i></p>	<p><i>Novos requerimentos para containers e veículos de separação</i></p> <p><i>Contrato de fornecimento de resíduos de geradores a quem eles servem (indústrias, restaurantes, etc)</i></p>

<b>Aterros Sanitários</b>	<i>Desejo de receber mais resíduos</i>	<i>Podem reduzir taxas de despejo devido à crescente competição</i>
	<i>Participar de concorrências para serviços municipais</i>	<i>Podem introduzir a recuperação de gás de aterro e geração de energia</i>
<b>Municípios vizinhos à área</b>	<i>Têm uma alternativa economicamente competitiva para a disposição de resíduos</i>	<i>Fornecer resíduos para a planta e pagamento pela disposição do resíduo</i>

## **Referências para o Estudo de Caso do México**

---

<sup>50</sup> *Statistics and Geography National Institute (INEGI). Disponível em <http://www.inegi.org.mx>*

<sup>51</sup> *CIA – The World Factbook. Disponível em <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook>*

<sup>52</sup> *Petróleos Mexicanos. Disponível em <http://www.pemex.com>*

<sup>53</sup> *Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud, AMCRESPAC, INE/DGMR. “Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en México”. Plan Regional de Inversiones en Medio Ambiente. Serie Estudios No. 10. (1996). Disponível em <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/fulltext/analisis/mexico/mexico.html>*

<sup>54</sup> *Banco Interamericano de Desarrollo (BID), “Informe de la Evaluación Regional Del Manejo De Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y El Caribe”, 2010, pág. 134, table 29*

<sup>55</sup> SEMARNAT, “El Medio Ambiente en México en Resumen”. 2009. Disponível em [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen\\_2009/07\\_residuos/cap7\\_2.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/resumen_2009/07_residuos/cap7_2.html)

<sup>56</sup> Banco Interamericano de Desarrollo (BID), “Informe de la Evaluación Regional Del Manejo De Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y El Caribe”, 2010, pág. 136, tabela 30

<sup>57</sup> Direção Geral de Serviços Públicos e Ambiente de Toluca, 2010.

<sup>58</sup> Plano Municipal de Desenvolvimento 2010 – 2012, Outubro 2009, Direção Geral de Serviços Públicos e Ambiente de Toluca

<sup>59</sup> Poder Edomex. “Los Centros de Acopio de Toluca recibieron 300 toneladas de productos reciclables”. February 3rd 2011. Disponível em <http://www.poderedomex.com/notas.asp?id=64425>

<sup>60</sup> La Alianza Global Jus Semper, Gráficas de brecha Salarial de México, 2010, <http://www.jussemper.org/Inicio/Recursos/Recursos%20Laborales/GBS/Resources/GrafsbrechasMex2008.pdf>

<sup>61</sup> Secretaria de Energia, Energías Renovables Para el Desarrollo Sustentable en México, [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/fe/e\\_renovables\\_mexico.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/fe/e_renovables_mexico.pdf), 2003

<sup>62</sup> Bloomberg

<sup>63</sup> Velasco, M. *Generation and Disposition of MSW in Mexico and Potential for Improving Waste Management in Toluca Municipality*, Earth and Environmental Engineering Department, Columbia University, January 2011

<sup>64</sup> Maass, S. “Los Sistemas Municipales de Información Ambiental. Requerimientos y Limitaciones para su puesta en marcha”. *CienciaErgoSum*. Vol. 11. No. 001. Universidad Autónoma del Estado de México. México. Pp. 85-94. (2004)

<sup>65</sup> [www.banobras.gob.mx](http://www.banobras.gob.mx)

## **9 Estudo de Caso 3: Buenos Aires, Argentina**

### **9.1 Fatos sobre o país**

*A Argentina tem uma população de 40 milhões de habitantes e um PIB per capita de US\$ 14.700. É o segundo maior país da América da América do Sul (2,8 milhões de quilômetros quadrados), sua população é 92% urbana, e cresceu 10,6% na última década.*

*O país é rico em recursos naturais, e já foi um dos países mais ricos do mundo, mas sofreu muitas crises financeiras severas nas últimas décadas. Embora a taxa de crescimento do PIB em 2010 fosse 7,5%, a taxa de inflação no mesmo ano foi de 22%, e 30% de sua população está abaixo da linha de pobreza<sup>66</sup>.*

*Uma parte importante da economia Argentina é baseada em commodities e exportações (soja, petróleo, gás natural, veículos, milho, trigo). As exportações são principalmente para o Brasil, China, Chile e EUA.*

### **9.2 Gestão de resíduos na Argentina**

Na Argentina, cada município é responsável pela gestão do seu próprio resíduo. Isto levou a uma ampla variação nos serviços fornecidos em diferentes partes do país e, em muitas áreas, o RSU é disposto em aterros não clandestinos. Um estudo de 2005 da Secretaria de Ambiente e Desenvolvimento Sustentável relatou (Tabela 38) que 12,3 milhões de toneladas de RSU foram geradas a nível nacional; há ampla variação na geração per capita, indo de 0,16 toneladas na Província de Misiones, até 0,55 toneladas per capita na Cidade de Buenos Aires. O mesmo estudo estimou que o RSU contém cerca de 50% de alimentos mais resíduos de poda, e cerca de 15% de papel e papelão<sup>67</sup>.

**Tabela 38 RSU gerado na Argentina em 2004<sup>67</sup>**

<b>Província</b>	<b>População</b>	<b>Geração de RSU (kt/ano)</b>	<b>Geração per capita de RSU (t/ano)</b>
<b>Buenos Aires</b>	14.312.138	4.268	0,3
<b>Catamarca</b>	359.963	90	0,25
<b>City of Buenos Aires</b>	2.721.750	1.493	0,55
<b>Cordoba</b>	3.177.382	1.204	0,38
<b>Corrientes</b>	979.223	306	0,32
<b>Chaco</b>	1.053.335	232	0,22
<b>Chubut</b>	433.739	148	0,35
<b>Entre Rios</b>	1.209.218	261	0,22
<b>Formosa</b>	518	122	0,24
<b>Jujuy</b>	650.123	166	0,26
<b>La Pampa</b>	314.131	111	0,36
<b>La Rioja</b>	315.744	88	0,28
<b>Mendoza</b>	1.637.756	678	0,42
<b>Misiones</b>	1.033.676	163	0,16
<b>Neuquen</b>	508.309	169	0,34
<b>Rio Negro</b>	571.013	178	0,32
<b>Salta</b>	1.157.551	316	0,28
<b>San Juan</b>	655.152	226	0,35
<b>San Luis</b>	399.425	161	0,41
<b>Santa Cruz</b>	211.336	63	0,3
<b>Santa Fe</b>	3.079.223	1.235	0,41
<b>Santiago del Estero</b>	852.096	255	0,3
<b>Tierra del Fuego</b>	113.363	26	0,23
<b>Tucuman</b>	1.405.521	369	0,27
<b>TOTAL</b>	37.669.167	12.328	0,33215

*Há algumas plantas industriais nas áreas urbanas do país que reciclam papel e papelão, metais e alguns tipos de plásticos e vidro. A maior parte da reciclagem é informal, feita pelos chamados “cartoneros”, que coletam materiais recicláveis das ruas, ou por “cirujas”, que coletam recicláveis do RSU disposto em aterros. Reciclagem formal de materiais separados na fonte é praticada em apenas alguns municípios.*

*A compostagem é praticada formalmente principalmente em pequenas cidades, embora as áreas metropolitanas do país – Gran Buenos Aires, Gran Córdoba e Gran Rosario – também possuam algumas operações de compostagem a céu aberto.*

*Os aterros variam através do país, desde lixões a céu aberto aos mais avançados aterros sanitários. A maior parte dos aterros existentes têm ventilação passiva, que evita a pressurização e conseqüentemente as fissuras na superfície, acompanhadas dos vazamentos de chorume. Por outro lado, a ventilação passiva libera gases de efeito estufa na atmosfera mais rapidamente. Portanto, há alguns anos, alguns aterros incorporaram a ventilação ativa com a subsequente queima do biogás, o que os permite se submeterem à aquisição de créditos de carbono de acordo com o protocolo de Kyoto, gerando, desta forma, receitas para a instalação de gestão de resíduos.*

*A opção mais avançada, de usar o gás de aterro (landfill gas – LFG) para produzir eletricidade ou calor não foi implantada por muitos aterros devido à relativa baixa eficiência térmica do LFG. Entretanto, algumas plantas piloto foram construídas, por exemplo, um em Santiago del Valle de Catamarca, onde o LFG coletado é queimado para gerar vapor para a esterilização de resíduos hospitalares em um autoclave; há também uma planta de geração de energia elétrica em construção no aterro Acceso Norte III que atende a Buenos Aires.*

*Na outra extremidade do espectro dos aterros estão os lixões a céu aberto e descontrolados, geralmente em áreas suscetíveis a enchentes ou corpos d’água fechados. Além disso, há questões relacionadas à saturação e ao fim de vida dos lixões a céu aberto e ao custo de adaptações de tais aterros ou de sua conversão para aterros sanitários.*

### **9.3 Razões para seleção da Região Metropolitana de Buenos Aires para o Estudo de Caso da Argentina**

*Os seguintes locais foram considerados neste estudo para a primeira planta WTE da Argentina:*

- *Cidade de Buenos Aires: A maior cidade da Argentina em termos de população e geração de resíduos*
- *Um local dentro da Região Metropolitana de Buenos Aires (fora da cidade de Buenos Aires): esta área recebe o resíduo gerado na cidade de Buenos Aires e nos municípios vizinhos.*
- *Cidade de Córdoba: É uma cidade de médio porte, o que a torna uma boa candidata para a instalação de uma planta WTE.*

*A Região Metropolitana de Buenos Aires foi considerada a melhor das três alternativas para este estudo de caso pois:*

- *A “Lei 747 de Resíduo Zero” da Cidade de Buenos Aires (ver Apêndice I) no momento proíbe a incineração, com ou sem geração de energia, dentro da cidade e, portanto, não é possível a construção de uma planta WTE nesta cidade.*
- *Há o precedente de um esforço anterior para a construção de uma unidade WTE em Córdoba que fracassou, devido a tecnologias não comprovadas e a inadequações do processo de licitação.*

#### **9.4 Visão Geral da Região Metropolitana de Buenos Aires**

*A Região Metropolitana de Buenos Aires (Gran Buenos Aires) compreende a cidade de Buenos Aires, consistindo de 48 vizinhanças que ocupam cerca de 200 quilômetros quadrados (Figura 52), e 33 municípios adjacentes (Figura 53).*



Figura 52 A Cidade de Buenos Aires e seus 48 bairros<sup>1</sup> (EEC)

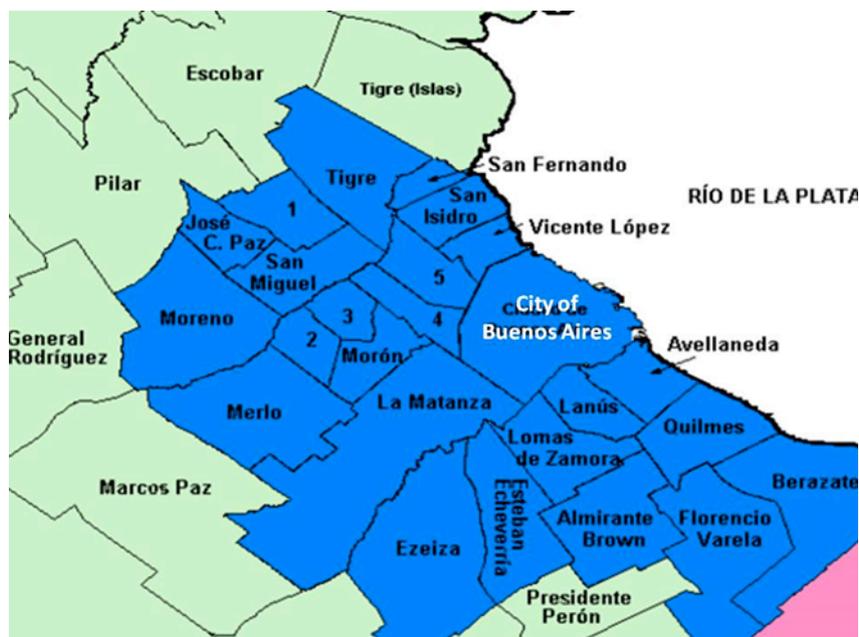


Figura 53 A Cidade de Buenos Aires e Gran Buenos Aires (em azul)<sup>1</sup> (EEC)

A população da cidade de Buenos Aires é de 2,9 milhões de habitantes, mais um contingente estimado de 1,6 milhões de pessoas que transitam na cidade<sup>70</sup>. Enquanto que o resto da Gran Buenos Aires tem uma população de 9,9 milhões de habitantes. Durante a última década, Gran Buenos Aires teve o maior crescimento populacional da Argentina (Tabela 39).

**Tabela 39 Crescimento populacional da cidade de Buenos Aires, Gran Buenos Aires e Argentina<sup>71</sup>**

	<b>População 2001</b>	<b>População 2010</b>	<b>Porcentagem da população argentina em 2010</b>	<b>Crescimento 2001- 2010</b>
<i>Cidade de Buenos Aires</i>	2.776.138	2.891.082	7%	4%
<i>Resto da Gran Buenos Aires</i>	8.684.437	9.910.282	25%	14%
<i>Argentina</i>	36.260.130	40.091.359	100%	11%

### **9.5 Gestão de resíduos na Região Metropolitana de Buenos Aires**

Em 1978 uma empresa pública foi criada, chamada CEAMSE (Coordinación Ecológica del Área Metropolitana Sociedad del Estado), pela província de Buenos Aires e pela Cidade de Buenos Aires com o objetivo de fazer a gestão de resíduos sólidos gerados na Região Metropolitana (como definido acima). É a maior empresa de gestão de resíduos da Argentina. Atualmente, a CEAMSE coleta e dispõe o resíduo da cidade de Buenos Aires e mais 33 municípios da Região Metropolitana.

