

3^{as}

**Jornadas
Politécnicas
de Engenharia
19 e 20 de Novembro de 2003**

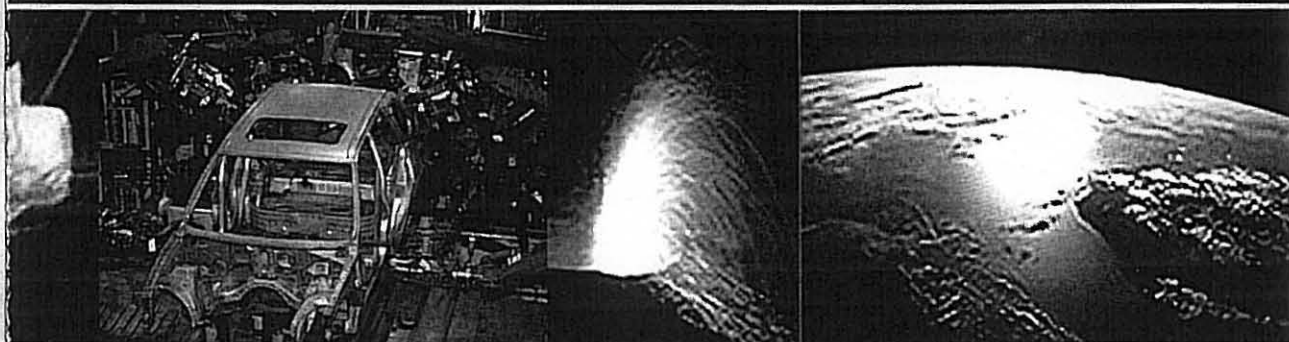
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
Instituto Politécnico de Coimbra

Escola Superior de Tecnologia de Setúbal
Instituto Politécnico de Setúbal

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria
Instituto Politécnico de Leiria

Livro de Comunicações

**Mecânica, Automóvel, Organização
e Gestão Industrial, Energia e Ambiente**



Instituto Politécnico de Coimbra

O TRATAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM TÓQUIO: A INCINERADORA DE TOSHIMA

Rui Lima¹, Helder Gomes¹, Nelson Rangel¹, Kiyoshi Itano²

¹ Escola Superior de Tecnologia e de Gestão – Campus de Santa Apolónia
Apartado 134, 5301-857 Bragança – Portugal
ruimec@ipb.pt

² Tokyo Electric Power, Environmental Engineering, Co., Inc., 9-4 Aoyama-Cho
Kashiwazaki-Shi, Niigata-Ken 945-0321, Japan

Resumo

Em países como o Japão, a Suíça, a Holanda e a Bélgica, a incineração com recuperação de energia constitui uma opção fundamental na gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSUs) devido essencialmente à elevada densidade populacional e à limitação de espaço apropriado para a construção de aterros sanitários. Assim, estes países apesar de terem uma política bastante forte na reciclagem dos RSUs, reconhecem que a incineração com recuperação de energia é uma das opções mais viáveis na gestão do grande volume de resíduos gerados pelas grandes metrópoles, como é o caso de Tóquio.

O objectivo principal deste artigo é fazer uma breve descrição da gestão dos RSUs da cidade de Tóquio assim como investigar e analisar a incineradora de Toshima, a primeira incineradora do município de Tóquio a utilizar a combustão em leito fluidizado para incinerar RSUs.

A incineradora de Toshima, situada na cidade de Tóquio