#### **9.5.1 Gestão de Resíduos Sólidos na cidade de Buenos Aires**

##### **9.5.1.1 “Geração” de RSU na cidade de Buenos Aires**

Deve ser notado que as estatísticas mostradas abaixo se referem a resíduos sólidos recebidos para a disposição final pela CEAMSE e não incluem a reciclagem informal e outros resíduos que não são coletados pela CEAMSE. Em 2010, a CEAMSE recebeu 2.108.000 toneladas de RSU da cidade de Buenos Aires. Deste total 690.000 toneladas eram resíduos de construção e demolição, de jardinagem/podas e **bulky**. A taxa de geração não muda muito com a estação, com a exceção do Natal e Páscoa, quando há um leve aumento<sup>72</sup>.

##### **9.5.1.2 Caracterização do RSU de Buenos Aires**

A taxa de geração de RSU de Buenos Aires varia consideravelmente com o nível econômico da comunidade<sup>73</sup>. A Figura 54 mostra os resultados de um estudo conduzido pela Prof.<sup>a</sup> Marcella Delucca do Instituto de Ingeniería da Universidade de Buenos Aires.

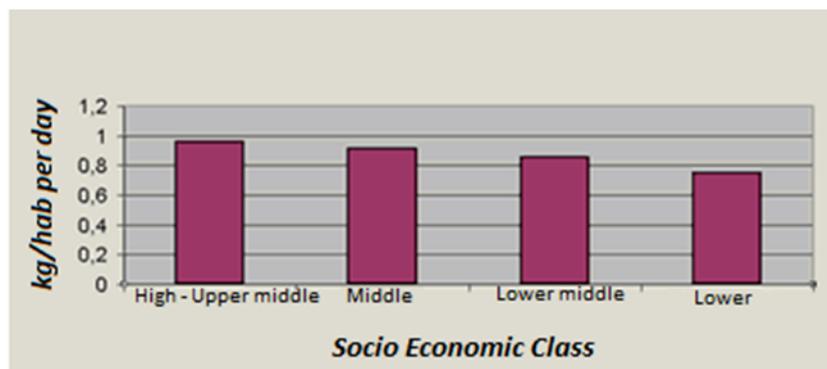


Figura 54 Taxas de geração de RSU na Cidade de Buenos Aires<sup>70</sup> (EEC)

O time do projeto se reuniu com a Prof.<sup>a</sup> Delucca, que conduziu extensivos estudos de caracterização do RSU de Buenos Aires por vários anos.

A Tabela 40 mostra a composição do RSU aterrado em 2008, os poderes caloríficos de seus componentes e sua respectiva contribuição para o poder calorífico total do RSU (10,3 MJ/kg).

Tabela 40 Composição do RSU de Buenos Aires (2008<sup>70</sup>) e poder calorífico

Material	Porcentagem no RSU	Poder calorífico do material (MJ/kg)	Contribuição para o poder calorífico do RSU, MJ/kg
Resíduo Orgânico	43,2	4,6	2,0
Papel e papelão	14,6	15,6	2,3
Plásticos	10,5	32,4	3,4
Resíduos de jardim	7,7	6	0,5
Fraldas descartáveis	4,3	10	0,4
Têxteis	4,3	18,4	0,7
Madeira	1,6	15,4	0,2
Couro, borracha e rolha	1,0	22	0,2
Vidro	5,5	0	0
Metais ferrosos	0,9	0	0
Metais não ferrosos	0,3	0	0
Construção e demolição	1,8	6	0,1
Resíduo perigoso	0,4	10	0,0
Resíduo médico	0,4	10	0,0
Finos de miscelâneas <12,7 mm	3,2	10	0,3
Outros	0,6	0	0,0
<b>Total</b>	<b>100</b>		<b>10,3</b>

O mesmo estudo mostrou que a densidade do RSU “bruto”, como coletado, em 2008 era de cerca de 280 kg/m<sup>3</sup>. A fração de materiais potencialmente recicláveis no RSU

coletado foi estimada em 15,7%, correspondendo a 274.000 toneladas<sup>70</sup>. Como dito antes, este número não inclui os materiais recicláveis coletados informalmente.

#### 9.5.1.3 Reciclagem

A Reciclagem em Buenos Aires é, no momento, feita por diferentes cooperativas de “cartoneros”. Não há dados oficiais, mas a associação de gestão de resíduos da Argentina (ARS) estima que aproximadamente 70.000 t por ano são recuperadas por estas cooperativas. A reciclagem informal aumentou em 2002 após uma crise econômica que resultou em desemprego e um aumento do preço das commodities como metais e papel. A combinação destes dois fatores resultou em grande aumento no número de “cartoneros” em Buenos Aires. Não há estatísticas oficiais quanto ao número de cartoneros atualmente operando na cidade, mas estima-se em 5.000 a 9.000 pessoas, operando em pequenos grupos ou individualmente.

Antes de 2002, a lei proibia a atividade de catação informal, mas ela foi legalizada em Janeiro de 2003 (Lei 992). O governo pretendia integrar os cartoneros ao sistema formal, mas uma preocupação principal foi a de que os cartoneros operassem por conta própria e não se interessassem por empregos formais. Além disso, se o trabalho dos cartoneros for formalizado pelo pagamento dos benefícios e taxas correspondentes, com o fornecimento de uniformes e benefícios de saúde e segurança, as receitas dos recicláveis coletados não serão suficientes para cobrir os custos deste programa<sup>74</sup>. Este item é discutido na Seção sobre reciclagem deste Guia.

O estudo do Prof. DeLucca<sup>70</sup> estimou que 274.000 t do RSU coletado pela cidade são potencialmente recicláveis; portanto, a taxa de reciclagem de Buenos Aires poderia ser incrementada sensivelmente. Em 2007 houve algum esforço para separar o RSU em um fluxo “úmido” para aterramento e uma fluxo “seco” a ser direcionado a centros de reciclagem onde os recicláveis são classificados. Há mais de 9.000 containers “secos” distribuídos pela cidade para este propósito<sup>75</sup>.

Ao se planejar para o aumento da taxa de reciclagem em Buenos Aires, é necessário começar com informação pública e sistemas de coleta apropriados. Em uma pesquisa de 2010 com 300 profissionais, conduzida pelo Earth Engineering Center em Buenos Aires, 82% responderam negativamente à questão “você está interessado em reciclagem”; quando perguntado “porque não”, 59% responderam que eles acreditavam que durante a coleta os recicláveis são misturados com RSU e acabam em aterros de qualquer forma (Apêndice 2 do Estudo de Caso da Argentina).

#### 9.5.1.4 Coleta

A coleta de resíduos na cidade é feita por cinco companhias: Cliba, Urbasur, Aesa, Níttida e Integra. Entretanto, uma concorrência está sendo conduzida para disponibilizar um novo serviço de coleta. A cidade será dividida em quatro zonas para o RSU “úmido”, ao invés das seis zonas atuais (Figura 55); além disso, a coleta de RSU seco será dividida em quinze zonas pela cidade<sup>76</sup>. A coleta do fluxo seco é de provavelmente 60.000 t de reciclagem formal discutida anteriormente.

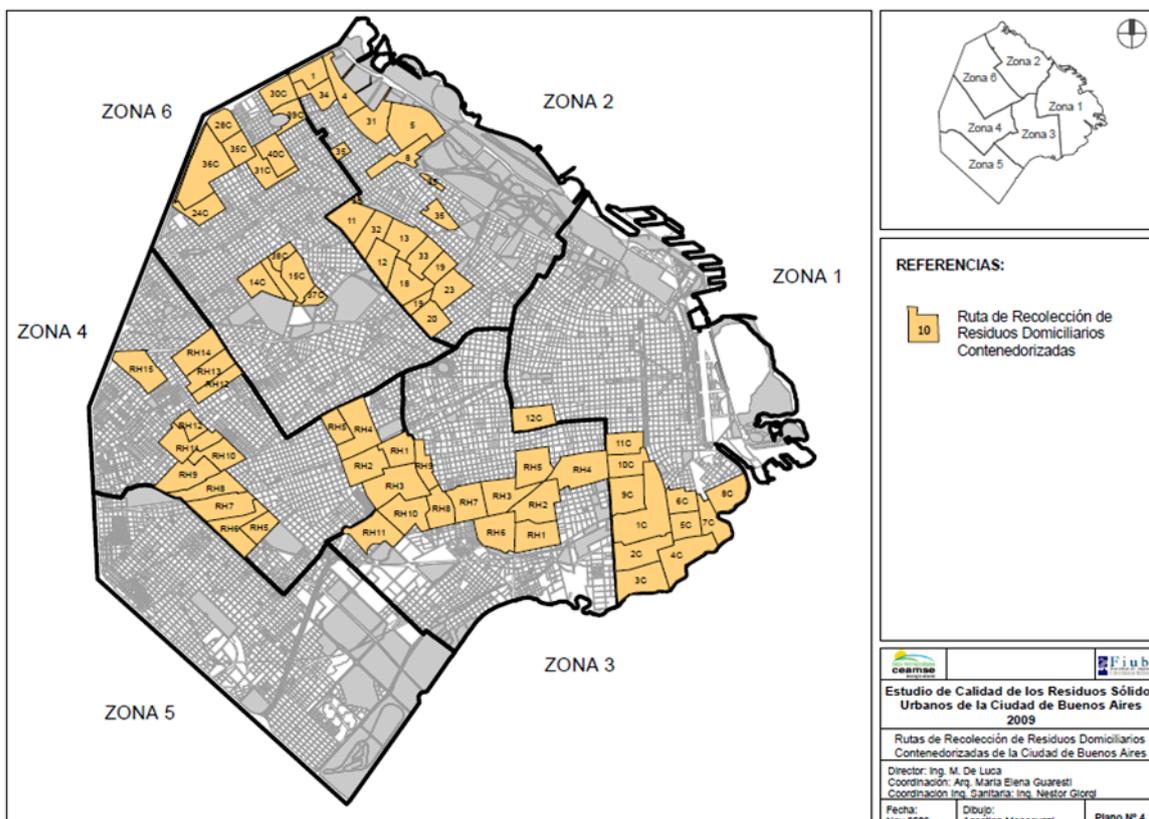


Figura 55 Rotas de coleta de RSU na Cidade de Buenos Aires<sup>75</sup> (EEC)

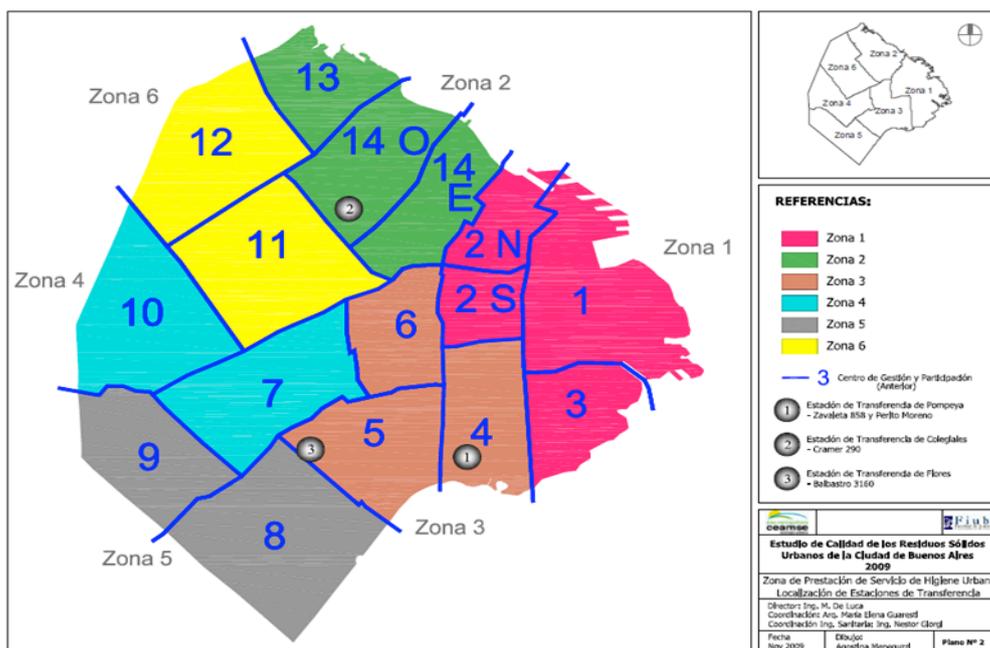
#### 9.5.1.5 Estações transferência de resíduos (ETR)

Há três estações de transferência de resíduos (ETR) na cidade, localizadas nas áreas de Pompeya, Flores e Colegiales (Figura 56). Cada ETR manuseia cerca de 65.000 t de RSU por mês e tem capacidade adicional para o futuro próximo. Como mostrado nas Figura 56 e 57, a ETR mais distante do aterro está localizada em Pompeya, na parte leste da cidade e a 22,7 Km do aterro Acceso Norte III (distância em linha reta). A ETR Flores está diretamente a oeste de Pompeya e a 18,5 Km do Norte III.

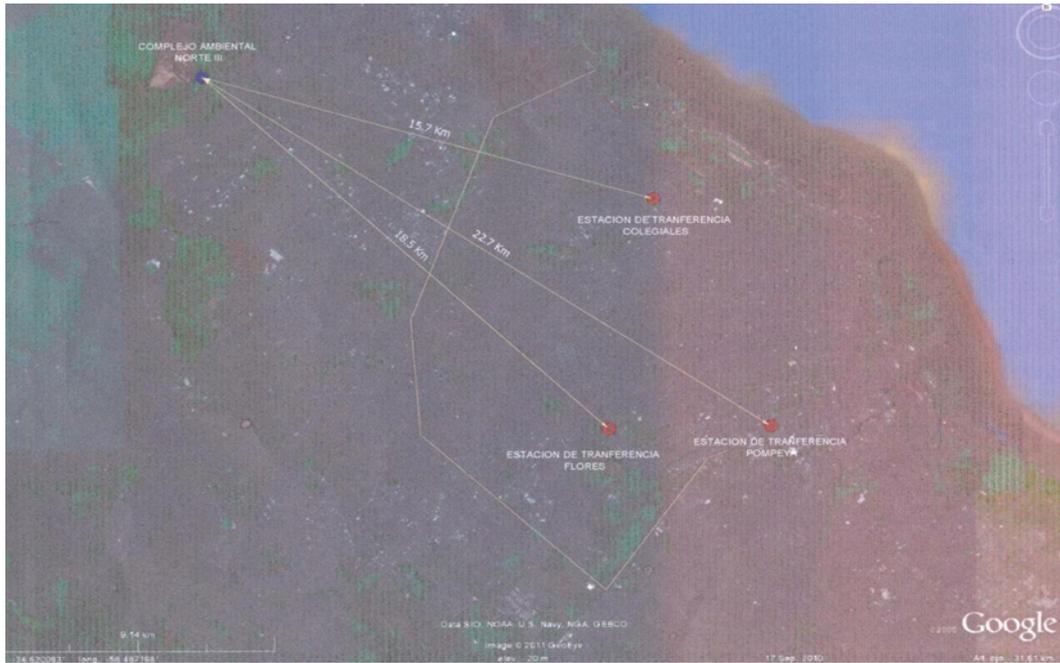
A ETR mais próxima do aterro, na parte norte da cidade e a 15,7 Km do aterro de Acceso Norte é Colegiales. Está localizada no meio de uma área afluyente da cidade e embora tenha sido construída em 1979, é muito bem projetada e operada. Dentro dos

seus limites há um parque público com campos de lazer. Não há lançamento de RSU no chão, e portanto não há odores perceptíveis, como no caso de algumas estações de transferência na cidade de Nova Iorque. Os caminhões de coleta sobem uma rampa e despejam a carga em um coletor horizontal. Um mecanismo de pistão então empurra e compacta o RSU em um container dos grandes caminhões, que o transporta até o aterro. A ETR de Colegiales seria uma boa fonte de alimentação para a WTE hipotética de Buenos Aires.

Há uma quarta estação de transferência denominada Varela que é apenas para resíduo de demolição, podas e jardinagem, e peças grandes.

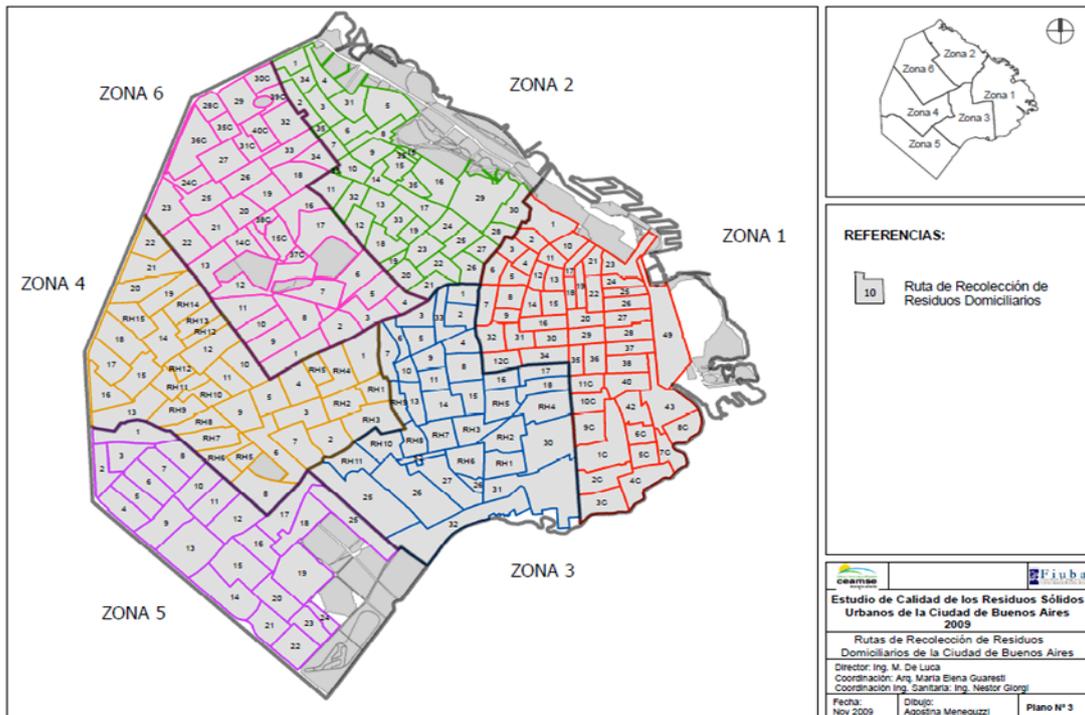


**Figura 56** Divisão atual da Cidade em seis zonas e locação das três estações de transferência (EEC)



**Figura 57** Mapa mostrando o aterro Acesso Norte III e as três estações de transferência que servem a Cidade de Buenos Aires (EEC)

Há 226 rotas ao longo da cidade (Figura 58) e aproximadamente mil viagens de coleta são feitas diariamente entre as ruas da cidade e as estações de transferência<sup>77</sup>.



**Figura 58** : Rotas de coleta na Cidade de Buenos Aires (EEC)

### **9.5.2 Gestão de Resíduos Sólidos na Grande Buenos Aires**

Como notado antes, a Grande Buenos Aires consiste da Cidade de Buenos Aires e das 33 cidades que mandam seus resíduos sólidos para a CEAMSE.

#### **9.5.2.1 Compostagem**

Na área do aterro Acceso Norte III há uma unidade de compostagem a céu aberto que processa resíduos de poda e jardinagem aerobicamente. A capacidade estimada deste processo é de 2.000 t de resíduos verdes por mês. Em 2010, 14.400<sup>68</sup> t de resíduos verdes foram processadas e 4.320 t de composto foram produzidas. Uma parte deste produto foi distribuída de graça para municípios próximos ao aterro e foi usada como condicionador de solo em espaços públicos. O restante foi usado para manutenção do aterro. Deve-se notar que este composto é certificado pela SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria) como um condicionador de solo. Esta é a única planta de compostagem na Área Metropolitana.

#### **9.5.2.2 Aterramento**

A CEAMSE opera três aterros na região Metropolitana de Buenos Aires: o aterro Ensenada, que recebe resíduos dos municípios de La Plata, Ensenada, Beriso e Brandesn; o aterro Gonzalez Catán, que recebe resíduos do município de La Matanza; e o aterro Norte III que atende a Buenos Aires e o restante do municípios da Grande Buenos Aires (Almirante Brown, Avellaneda, Berazategui, Escobar, Esteban Echeverría, Ezeiza, Fcio. Varela, Gral. Rodríguez, Gral. San Martín, Hurlingham, Ituzaingó, José C. Paz, Lanús, Lomas de Zamora, Luján, Malvinas Argentinas, Merlo, Moreno, Morón, Pilar, Presidente Perón, Quilmes, San Fernando, San Isidro, San Miguel, Tigre, Tres de Febrero, and Vicente López).

Norte III é, de longe, o maior aterro de Buenos Aires e espera-se que atinja capacidade plena ao fim de 2012. Este aterro sanitário é de propriedade e é operado pela CEAMSE e é equipado com instalações de tratamento de chorume e com captura de gás de aterro, o qual é atualmente queimado.

Atualmente, o aterro Norte III recebe cerca de 90% do RSU gerado na área metropolitana, excluindo a cidade de Buenos Aires. Esta quantidade representa uma média de 9.000 toneladas por dia. Além disso, cerca de 6.000 t/ dia são transportadas por caminhão das três Estações de Transferência de Resíduos (ETR) que servem a cidade de Buenos Aires. Acceso Norte III consiste de três células que foram preenchidas e uma quarta que deve se esgotar até o fim de 2012. As células fechadas são bem mantidas com grama, arbustos e pequenas árvores crescendo sobre elas. Detalhes sobre estes módulos são apresentados na Tabela 41. A altura máxima do aterro no

encerramento foi estimada em aproximadamente 35 metros. Como pode ser visto na última coluna desta Tabela, o aterro de Acceso Norte III teve capacidade similar (16-17 toneladas de RSU por metro quadrado) ao que foi observado pelo EEC de que um metro quadrado de terra é convertido para aterro para cada 10-20 toneladas de RSU, dependendo da topografia, uso de cobertura diária e altura final do aterro. A Tabela 41 mostra também que a quantidade em peso de aterro no Norte III mais que dobrou na primeira década deste século.

**Tabela 41 Características dos módulos do aterro Acceso Norte III<sup>72</sup>**

<b>Módulo</b>	<b>Data de abertura</b>	<b>Data de fechamento</b>	<b>Área (hectare)</b>	<b>RSU despejado (t)</b>	<b>Toneladas (RSU/ dia)</b>	<b>Toneladas por metro quadrado</b>
<b>Norte III</b>	Outubro 1994	1º Dezembro 2001	64	10.501.269	4.062	16
<b>Norte IIIa</b>	1º Dezembro 2001	2 Novembro 2006	64	10.944.878	5.900	17
<b>Norte IIIb</b>	1º Dezembro 2005	30 Junho 2010	84	14.054.675	8.406	17
<b>Norte IIIc</b>	5 Abril 2008	30 Março 2013	90	11.294.228	10.169	21

### **9.6 Taxa de despejo**

No momento a cidade de Buenos Aires paga à CEAMSE uma taxa de despejo de 23 pesos argentinos (cerca de US\$ 5) por tonelada de resíduos aterrado. Entretanto, a CEAMSE estima que o custo real esteja por volta de US\$ 15/ t.

### **9.7 Capacidade da planta WTE e potencial de geração de energia propostos**

Do ponto de vista do menor custo por tonelada de RSU e maior produção de energia, a primeira WTE em Buenos Aires deveria ser uma planta de 3 linhas, com capacidade de 3.000 toneladas por dia. Com a disponibilidade de planta projetada de mais de 90% (ou seja, 8.000 horas anuais de operação), esta WTE vai processar um milhão de toneladas por ano, o que é equivalente a aproximadamente a 20% dos resíduos aterrados no Acceso Norte III.

Entretanto, levando em conta que a taxa de despejo requerida para a viabilidade econômica de tal planta será consideravelmente mais alta do que os custos para o aterramento em Buenos Aires atualmente, seria prudente começar com uma linha de capacidade de um milhão de toneladas/ dia, com previsão para a adição de duas linhas paralelas adicionais no futuro próximo. Entretanto, como uma planta desta capacidade é discutida no Estudo de Caso do Chile (Região de Valparaíso), para fins de ilustração o Estudo de Caso da Argentina exemplifica a planta de 3 linhas de 3.000 t/dia.

*A estimativa do potencial de geração de energia elétrica da planta WTE requer o poder calorífico do resíduo que será processado na instalação. O poder calorífico do resíduo da área metropolitana de Gran Buenos Aires não está disponível, mas como o resíduo gerado na Cidade de Buenos Aires disposto no Acceso Norte III representa 40% do resíduo disposto neste aterro, o poder calorífico do RSU da cidade de Buenos Aires (10,3 MJ/ kg; Tabela 40) foi usado para estimar o potencial de geração de energia.*

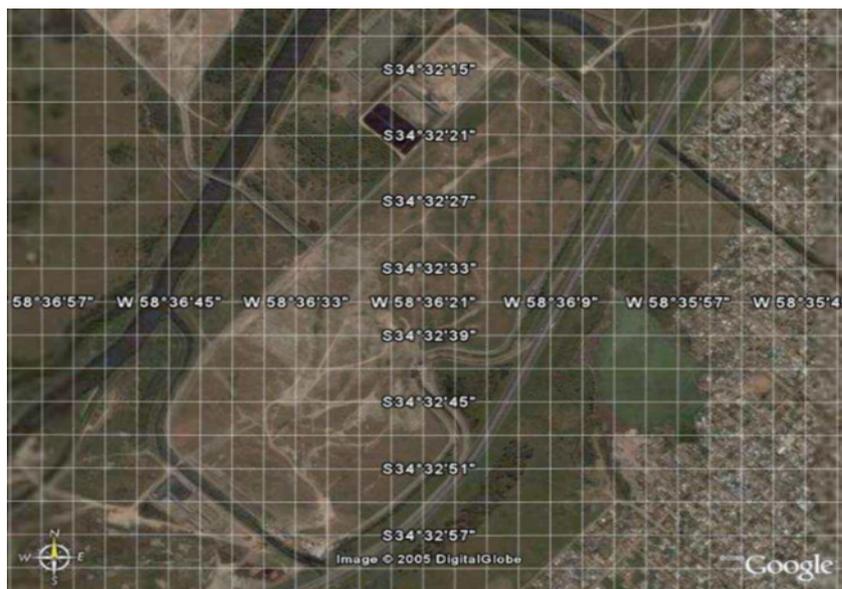
*Repetindo os cálculos explicados na Seção 5.8 do Guia (Recuperação de Energia), a geração líquida de eletricidade é estimada conservadoramente em 0,6 MWh por tonelada de RSU, ou seja, 604.800 MWh por ano.*

### **9.8 Seleção de local para a planta WTE**

*O estudo do EEC recomendou que a primeira planta WTE da Argentina fosse localizada no aterro Norte III da CEAMSE, pelas seguintes razões:*

- O futuro da disposição de resíduos sólidos na Área Metropolitana de Buenos Aires é incerto. O aterro Norte III tem expectativa de atingir capacidade plena em Abril 2013. O aterro Enseada será fechado em breve e o município de La Matanza, onde o aterro Gonzalez Catan está localizado, não permite importação de resíduos de outros municípios;*
- Não há terra apropriada para um novo aterro dentro da Área Metropolitana de Buenos Aires.*
- Várias tentativas durante os últimos dez anos para alocar um aterro sanitário fora da Área metropolitana para recebimento de resíduo falharam devido ao efeito “não aqui no meu quintal”.*
- A existência de uma companhia pública experiente (CEAMSE) com profissionais habilidosos e boa gestão.*
- O suporte potencial do projeto pela cidade de Buenos Aires e pela Província de Buenos Aires (os dois mais importantes distritos da Argentina).*
- A necessidade de uso de uma tecnologia alternativa ao aterro sanitário.*
- O amplo suprimento de RSU da Área Metropolitana e da cidade de Buenos Aires.*
- Conexões relativamente próximas deste local com a rede elétrica, a sete quilômetros de distância.*

*A área aproximada de terra para a planta proposta é de 11,5 há (ver seção 5.5 do Guia). A Figura 59 mostra a locação geográfica do aterro Acceso Norte III.*



**Figura 59** Coordenadas do aterro Acesso Norte III (EEC)

### 9.9 Custos projetados da planta WTE

De forma similar aos outros estudos de caso, esta seção apresenta estimativas de custos de capital e de operação baseados em instalações recentemente construídas nos EUA e Europa e, portanto, não levam em consideração as condições locais, e estão sujeitos a muitos fatores variáveis como o preço dos metais e do cimento. Desta forma, considera-se que estão dentro de uma faixa de exatidão de mais ou menos 20%.

#### Custo de capital

Uma planta de três linhas e 1.000 t/ dia terá uma capacidade anual de 990.000 toneladas de RSU (330 dias por ano em operação). O custo de capital de tal planta é estimado como sendo da ordem de US\$ 600 milhões (US\$ 595/t de capacidade anual).

O detalhamento estimado do custo de capital dos vários componentes da planta WTE é mostrado na tabela 42 abaixo.

**Tabela 42** Estimativas de Custo de capital

<b>Número de linhas</b>	<b>3</b>
<b>Preparação do local, acesso, paisagismo (milhões de US\$)</b>	<b>37</b>
<b>Construção civil, chaminé (milhões de US\$)</b>	<b>119</b>
<b>Grelha, caldeira, fornecimento de ar, manuseio de cinzas, sistemas elétricos e mecânicos (milhões de US\$)</b>	<b>254</b>
<b>Turbo gerador (milhões de US\$)</b>	<b>62</b>
<b>Sistema de controle de emissões atmosféricas (milhões de US\$)</b>	<b>62</b>
<b>Contingência (milhões de US\$)</b>	<b>62</b>
<b>Terreno</b>	<b>4</b>

<b>Custo de capital estimado (milhões de US\$)</b>	600
<b>Custo de capital estimado (US\$ / tonelada de capacidade anual)</b>	595

### Custos operacionais

A planta WTE de três linhas vai requerer um quadro de pessoal e 60 pessoas. Assumindo que as cinzas de fundo e em suspensão serão misturadas e dispostas no aterro de Acceso Norte III, os custos operacionais estão mostrados na Tabela 43 abaixo.

**Tabela 43 Custos de operação**

<b>Número de linhas</b>	<b>3</b>
<b>Disposição de cinzas (milhões de US\$; US\$ 3,75/ t)</b>	3,78
<b>Produtos químicos (milhões de US\$; US\$ 4/ t)</b>	4,03
<b>Limpeza do gás (milhões de US\$; US\$ 8/ t)</b>	8,06
<b>Manutenção (milhões de US\$; US\$ 21,1/ t)</b>	11,19
<b>Miscelâneas (milhões de US\$; US\$ 2/ t)</b>	2,02
<b>Pessoal (milhões de US\$)</b>	1,21
<b>Subtotal (milhões de US\$)</b>	30,29
<b>Contingências (milhões de US\$; 5%)</b>	1,51
<b>Subtotal</b>	31,81
<b>Seguro (milhões de US\$; 0,6%)</b>	0,19
<b>Custo de operação estimado (milhões de US\$)</b>	32,0
<b>Custo de operação estimado (US\$ / tonelada de capacidade anual)</b>	31,8

## **9.10 Receitas Projetadas da Plana WTE**

### Receitas com eletricidade

Há um interesse crescente na Argentina por centrais termelétricas WTE, particularmente devido ao incentivo à energia renovável. Uma lei nacional requer que até 2016, 8% da energia gerada no país seja provida por fontes de energia renováveis, excluindo hidroeletricidade. Além disso, o programa "GENREN" lançado em 2009 pela companhia ENARSA (Energia Argentina S.A.) estabeleceu critérios em uma concorrência para fornecimento de até 1.000 MW de energia elétrica de fontes renováveis. Deste montante, até 160 MW podem ser fornecidos a partir da combustão de RSU em plantas WTE; a WTE sugerida para Buenos Aires geraria 75 MW. Um incentivo financeiro fornecido neste programa é o preço de US\$ 120 por MWh por energia elétrica renovável, contra cerca de US\$ 80/MWh para energia de origem fóssil. Como a energia do RSU de Buenos Aires é estimada como sendo acima de 55% biogênica, o preço da eletricidade produzida pela WTE é calculada em US\$ 102/ MWh, assumindo-se uma taxa de 55/45 de energia biogênica em relação à fóssil no RSU.

Portanto, com o preço projetado para a energia parcialmente renovável de US\$ 102/ MWh, a receita com a eletricidade será de  $0,6 \times 102 = \text{US\$ } 61/ \text{ t de RSU}$ .

### Taxa de despejo

Como mencionado antes, a cidade de Buenos Aires paga à CEAMSE uma taxa de despejo de cerca de US\$ 5 por tonelada de resíduo aterrado, enquanto o custo real é estimado em cerca de US\$ 15. Está claro que mesmo esta taxa de despejo é muito menor do que aquela requerida para sustentar uma nova planta WTE para Buenos Aires. Para o momento, a taxa de despejo será assumida como sendo de US\$ 20, mas a seção de análise financeira calcula a taxa de despejo requerida para vários níveis de taxa de retorno para os investidores.

#### Receitas com créditos de carbono

Para cálculo das receitas com créditos de carbono um fator de emissão deve ser usado. O fator de emissão na Argentina é de 0,481 t de CO<sub>2</sub> por MWh (Ministério do Planejamento e Investimento Público); é calculado considerando que a eletricidade gerada pela planta WTE reduzirá a atual combinação de geração a petróleo, carvão e hidroelétrica na área de Buenos Aires. Este fator é então multiplicado pela produção de eletricidade da planta para a rede para se obter os créditos de emissões de carbono correspondentes (toneladas de CO<sub>2</sub>). Como mencionado na seção 5.18 deste guia, o valor dos créditos por tonelada de emissões de carbono evitada (CRE) é estimado em US\$ 16. Portanto, o valor dos créditos de carbono de 0,6 MWh por tonelada de RSU a serem gerados pela WTE são  $0,481 \times 16 = \text{US\$ } 7,7 / \text{ t de RSU}$ .

Além de deslocar energia fóssil, como notado na Seção 5.18 do Guia, desviar RSU de aterros também reduz a quantidade de metano emitido pelos aterros, e um volume de metano emitido para a atmosfera tem o efeito estufa de 21 moléculas de dióxido de carbono. Devido a estes dois fatores, uma tonelada de RSU queimada ao invés de aterrada resulta no decréscimo das emissões de carbono de até 1 tonelada de dióxido de carbono, dependendo da eficiência da captura do LFG na alternativa do aterro. Neste caso, os créditos de carbono podem ser tão altos quanto 1 t CO<sub>2</sub>/ t de RSU, ou seja, US\$ 16/ t de RSU. Entretanto, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) atualmente aplicável reconhece apenas dez anos de metano evitado pelo aterro, ou seja, uma fração do metano total evitado pela planta WTE. Portanto, nesta análise, assumimos que a receita com os Créditos de Carbono seria de apenas US\$ 7,7/ t de RSU, como calculado no parágrafo anterior.

#### Receitas com recuperação de metais

Como notado na Seção 5.18 deste Guia, uma estimativa conservadora é que cerca de 50% dos metais ferrosos e 8% dos metais não ferrosos no RSU serão recuperados na cinza de fundo da planta WTE. Como o RSU de Buenos Aires contém 0,9% de metais ferrosos e 0,3% de metais não ferrosos (Tabela 40), para cada tonelada de RSU queimado, aproximadamente 4,74 Kg de metais (4,5 Kg de ferrosos e 0,24 Kg de não

ferrosos) podem ser recuperados. Portanto, a unidade WTE proposta vai recuperar 4.800 toneladas de metais anualmente. Com um preço assumido para a Argentina de US\$ 200 por tonelada de metal recuperado, a instalação vai ter uma receita de US\$ 960.000 por ano, ou seja, US\$ 0,96 por tonelada de RSU queimado.

### 9.11 Análise financeira do WTE de Buenos Aires

Como nos outros estudos de caso, a abordagem usada para a análise financeira do WTE de Buenos Aires foi o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) dos fluxos de caixa da planta WTE. Isto quer dizer que custos específicos do financiamento não foram levados em consideração e, portanto, tanto o VPL quanto a TIR vão provavelmente diminuir quando estes custos forem incluídos. Além disso, variações nos fluxos de caixa devido à inflação ou outros fatores não foram incluídos e poderiam ter um impacto importante na análise.

Como nos outros estudos de caso, o período de retorno usado foi de 23 anos, assumindo 3 anos de construção e 20 de operação; e as taxas de desconto usadas para cálculo do VPL foram 5%, 10% e 15%. A Tabela 44 mostra um sumário dos custos e receitas usados nesta análise.

**Tabela 44 Sumário de custos e receitas**

<b>Item</b>	<b>Custo</b>	<b>Receita</b>
<b>Custo de capital (milhões de US\$)</b>	600	
<b>Custos de operação (milhões de US\$/ano)</b>	32	
<b>Venda de eletricidade (US\$/MWh)</b>		102
<b>Taxa de despejo (US\$/t)</b>		20
<b>Créditos de carbono (US\$/t)</b>		7,7
<b>Metais (US\$/t)</b>		200

A Tabela 45 mostra o Valor Presente Líquido para as três taxas de desconto consideradas, e a Taxa Interna de Retorno, para as condições mostradas na Tabela 44.

**Tabela 45 VPL a taxas de desconto de 5%, 10% e 15%, e TIR**

<b>VPL a 5% (milhões de</b>	<b>VPL a 10% (milhões de</b>	<b>VPL a 15% (milhões de</b>	<b>TIR (taxa</b>

<b>US\$)</b>	<b>US\$)</b>	<b>US\$)</b>	<b>anual)</b>
80	(125)	(85)	6,5%

Os resultados mostram que para uma taxa de despejo de US\$ 20/t a planta é economicamente viável quando o custo de capital é menor que 6,5% (por exemplo, no caso da taxa de desconto de 5%). As taxas de despejo requeridas para a planta se equilibrar economicamente (ou seja, VPL=0) com taxas de desconto de 5%, 10% e 15% são mostradas na tabela 46.

**Tabela 46 Taxa de despejo requerida para taxas de desconto de 5%, 20% e 15%**

<b>Taxa de despejo (US\$/t)</b>		
Taxa de desconto 5%	Taxa de desconto 10%	Taxa de desconto 15%
12	40	73

Para uma taxa de despejo de US\$ 15/t (ou seja, o custo do despejo de resíduos no aterro Norte III), o VPL é zero e o a taxa de desconto é de 6%.

### **9.12 Conclusões para o Estudo de Caso de Buenos Aires**

Buenos Aires precisa urgentemente de uma solução mais sustentável que o aterramento sanitário para a gestão do seu RSU. Isto porque o aterro de Acceso Norte III tem a expectativa de atingir sua capacidade plena até o fim de 2012, o aterro de Enseada será fechado em breve e o município de La Matanza, onde o aterro Gonzalez Catan está localizado, não permite a importação de resíduos de outros municípios. Além disso, não há terra apropriada para um novo aterro na Área Metropolitana de Buenos Aires, e várias tentativas durante os últimos dez anos para alocar um aterro sanitário fora da Área Metropolitana falharam devido ao efeito “não aqui no meu quintal”.

A instalação WTE proposta (1 milhão de toneladas de capacidade anual) poderia processar aproximadamente 20% do resíduo atualmente despejado no aterro de Acceso Norte III, a planta WTE seria uma solução muito mais sustentável do que a construção de um novo aterro e aproximaria o país das suas metas de energias renováveis. O principal problema com esta solução é que a taxa de despejo seria provavelmente mais alta que o custo atual para o aterramento no Acceso Norte III (US\$15/t), a menos que o custo de capital de investimento nesta planta fosse menor que 6%, o que é um cenário muito otimista. Além disto, se o custo de capital for 10% a taxa de despejo será de ao menos US\$ 40/t. Deve-se notar que, com base em experiências nos EUA e Europa, o custo real de aterramento sanitário, incluindo a aplicação diária de cobertura, coleta e uso do gás de aterro e a manutenção do aterro por um período de 30 anos após seu fechamento é de mais de US\$ 40/ t de RSU; por

*exemplo, no seminário na Cidade do México organizado pelo IDB (Novembro 2011), o número > 40 euros por toneladas foi mencionado por A. Mavropoulos, do ISWA.*

*Programas para aumento da reciclagem e compostagem devem ser reforçados através de programas como campanhas de educação para elevar Buenos Aires na hierarquia da gestão sustentável de resíduos. Em particular, o plano para uma instalação WTE deve ser acompanhado por separação e coleta na fonte de alguns recicláveis específicos que seriam levados a uma Unidade de Reciclagem de Materiais, adjacente à WTE, como discutido na parte do Guia deste relatório (Seção 5.14).*

## **Apêndices para o Estudo de Caso da Argentina**

### **Apêndice 1: Arcabouço legal**

A seguir estão as principais leis Nacionais relacionadas à gestão de resíduos sólidos:

- *Constituição nacional: pode-se encontrar um resumo em: <http://www.ambiente.gov.ar/observatoriosu/grupo.asp?Grupo=8078&Subgrupo=8235>*
- *Lei nº 26.011: A Convenção de Estocolmo – sobre poluentes orgânicos duradouros*
- *Lei nº 25.916: Gestão Integrada de Resíduo Urbano. Lei nacional*
- *Lei nº 25.675: Lei nacional, Lei geral sobre o Ambiente. Explicação da coordenação entre leis nacionais, provinciais e municipais*
- *Lei nº 26.190: Lei Nacional de Energias renováveis: Estabelece que até 2016 8% da energia tem que ser suprida por um recurso alternativo.*
- *Resolução da Secretaria Nacional de Energia nº 712: regula os contratos de suprimento de energia renovável*
- *Constituição da Cidade Autônoma de Buenos Aires, Artigo 28*
- *Lei 1.854 – Cidade de Buenos Aires: Gestão integrada de resíduo sólido urbano*
- *Lei 992 - Cidade de Buenos Aires: os cartoneros são reconhecidos como parte da gestão de resíduos sólidos*
- *Lei 13.592 – província de Buenos Aires - Gestão Integrada de Resíduo Sólido Urbano*
- *Decreto lei 9.111/78, regula a disposição final de resíduos – criação da CEAMSE*
- *Lei Integral do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais nº 11.723 (OBSERVADO O DECRETO nº 4371/95)*
- *Lei 11.382 Modificando a Lei de Ordenança 8.031/73*
- *Lei 11.459 Licença para Estabelecimento de Indústrias*
- *Regulação de Decreto q.741/96 modificada pela Ordenança 1712/97*
- *ORDENANÇA MUNICIPAL 39.025 (B.M. 17.094 – publicada em 13/6/83)*
- *Código de Prevenção de Contaminação Ambiental da Cidade de Buenos Aires*
- *Ordenança 33.581 (BM 15.540) Modificada pelas Ordenanças 33.681 (BM 15.575) e 38.188 (4/10/82); modifica os Artigos 4,6 e 7*

- *Ordenança 33.691 (BM 15.577); ratificada por Decreto Nacional 3457/77 BO 21/11/77; aprova o antigo Acordo MCBA/ Província de BA de 07/01/77 06/05/77*
- *Ley 992 de cartoneros*

*A lei municipal em vigor é a lei nº 1.854 de “resíduo zero” – 747 também é uma modificação da lei nº 154. Texto original:*

[http://boletinoficial.buenosaires.gob.ar/areas/leg\\_tecnica/boletines/20060112.htm#3](http://boletinoficial.buenosaires.gob.ar/areas/leg_tecnica/boletines/20060112.htm#3)  
<http://www.cedom.gov.ar/es/busca/>

*Sumário desta lei: Resíduo zero é o nome dado aos esforços na direção da redução da quantidade de resíduos sólido para a disposição final através da reciclagem, reuso e redução da quantidade de resíduo produzido. Esta lei visava à redução de 75% da quantidade de MSW até 2017, usando o ano 2004 como referência. O Artigo nº 7 bane explicitamente a combustão de qualquer RSU, com ou sem a produção de energia.*

## **Apêndice 2: Pesquisa de gestão de resíduos em Buenos Aires**

*Universo da pesquisa: Cidadãos da cidade de Buenos Aires*

*Tamanho da Amostra: Mais de 200      Data da pesquisa: Maio 2011*

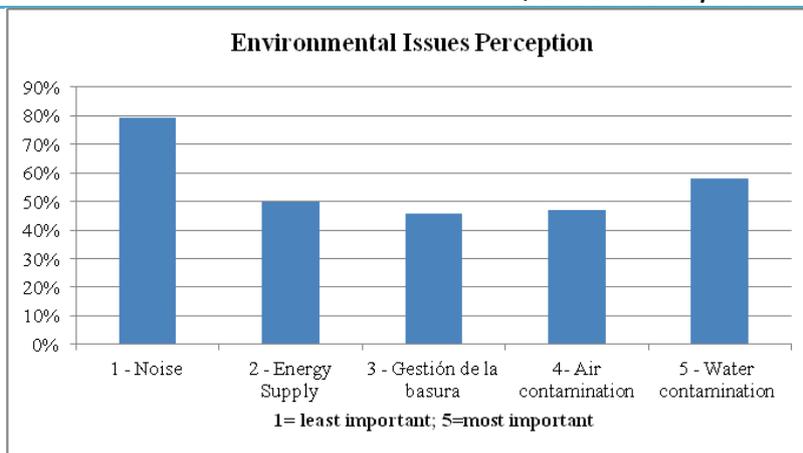
### **Questão 1: Ocupação**

<b>Ocupação</b>		
<b>Opções de resposta</b>	<b>Percentual de resposta</b>	<b>Contagem de respostas</b>
<i>Estudante</i>	28%	61
<i>Dona de casa</i>	0,5%	1
<i>Empregado</i>	14,2%	31
<i>Profissional Empregado</i>	50,5%	110
<i>Independente</i>	17,4%	38
<i>Administração Pública</i>	4,1%	9
<i>Aposentado</i>	1,8%	4
<i>Outros</i>	4,1%	9
<b>Questões respondidas</b>		218
<b>Questões não respondidas</b>		0

### **Questão 2**

<b>Ordene os seguintes as seguintes questões ambientais de acordo com o risco que elas representam, na sua opinião, à vida humana</b>							
<b>Opção de resposta</b>	<b>1- Risco mais</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5= Risco</b>	<b>Média da</b>	<b>Contagem de</b>

	<i>baixo</i>				<i>mais alto</i>		<i>avaliação</i>	<i>respostas</i>
<b>Contaminação da água</b>	7	9	18	52	121		4,31	207
<b>Contaminação do ar</b>	4	16	37	97	54		3,87	208
<b>Gestão de resíduos</b>	5	52	95	41	14		3,03	207
<b>Suprimento de energia</b>	27	104	51	15	11		2,42	208
<b>Barulho</b>	164	27	7	2	8		1,38	208
<b>Questões respondidas</b>								<b>208</b>
<b>Questões não respondidas</b>								<b>10</b>

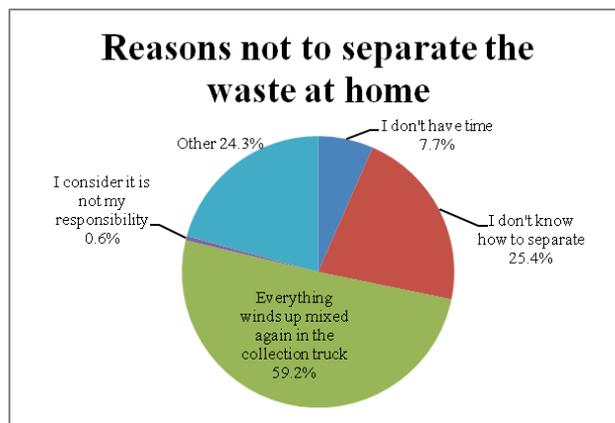


### Questão 3

<b>Você separa o seu lixo em casa?</b>		
<i>Opções de respostas</i>	<i>Percentual de repostas</i>	<i>Contagem de respostas</i>
<b>Sim</b>	19,1%	39
<b>Não</b>	81,9%	167
<b>Questões respondidas</b>		<b>204</b>
<b>Questões não respondidas</b>		<b>14</b>

### Questão 4

<b>Se a sua resposta anterior foi Não, qual a razão?</b>		
<i>Opções de resposta</i>	<i>Percentual de resposta</i>	<i>Contagem de respostas</i>
<b>Não tenho tempo</b>	7,7,%	13
<b>Não sei como separa o lixo</b>	25,74%	43
<b>Tudo acaba sendo misturado de novamente no caminhão de coleta</b>	59,2%	100
<b>Considero que isto não é minha responsabilidade</b>	0,6%	1
<b>Outros</b>	24,3%	41
<b>Questões respondidas</b>		<b>169</b>
<b>Questões não respondidas</b>		<b>49</b>

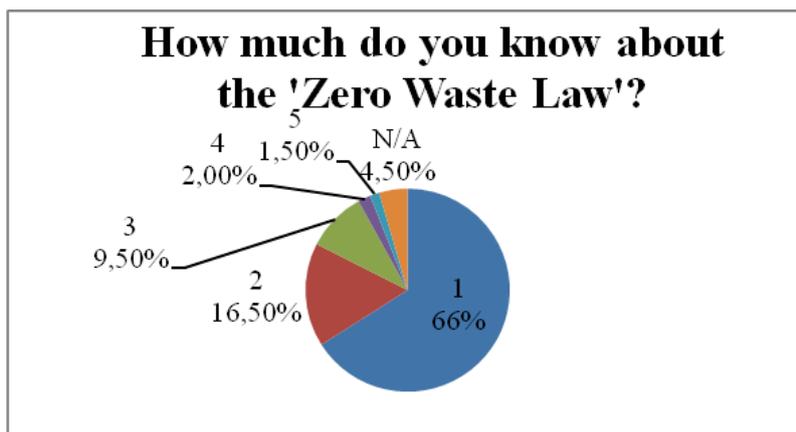


#### Questão 5

<b>O que você conhece sobre o processo de compostagem?</b>		
<b>Opções de resposta</b>	<b>Percentual de resposta</b>	<b>Contagem de respostas</b>
<i>Entendo o processo e conheço os diferentes tipos de compostagem</i>	8,5%	17
<i>Entendo apenas o básico</i>	34,5%	69
<i>Não sei nada sobre o processo</i>	57%	114
<b>Questões respondidas</b>		<b>200</b>
<b>Questões não respondidas</b>		<b>18</b>

#### Questão 6

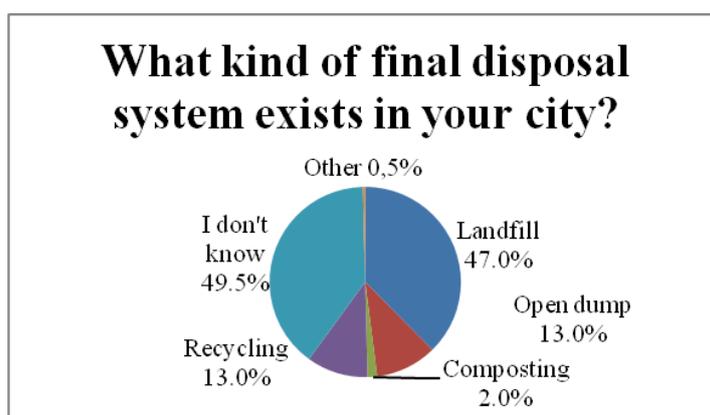
<b>Favor responder às seguintes questões (1=Muito pouco/ Muito ruim, 5= Muito/ Excelente)</b>								
<b>Opção de resposta</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>N/A</b>	<b>Média da avaliação</b>	<b>Contagem de respostas</b>
<i>Quanto você sabe sobre o sistema de coleta de resíduos em sua cidade?</i>	68	57	45	25	3	2	2,18	200
<i>Como você qualificaria este serviço?</i>	28	58	71	30	2	11	2,58	200
<i>Quanto você sabe sobre a "Lei do Resíduo Zero"?</i>	132	33	19	4	3	9	1,50	200
<i>Como você a qualificaria?</i>	53	22	15	15	5	88	2,06	198
<i>Se você conhece, qual a frequência de coleta? (dias, horas)</i>								208
<b>Questões respondidas</b>								<b>200</b>
<b>Questões não respondidas</b>								<b>18</b>



Código de referência: 1= muito pouco/muito pobre; 5: muito/excelente

#### Questão 7

<i>Qual tipo de sistema de disposição final existe em sua cidade?</i>		
<i>Opções de resposta</i>	<i>Percentual de resposta</i>	<i>Contagem de respostas</i>
<b>Aterro</b>	47,0%	94
<b>Lixão</b>	13,0%	26
<b>Compostagem</b>	2,0%	4
<b>Reciclagem</b>	13,0%	26
<b>Não sei</b>	49,5%	99
<b>Outros (favor especificar)</b>	0,5%	1
<b>Questões respondidas</b>		<b>200</b>
<b>Questões não respondidas</b>		<b>18</b>



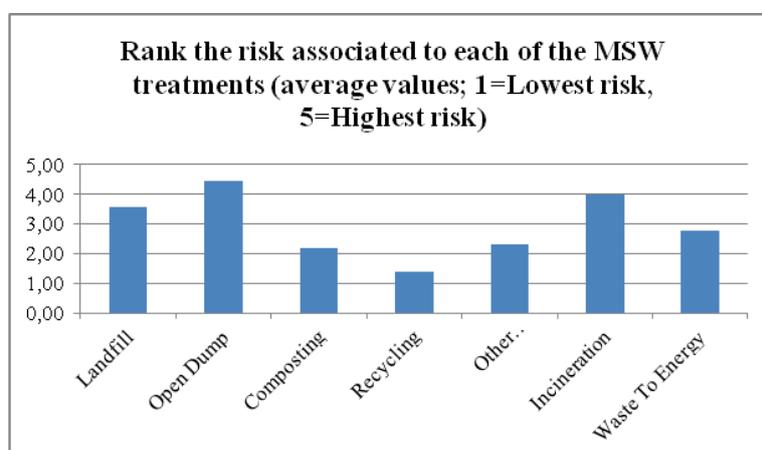
#### Questão 8

<i>Quanto você sabe sobre Energia a partir de Resíduos?</i>
---

<i>Opções de resposta</i>	<i>Percentual de resposta</i>	<i>Contagem de respostas</i>
<i>Não sei o que é</i>	44,7%	80
<i>Já ouvi a respeito</i>	29,6%	53
<i>Conheço o básico</i>	24,0%	43
<i>Sou bem informado</i>	3,4%	6
<i>Se souber, por favor explique brevemente</i>		24
	<b>Questões respondidas</b>	<b>179</b>
	<b>Questões não respondidas</b>	<b>39</b>

### Questão 9

<i>Classifique os riscos associados a cada um dos seguintes tratamentos de resíduos sólidos urbanos</i>							
<i>Opção de resposta</i>	<i>1- Risco mais baixo</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5= Risco mais alto</i>	<i>Média da avaliação</i>	<i>Contagem de respostas</i>
<i>Aterro</i>	15	15	51	52	46	3,55	179
<i>Lixão</i>	4	5	18	31	121	4,45	179
<i>Compostagem</i>	57	57	51	7	7	2,16	179
<i>Reciclagem</i>	131	35	9	2	2	1,37	179
<i>Outros tratamentos mecânicos ou biológicos</i>	35	81	44	11	8	2,31	179
<i>Incineração</i>	3	17	30	61	68	3,97	179
<i>Energia a partir de Resíduos</i>	20	48	71	33	7	2,77	179
<i>Comentários</i>							29
						<b>Questões respondidas</b>	<b>179</b>
						<b>Questões não respondidas</b>	<b>39</b>



## **Referências do Estudo de Caso da Argentina**

---

<sup>66</sup> CIA factbook. Disponível em from: [www.cia.gov/library/publications/the-worldfactbook/index.html](http://www.cia.gov/library/publications/the-worldfactbook/index.html)

<sup>67</sup> 'Estrategia Nacional Para La Gestión Integral de Residuos Urbanos', Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Ministerio de Salud y Ambiente, República Argentina. September 2005.

<sup>68</sup> 'Dirección General de Sistemas de Información Geográfica', Government of Buenos Aires. Detalhes adicionais dos mapas disponível em <http://mapa.buenosaires.gov.ar/>

<sup>69</sup> Wikipedia. Disponível em [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Gran\\_Buenos\\_Aires.png](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Gran_Buenos_Aires.png)

<sup>70</sup> 'Estudio de Calidad de los Residuos Sólidos Urbanos 2009', Insituto de Ingeniería Sanitaria Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires – CEAMSE, Fevereiro 2010. Disponível em <http://ceamse.gov.ar/wp-content/uploads/2009/07/Resumen-Ejecutivo-ECRSU-2009.pdf>

<sup>71</sup> Censo Nacional de População e Habitação. Indec, 'Instituto De Estadísticas y Censos' 1991, 2001, 2010. Disponível em [www.idec.gov.ar](http://www.idec.gov.ar)

<sup>72</sup> Entrevista com Marcelo Rosso, Gerente de Operação do CEAMSE.

<sup>73</sup> Web site da Cidade de Buenos Aires. Disponível em [http://www.buenosaires.gov.ar/areas/med\\_ambiente/higiene\\_urbana/basura.php?menu\\_id=10630](http://www.buenosaires.gov.ar/areas/med_ambiente/higiene_urbana/basura.php?menu_id=10630)

<sup>74</sup> 'Gestión Integral de Residuos, Reciclado y Cartoneo en Buenos Aires', César Rodríguez. Maio 2010. Ed. Croquis.

<sup>75</sup> 'Qualidade do RSU 2009' pela Escola de Engenharia da Universidade de Buenos Aires e CEAMSE.

<sup>76</sup> [http://www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota\\_id=1252975](http://www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota_id=1252975)

<sup>77</sup> [Buenosaires.gov.ar/areas/medioambiente](http://Buenosaires.gov.ar/areas/medioambiente)

## 10 Aplicação do WTE em Ilhas

### 10.1 Introdução

As ilhas membros mutuários do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) são as Bahamas, Barbados, República Dominicana, Haiti, Jamaica e Trinidad e Tobago (Tabela 47). Elas têm uma população total de 24,4 milhões de habitantes<sup>78</sup>, ou seja, cerca de 4% da população dos 26 membros mutuários do BID; uma área total de 102.000 km<sup>2</sup> (0,5 % da área dos 256 membros mutuários); um PIB de US\$ 164 bilhões (2,6% do PIB dos 26 membros mutuários)<sup>78</sup>; e um PIB per capita médio de US\$ 15.000 (contra US\$ 10.5000 médios para os 26 membros mutuários)<sup>78</sup>.

Tabela 47 Área, população e PIB das ilhas membro mutuários do BID<sup>78</sup>

	Área (Km <sup>2</sup> )	População (estimativa Julho 2011)	PIB (Bilhões de US\$)	PIB/capita (US\$)
<b>Bahamas</b>	10.010	313.312	9	28.700
<b>Barbados</b>	430.000	286.705	6	21.800
<b>República Dominicana</b>	48.320	9.956.648	87	8.900
<b>Haiti</b>	27.560	9.719.932	12	1.200
<b>Jamaica</b>	10.831	2.868.380	24	8.300
<b>Trinidad e Tobago</b>	5.128	1.227.505	26	21.200
<b>Total</b>	102.279	24.372.482	164	15.017 <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Média

Estas seis ilhas, juntamente com Belize e El Salvador (área de 23.000 e 21.000 Km<sup>2</sup> respectivamente)<sup>78</sup> são os menores dos 26 membros mutuários do BID. Este fato pode implicar que estes países têm espaço limitado para aterros, portanto uma necessidade mais urgente para as alternativas ao aterro, como a energia a partir de resíduos (WTE).

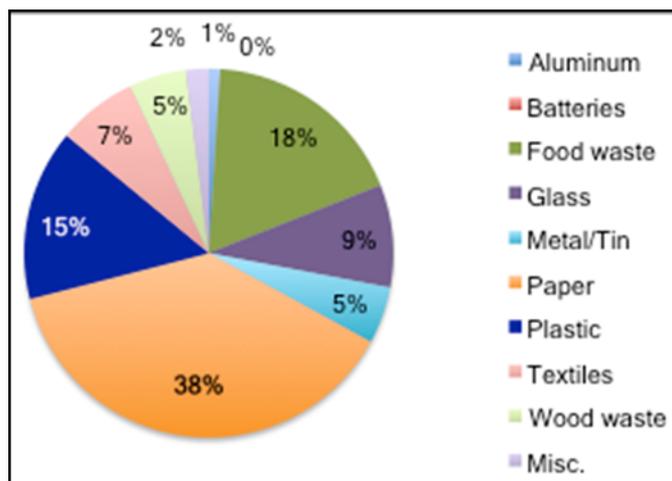
*Além disso, as economias destas ilhas, com exceção do Haiti, dependem fortemente do turismo; isto aumenta sua necessidade de terem sistemas de gestão de resíduos avançados, de modo a serem limpas e continuarem atrativas para os turistas.*

*Outro fator que, em alguns casos, motivam as ilhas a construírem instalações WTE é a sua falta de recursos energéticos. Das seis ilhas membros mutuários do BID, apenas Barbados e Trinidad e Tobago têm petróleo e gás natural. Barbados produz 9% do petróleo que consome e exporta o restante<sup>78</sup>. Além disso, Bahamas, Barbados e Trinidad e Tobago são os países membros mutuários com o maior PIB per capita, o que pode significar que eles têm melhores possibilidades de construir uma instalação WTE.*

## **10.2 Bermuda**

*Bermuda é um território de governo autônomo de além-mar do Reino Unido. É um arquipélago formado por 138 pequenas ilhas (as sete maiores são conectadas por pontes), compreendendo uma área total de 53 km<sup>2</sup>. Está localizada no Oceano Atlântico Norte, a 1.000 km a sudeste da Carolina do Norte, nos EUA. Tem uma população de 68.888 habitantes (estimativa de 2007<sup>78</sup>), e uma densidade populacional de aproximadamente 1.300 pessoas por Km<sup>2</sup>. Bermuda é na verdade o sétimo país mais densamente habitado no mundo (2008<sup>80</sup>). O PIB per capita de Bermuda, em 2009, era de US\$ 86.758<sup>81</sup>, um dos maiores do mundo. Os maiores contribuintes para o PIB são os negócios internacionais (como seguro e resseguro) e intermediação financeira (respondendo por mais de 70% do PIB). O turismo é também importante para a economia, muito embora tenha declinado um pouco em anos recentes. A agricultura e a manufatura têm apenas pequenas contribuições para a economia, que é altamente dependente da importação de produtos e serviços.*

*A quantidade de resíduos gerado em Bermuda é relatada como algo entre 80.000<sup>82</sup> e 100.000 t/ano<sup>83</sup>, ou seja, entre 1,17 e 1,46 t/capita/ano, e tem um poder calorífico que varia sazonalmente de 9 a 11 MJ/ kg<sup>84</sup>. A quantidade de resíduo per capita e poder calorífico são altos em função do turismo e o fato de Bermuda importar 85% dos itens que a população local consome; além disso, as importações precisam ser bem embaladas (usando principalmente plásticos para que cheguem em boas condições ao arquipélago). A Figura 60 mostra a composição do resíduo residencial em 2000.*



**Figura 60 Composição do RSU de Bermuda (2000)<sup>83</sup> (EEC)**

No passado o RSU era disposto no Lixão Pembroke, que recebia cerca de 80% dos resíduos da ilha. Em 1975 este aterro estava atingindo sua capacidade máxima e uma planta de trituração foi instalada para estender a sua vida útil. Portanto, em 1977 o Governo decidiu substituí-lo com uma planta WTE. Em 1987, Von Roll Ltd, da Suíça foi licenciado para construir esta unidade WTE com grelha de combustão. A construção começou em 1991 e a planta começou a operar em 1994. O custo da planta (capacidade nominal: 96.000 toneladas) foi de US\$ 70 milhões<sup>85</sup> e foi inteiramente financiado pelo governo de Bermuda. O Lixão Pembroke fechou após a abertura da planta WTE (chamada “Unidade de Tratamento de Resíduos Tynes Bay”) e a maior parte dele é usado para a compostagem a céu aberto de resíduos verdes (“jardinagem”) e é chamado de Companhia de Compostagem Marsh Folly.



**Figura 61 Unidade de tratamento de resíduos Tynes Bay<sup>85</sup> (EEC)**

A WTE Tynes Bay consiste de duas linhas cada uma capaz de incinerar 6 toneladas/hora, e produzir um total de 3,6 MW de energia elétrica<sup>85</sup>. Em média, no período 2000-2009, esta unidade queimou 68.000 t de resíduos por ano<sup>86</sup>. O resíduo

incinerado é composto de resíduo residencial (~35%), resíduo comercial (~45%), e resíduos de madeira (~20%). A unidade produz cerca de 18.000 MWh<sup>86</sup> de eletricidade por ano correspondendo a 2,7% do consumo de eletricidade do país. Aproximadamente 40% da energia gerada foi consumida pela WTE e para acionar uma planta de dessalinização por Osmose Reversa e os 60% restantes foram vendidos para a Bermuda Electric Light Company Limited (BELCO). Em média 160 KWh foram exportados para a rede por tonelada de resíduo queimado. O tempo de planta funcionando foi de 6.600 horas/ano<sup>86</sup>. Atualmente, maiores volumes de resíduos resultaram em menor produção de eletricidade devido ao fato de que a unidade não tem a capacidade de usar o calor extra, mas requer mais energia para a o processamento de resíduos adicional. A unidade de Tynes Bay está planejando uma reforma das duas linhas existentes e a expansão da capacidade da planta com a adição de uma terceira linha, mais eficiente.

Quanto ao controle de emissões, a planta deve ter as permissões renovadas anualmente pela Autoridade Ambiental de Bermuda. Material particulado é removido (99%) dos gases de combustão com o uso de precipitadores eletrostáticos. Emissões de monóxido de carbono, dióxido de enxofre e cloreto de hidrogênio são monitoradas quanto à conformidade com os limites estabelecidos. As emissões da WTE relatadas em 2009 são mostradas na Tabela 48. As emissões de dioxinas são muito mais altas que os padrões dos EUA e EU (0,1 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>), o que indica um sistema inadequado de injeção de carbono ativado.

**Tabela 48 Emissões na chaminé<sup>86</sup>**

<b>Poluente</b>	<b>Unidades (11% O<sub>2</sub>)</b>	<b>Real</b>	<b>Padrões de Bermuda</b>
<b>Material Particulado</b>	mg/Nm <sup>3</sup>	33	35
<b>Monóxido de carbono</b>	mg/Nm <sup>3</sup>	8	80
<b>Cloreto de Hidrogênio</b>	mg/Nm <sup>3</sup>	351	1.200
<b>Dióxido de Enxofre</b>	mg/Nm <sup>3</sup>	20	200
<b>Dioxinas e Furanos (TEQ)</b>	ng/Nm <sup>3</sup>	4	1

Metais ferrosos são removidos das cinzas de fundo com separadores magnéticos, e o restante das cinzas é misturado com concreto para formar blocos de concreto de duas toneladas e um metro cúbico que são usados para a proteção da costa e aterro de áreas costeiras no aeroporto de Bermuda. Em média 1.000 t/ano de metais foram recuperados e 11.700 m<sup>3</sup> de concreto de cinzas foram produzidos no período 2007-2009<sup>86</sup>. De acordo com o Ministério do Ambiente, “Estudos do Laboratório Bentico na Estação Biológica de Bermuda de Pesquisa (Bermuda Biological Station for Research - BBSR) mostraram que os blocos de cinza se mantiveram relativamente estáveis quando colocados no ambiente marinho como pequeno ou nenhum efeito adverso sobre organismos marinhos”<sup>83</sup>.

Bermuda incinera aproximadamente 80% do resíduo gerado, composta cerca de 15% e aterra apenas grandes itens (por exemplo carros, pneus, aparelhos de ar condicionado) e resíduo especial (por exemplo, baterias). A taxa de reciclagem é ainda baixa, mas o governo está tentando aumentar a taxa através de programas educacionais.

A planta WTE de Bermuda tem operado com sucesso por 17 anos. Foi uma solução para lidar com o seu alto volume de resíduos em espaço tão limitado e foi possível pelo financiamento do governo. É relevante mencionar que Bermuda foi da disposição em um lixão para a WTE, sem o passo intermediário usualmente recomendado do aterro sanitário.

### 10.3 Martinica

A Martinica é parte das Ilhas Winward, uma região de além-mar da França localizada no Caribe, a sudeste da ilha da Dominica. Ocupa uma área de 1.100 Km<sup>2</sup><sup>87</sup>, tem uma população de 403.000 habitantes<sup>88</sup>, e uma densidade populacional de 366 pessoas/Km<sup>2</sup>. O PIB da Martinica em 2009 foi de US\$ 24.900<sup>89</sup> per capita. A economia se baseia primariamente em turismo e serviços.

O resíduo gerado em Martinica é estimado em 370.000 t/ano, ou seja, cerca de 0,92 t/capita<sup>90</sup>. A composição dos resíduos sólidos é mostrada na figura 62.

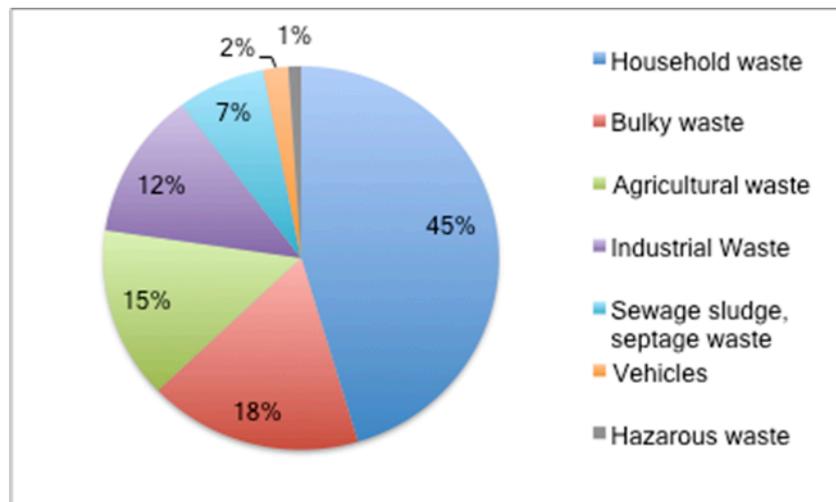


Figura 62 Fontes de resíduo na Martinica<sup>90</sup> (EEC)

A gestão de resíduos é responsabilidade de quatro entidades públicas: CACEM (Communaute d'Agglomération du Centre de la Martinique), CCNM (Communauté de Communes du Nord Martinique), CAESM (Communauté d'Agglomération de l'Espace Sud de la Martinique), e SMITOM (Syndicat Mixte pour le Traitement des Ordures Ménagères de la Martinique).

A ilha tem as seguintes instalações para a disposição de resíduos: três aterros não sanitários, três aterros regulamentados, duas estações de transferência (mais 5 estão sendo planejadas), uma unidade de compostagem por digestão anaeróbica com capacidade de receber 20.000 t/ano de resíduo orgânico e uma unidade de energia a partir do resíduo.

A planta WTE começou as operações em 2002 e foi desenvolvida pela CACEM para tratar o resíduo de quatro municípios. A capacidade da planta é de 112.000 t/ano<sup>91</sup> (ou seja, 30% dos resíduos da ilha) e isto inclui 600 t de resíduos médicos. A unidade

consiste de duas linhas de grelha de combustão de 7 t/h cada e sua disponibilidade declarada é de 8.000 horas/ano (90%)<sup>91</sup>. O poder calorífico do resíduo recebido na unidade varia de 4,2 a 8,4 MJ/Kg<sup>91</sup> e a planta fornece à rede elétrica 40.000 a 45.000 MWh/ano<sup>91</sup> de eletricidade (4% do consumo elétrico da Martinica).



**Figura 63 A planta WTE da Martinica<sup>1</sup> (EEC)**

A cinza de fundo é levada para uma unidade onde metais ferrosos e não ferrosos são coletados. A cinza é separada primeiro em uma fração fina (0-40 mm) e uma fração grossa (40-200 mm). Metais ferrosos são separados magneticamente das duas frações. Partículas carbonáceas muito finas são separadas da fração grossa por um sistema de separação por fluxo de ar e retornam para a caldeira para uma combustão completa. A fração fina é conduzida através de um separador de eddy current para extrair metais não ferrosos para a reciclagem (200 t recuperadas/ano<sup>93</sup>). O “clínquer” de cinza restante é armazenado por três meses para curar e então é usado para a pavimentação rodoviária (22.000 t/ano).

O sistema de Controle de Poluição Atmosférica inclui a injeção de uréia para reduzir os níveis de NO<sub>x</sub>, limpeza com cal para remoção dos gases ácidos, injeção de carvão ativado para remoção de metais voláteis e dioxinas (para menos que 0,1 ng TEQ/Nm<sup>3</sup>), e casa de filtros de mangas para a remoção de material particulado. A cinza em suspensão contendo os poluentes retidos na casa de filtros é enviada para a França, onde é estabilizada e neutralizada (3.000 t /ano<sup>91</sup>). A unidade foi projetada para atender aos padrões holandeses de emissões (Tabela 49), que em 2002 eram mais baixos que os padrões franceses (atualmente eles são iguais).

**Tabela 49 Emissões garantidas**

<b>Poluente</b>	<b>Máximo garantido</b>	<b>Padrões franceses (2002)</b>	<b>Padrões holandeses (2002)</b>
<b>Dioxinas (ng TEQ/Nm<sup>3</sup>)</b>	0,1	1	0,1
<b>HF (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	0,8	1	1
<b>Hg (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	0,5	0,5	0,5
<b>SO<sub>2</sub> (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	20	50	40
<b>HCl (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	10	10	10
<b>PM (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	5	10	5

O custo da planta WTE da Martinica foi de cerca de US\$ 74 milhões<sup>91</sup>. Os quatro municípios do CACEM custearam 10% do projeto; os outros 90% foram providos pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, a Agência para gestão do Ambiente e Energia do governo francês (ADEME), o governo francês, e o Conselho Regional e Conselho Geral da Martinica. Um consórcio de CGEA-ONYX, Vinci Ambiente, CT Ambiente e SOGEA Martinica construiu a unidade, e as companhias SEEN e ONYX a operam.

A planta WTE da Martinica tem operado com sucesso por quase nove anos. Isto foi possível pelo financiamento fornecido pela França e pela União Europeia. Deve-se notar que grande parte do RSU da Martinica é ainda disposta em aterros sanitários e não sanitários.

#### **10.4 Saint Barth**

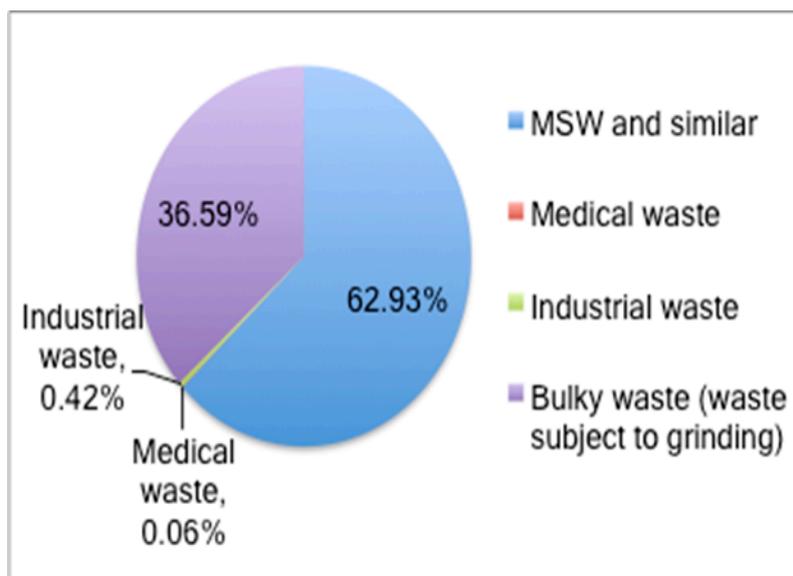
Saint Barthelemy (St. Barth) é parte das Índias Ocidentais francesas. Tem uma área de 21 Km<sup>2</sup>, uma população de 7.406 habitantes (estimativa de 2010<sup>78</sup>) e uma densidade populacional de 353 pessoas/km<sup>2</sup>). O PIB de St.Barth é estimado em US\$ 35.100 per capita<sup>89</sup>; a economia da ilha é baseada no turismo e zona franca de comércio de luxo. A ilha tem fontes limitadas de água potável e importa toda a sua comida, energia e maior parte dos bens manufaturados.

St. Barth tem uma unidade WTE que trata quase todos os resíduos sólidos da ilha. A planta está conectada com uma planta térmica (Destilação de Efeito Múltiplo) de dessalinização. Não há muita reciclagem antes do recebimento do RSU na planta WTE, mas uma campanha foi iniciada para promover alguma separação de recicláveis na origem. A ideia é separar: lixo, papel/papelão e garrafas e recipientes plásticos e outros combustíveis a serem enviados para a unidade WTE; vidro a ser pulverizado e então usado para criar substrato para pavimentação rodoviária, leito para tubulações de água, e filtros de água para piscinas; alumínio e outros metais exportados para a reciclagem e baterias a serem enviadas para Guadalupe para disposição ou reciclagem.



**Figura 64 A planta WTE de St. Barth (EEC) <sup>92</sup>**

A planta WTE-dessalinização começou as operações em 2001 com o objetivo duplo de melhorar o sistema de gestão de resíduos da ilha e de atender as necessidades de água potável durante o pico da temporada de turismo; ela foi construída e é de propriedade da empresa francesa de gestão de resíduos Groupe TIRU. O processo WTE usado é a combustão com recuperação de energia em um forno oscilante Cyclorige que processa 1,5 t/hora. Sua capacidade anual é de 9.000 t<sup>94</sup>, e a quantidade de vapor entregue permite a produção de 1.200 a 1.720 m<sup>3</sup> de água potável por dia<sup>95</sup>. A TIRU relatou<sup>96</sup> que em 2008 e 2009 9.762 e 9.038 t de resíduos foram queimadas, respectivamente; e que a quantidade de energia (na forma de calor) vendida nestes dois anos foi 20.666 MWh e 19.876 MWh, respectivamente. As fontes do resíduo queimado em 2009 são mostradas na Figura 65.



**Figura 65 Fontes de resíduo em St. Barth (2009) <sup>96</sup> (EEC)**

As emissões relatadas da WTE em 2009 são mostradas na tabela 50.

*Tabela 50 Emissões 2009<sup>96</sup>*

<b>Poluente</b>	<b>Emissão média</b>	<b>Limite regulamentar</b>
<b>Dioxinas (ng TEQ/Nm<sup>3</sup>)</b>	0,003	0,1
<b>NOx (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	226	400
<b>SO<sub>2</sub> (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	2,65	50
<b>HCl (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	3,93	10
<b>PM (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	2,57	10

Os resíduos de cinza da unidade WTE são transportados para Guadalupe para aterramento. A quantidade de água dessalinizada pela planta conjunta fornece aproximadamente 40%<sup>95</sup> da demanda de água da ilha; uma planta de osmose reversa fornece o resto.

De forma similar ao caso de Martinica, a WTE de Saint Barth tem operado por quase dez anos e só se tornou possível pelo financiamento e “know-how” da França. É importante notar que, além da instalação WTE, Saint Barth não tem nenhuma outra forma legal de dispor dos seus resíduos. O que não for enviado para a unidade WTE é despejado ou queimado ilegalmente, ou enviado para Guadalupe para aterramento. Vale notar também que a WTE foi concebida devido à dupla necessidade, da gestão de resíduos e de dessalinização da água do mar.

### **10.5 Jamaica**

A Jamaica é uma ilha caribenha localizada ao sul de Cuba e a oeste do Haiti. Tem uma população de 2,9 milhões de habitantes<sup>97</sup>, uma área próxima a 10.831 Km<sup>2</sup>, e uma densidade populacional de 246 pessoas/ Km<sup>2</sup>. O PIB per capita em 2010 foi de US\$ 4.700 ao câmbio oficial, e US\$ 8.300 levando em conta a paridade do poder de compra<sup>78</sup>. As maiores contribuições para o PIB (mais de 50%) são o setor de serviços (por exemplo, finanças, imóveis, turismo). As principais fontes de dívidas externas para o país são o turismo e a mineração de bauxita.

A Jamaica importa 91% da sua energia (combustíveis a base de petróleo), e gera os 9% restantes a partir de fontes renováveis (solar, pequenas centrais hidrelétricas, vento e biomassa). O governo da Jamaica estabeleceu como meta gerar 20% da energia consumida a partir de fontes renováveis até 2030, como parte do seu plano de desenvolvimento “Visão 2030 Jamaica”; a Petroleum Corporation Jamaica (PCJ) é responsável pelo planejamento e construção de duas instalações de energia a partir de resíduos.

A quantidade de resíduo sólido urbano (RSU) gerado na Jamaica é estimada entre 1,2 e 1,4 milhões de toneladas/ano (0,44 a 0,52 t/capita<sup>98, 99</sup>). Estima-se que 70% do resíduo gerado sejam residencial, 20% comercial e 10% industrial. A Autoridade Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos - National Solid Waste Management

Authority (NSWMA) é a agência responsável pela gestão (coleta, transporte, armazenamento, reciclagem, reuso e disposição) do resíduo sólido na Jamaica. Em 2006 esta agência conduziu um estudo de caracterização de resíduos e os resultados são mostrados na figura 66.

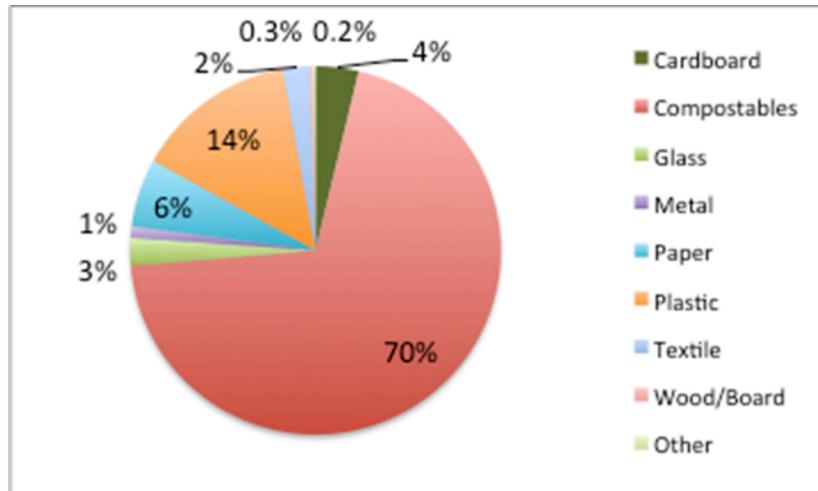


Figura 66 Caracterização do resíduo da Jamaica<sup>1</sup> (EEC)

Em 2010 a NSWMA estimou que 70% a 75% do resíduo era coletado<sup>100</sup> enquanto o resto era queimado ou jogado em terrenos abertos ou ravinas. O custo médio de coleta e disposição de resíduos na ilha foi estimado em US\$ 100/t<sup>100</sup>.

Há muito pouca reciclagem na Jamaica. Há alguma reciclagem de vidro e algumas poucas companhias privadas coletam papel, garrafas PET e sucata de metal para exportação, provenientes principalmente da reciclagem informal. A única exceção honrosa é a coleta de sucata de metal pelos catadores pois ela é bem remunerada e as exportações atingiram US\$ 100 milhões em 2009<sup>100</sup>. Com isto obtém-se o benefício de se encorajar a reciclagem de metal, mas também criou-se o problema de roubo de metal da infraestrutura da ilha, como placas de trânsito e tampas de bueiros. Devido a estes incidentes em 28 de Abril de 2010 o governo decretou o banimento do comércio de sucata de metal, com a exceção de sucata primária gerada por indústrias<sup>101</sup>. A NSWMA dividiu a Jamaica em quatro "divisões de resíduos" para fins de da gestão de resíduos (Figura 67).

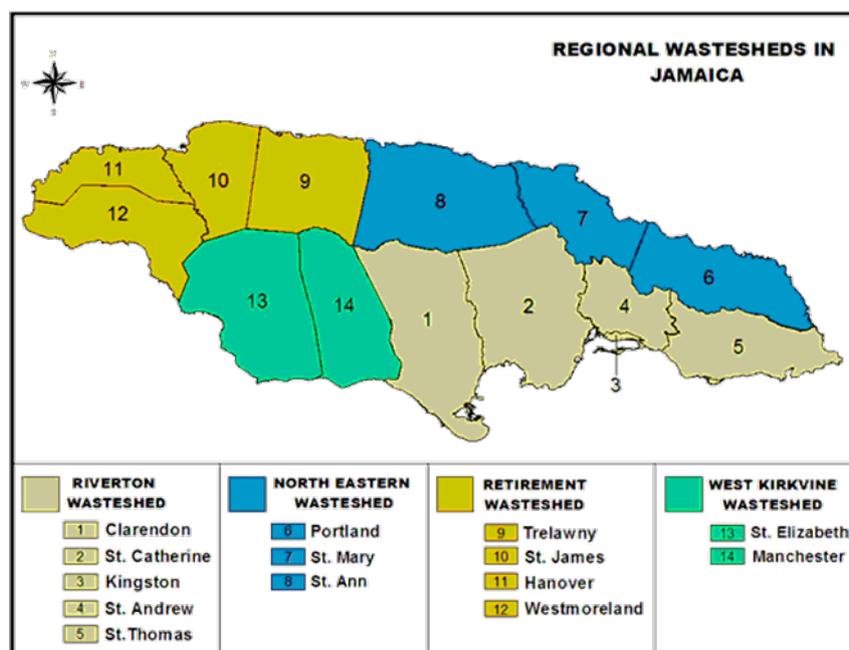


Figura 67 Locais de disposição da Jamaica (EEC) <sup>i</sup>

A Jamaica tem um total de oito locais de disposição, nenhum dos quais é um aterro sanitário. Os locais selecionados para as plantas WTE propostas são próximos aos dois principais locais de disposição. Eles são o Riverton na Paróquia St. Catherine (no nº 2 da Figura 67); e Retirement, na Paróquia de St. James (nº 10). Riverton recebe 60% dos resíduos da ilha e espera-se que atinja a capacidade máxima em 2014<sup>100</sup>. Algumas melhorias foram feitas ao aterro Riverton (construção de estradas de acesso, equipamento de aterro, instalação de iluminação e construção de escritórios administrativos). Além disso, havia planos para construir um aterro sanitário adjacente a ele, mas o projeto foi descontinuado devido à falta de financiamento. O aterro de Retirement é próximo a duas minas de areia e recebe resíduos principalmente de residências e hotéis, representando cerca de 20% do RSU da ilha.

A instalação WTE prevista próxima de Riverton receberá 545.000 t de resíduos e terá potencial de gerar 45 MW de eletricidade<sup>103</sup>. A planta WTE próxima a Retirement receberá 219.000 t de resíduos e vai gerar 20 MW <sup>98</sup>. Portanto, no total as duas instalações vão processar 764.000 t de resíduos (55%-60% do RSU total da ilha) e produzir um total de 65 MW de eletricidade. Como espera-se que as plantas vão funcionar aproximadamente 7.150 horas/ano, elas vão fornecer 465.000 MWh para a rede elétrica, o que é equivalente a cerca de 7% do consumo de energia elétrica da Jamaica.

A Petroleum Corporation of Jamaica (PCJ) já lançou editais e selecionou a companhia, sediada em Miami, Cambridge Project Development Company Inc., para formar uma joint venture com a PCJ. A joint venture vai financiar, construir, ser proprietária e operar as duas instalações WTE. Atualmente as partes envolvidas neste projeto estão negociando e o esquema de financiamento proposto é uma parceria público-privada e um empréstimo bancário para 80% do custo de capital. As receitas propostas para

estas duas instalações serão a venda de eletricidade através Acordo de Compra de Energia com o Serviço Público da Jamaica, e uma taxa de despejo a ser negociada com a NSWMA.

Este projeto ainda será implantado, mas é interessante notar que, como nos casos das ilhas discutidos antes, se se concretizar, a Jamaica vai avançar de uma situação de lixões para a de WTE sem o passo intermediário de aterramento sanitário, e também com a vantagem de ter um sistema de coleta relativamente organizado. Deve-se notar também que, muito embora a melhoria da gestão de resíduos da Jamaica seja um objetivo importante do projeto, a principal motivação para a construção de duas unidades WTE é o aumento das fontes locais de energia.

### **10.6 Conclusões para a Aplicação do WTE em ilhas**

As ilhas têm uma quantidade crescente de resíduos, espaço limitado, fontes muito limitadas ou inexistentes de energia, e em alguns casos, recursos inadequados de água potável. Estas condições levam a oportunidades para o avanço, do aterro ao WTE.

Em todos os casos analisados neste estudo o uso de lixões para a disposição de resíduos é, ou costumava ser, uma prática comum. Os governos estão agora cientes das consequências ambientais de tais práticas e estão tentando melhorar os seus sistemas de gestão de resíduos. É usualmente recomendado melhorar um sistema de gestão de resíduos um passo de cada vez, ou seja, ir de lixões para aterros sanitários, e então passar para a geração de energia a partir de resíduos. Entretanto é interessante notar que em algumas ilhas eles pularam o passo do aterramento sanitário e foram diretamente dos lixões para o WTE. Este fenômeno pode ser parcialmente atribuído à escassez de terras e parcialmente ao desejo de desenvolver fontes de energia locais e renováveis. Portanto, o WTE representou uma solução para o problema de resíduos das ilhas e também aliviou a carga na questão da energia.

A Tabela 51 apresenta um sumário do PIB e a geração de resíduos per capita das quatro ilhas discutidas nesta seção.

**Tabela 51 PIB e geração de resíduo per capita**

<b>Ilha</b>	<b>PIB per capita (US\$)</b>	<b>Geração de resíduos per capita (t/ano)</b>
<b>Bermuda</b>	86.758	1,46
<b>Martinica</b>	24.908	0,92
<b>Saint Barth</b>	35.100	1,22
<b>Jamaica</b>	8.500	0,52

As três ilhas onde o WTE foi implantado com sucesso (Bermuda, Martinica e Saint Barth) têm uma maior taxa de geração de resíduos e também um maior PIB per capita do que a Jamaica. De fato, todas as ilhas membros do BID têm um PIB per capita mais baixo que o destas ilhas, com a exceção das Bahamas, que tem um PIB per capita que a Martinica e considerando que a Bermuda tem um dos maiores PIBs do mundo. Entretanto estas três ilhas são territórios de nações altamente desenvolvidas com

*longa experiência com os benefícios do WTE. Portanto, o governo local tinha a seu dispor o “know-how” e os recursos econômicos do país mãe.*

*Construir uma instalação WTE em um país em desenvolvimento pode ser complicado, pois o país pode ter outras prioridades antes da gestão de resíduos. Além disso, no caso das ilhas onde o uso de lixões é ainda o método principal de disposição de resíduos, as taxas de despejo são baixas ou não existentes; desta forma a alternativa WTE iria parecer muito custosa. É, portanto, muito importante garantir que a WTE proposta será muito eficiente energeticamente e que tanto a eletricidade e o vapor sejam usados para fornecer uma fonte de energia local e renovável.*

## Referências para a Aplicação de WTE em Ilhas

---

<sup>78</sup> CIA – The World Factbook. Disponível em: [www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/](http://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/)

<sup>79</sup> UK Trade and Investment. Disponível em: [www.ukti.gov.uk/export/countries/asiapacific/neareast/israel/localisation/112756.html](http://www.ukti.gov.uk/export/countries/asiapacific/neareast/israel/localisation/112756.html)

<sup>80</sup> The World Bank, “Population density”, (acesso Janeiro 23, 2011). Disponível em <http://data.worldbank.org>

<sup>81</sup> Government of Bermuda, Department of Statistics, Facts and Figures 2010. Dezembro 2010.

<sup>82</sup> Sustainable Development (Government of Bermuda), “Waste volumes”, (acesso Janeiro 23, 2011). Disponível em <http://www.sdbermuda.bm/case-studies/waste-volumes>

<sup>83</sup> Government of Bermuda, Ministry of the environment, “State of the Environment Report”, 2005.

<sup>84</sup> Government of Bermuda, Ministry of Energy, Telecommunications and E-Commerce, Energy Green Paper, ANational Policy Consultation on Energy. Fevereiro 6, 2009.

<sup>85</sup> Tynes Bay Waste Treatment Facility (accessed Jan 25, 2011). Disponível em <http://www.rossgo.com/Tynes%20Bay/Incinerator.html>.

<sup>86</sup> Government of Bermuda, Ministry of Works and Engineering, “Tynes Bay Waste Treatment Facility Annual Environmental Report”, 2005, 2007, 2008, e2009

<sup>87</sup> Official Website of The Martinique Tourism Authority (accessed Fevereiro 7, 2011). Disponível em <http://www.martinique.org>

<sup>88</sup> UNdata, Martinique (acesso Fevereiro 7, 2011). Disponível em <http://data.un.org/CountryProfile.aspx?crName=Martinique>

<sup>89</sup> National Institute of Statistics and Economic Studies, France. Disponível em <http://www.insee.fr/fr/regions/martinique/default.asp>

<sup>90</sup> Conseil General de la Martinique, “Agenda 21 Martinique : axes stratégiques et orientations 2007 – 2013”. Disponível em [http://www.cg972.fr/site/telechargement/pdf/agenda21\\_gestion\\_dechets.pdf](http://www.cg972.fr/site/telechargement/pdf/agenda21_gestion_dechets.pdf)

<sup>91</sup> Communauté d'Agglomération du Centre de la Martinique, “L'Unité de Traitement et de Valorisation des Déchets” (folheto de informação WTE).

<sup>92</sup> *Power Plants Around the world*. Disponível em <http://www.industcards.com/wte-other.htm>

<sup>93</sup> *Waste Management Martinique* (acesso Fevereiro 8, 2011). Disponível em <http://tpelac.e-monsite.com>

<sup>94</sup> *Groupe Tiru website* (acesso Fevereiro 5, 2011). Disponível em <http://www.tiru.fr/spip.php?article99>

<sup>95</sup> *St. Barth Tourism website* (acesso Fevereiro 5, 2011). Disponível em [http://www.saintbarthtourisme.com/page\\_articles\\_us.php/water\\_production\\_st\\_barth.html](http://www.saintbarthtourisme.com/page_articles_us.php/water_production_st_barth.html)

<sup>96</sup> *Groupe Tiru, "Saint-Barthelemy Indicator sheet"* (acesso Janeiro 25, 2011). Disponível em <http://www.tiru.fr/IMG/pdf/stbarthelemy.pdf>

<sup>97</sup> *Statistical Institute of Jamaica* (acesso Janeiro 25, 2011). Disponível em <http://statinja.gov.jm>

<sup>98</sup> *Jamaica Petroleum Corporation, "Western Renewables Waste to Energy Thermal Treatment Plant – Project Brief 1"*. 2010.

<sup>99</sup> *Smith, Ianthe, National Solid Waste Management Authority, "The National Solid Waste Management Authority Purpose & Scope of Work"*, Maio 11, 2003.

<sup>100</sup> *Government of Jamaica, Ministry of Energy and Mining, "National Energy-from-Waste Policy 2010-2030"*. Outubro 4, 2010 (Esboço).

<sup>101</sup> *Jamaica Information Service, "Ban on Scrap Metal Trade"*, Abril 26, 2010 (acesso Janeiro 29, 2011). Disponível em [http://www.jis.gov.jm/news/107-industry-investment-commerce/23742-commerce\\_science-ban-onscrap-metal-trade](http://www.jis.gov.jm/news/107-industry-investment-commerce/23742-commerce_science-ban-onscrap-metal-trade)

<sup>102</sup> *National Solid Waste Management Authority* (acesso Janeiro 29, 2011). Disponível em <http://www.nswma.gov.jm/about.htm>

<sup>103</sup> *Jamaica Petroleum Corporation, "Eastern Renewables Waste to Energy Thermal Treatment Plant – Project Brief 2"*. 2010.

## ***Lista de acrônimos usados***

*ACE: Acordo de Compra de Energia*

*ALC: Região da América Latina e Caribe*

*BID: Banco Interamericano de Desenvolvimento (Patrocinador deste Guia WTE)*

*CPA: Sistema de controle de poluição do ar usado para limpar o gás do processo WTE*

*EEC: Earth Engineering Center da Universidade de Columbia ([www.eecny.org](http://www.eecny.org)), autor do Guia WTE*

*ETR: Estação de transferência de resíduos onde a carga dos caminhões de coleta é transferida para caminhões de baldeio de longa distância*

*ICA: Injeção de carvão ativado para remover moléculas orgânicas e inorgânicas de gases de processo*

*MDL: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo*

*OECD: Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico*

*PCI: Poder calorífico inferior de um combustível; não inclui o calor de condensação do vapor d'água presente nos gases de combustão*

*PIB: Produto Interno Bruto*

*RSU: Resíduos sólidos urbanos; todos os resíduos sólidos gerados em uma cidade, exceto resíduos de construção e demolição*

*SCR: Selective catalytic reduction ou redução catalítica seletiva dos compostos de NO<sub>x</sub> no gás de processo do WTE*

*SNCR: Selective non-catalytic reduction ou redução não-catalítica seletiva dos compostos de NO<sub>x</sub> no gás de processo do WTE*

*TIR: Taxa interna de retorno de um investimento*

*TMB: Tratamento mecânico biológico do RSU consistindo de bioreação ou biosecagem dos orgânicos naturais do RSU e a separação do RSU em composto reciclável e frações de RDF (Refuse Derived Fuel - combustível derivado de refugos)*

*VPL: Valor presente líquido de um investimento*

*WTE: Waste to energy ou processo de geração de energia a partir do conteúdo energético de resíduos*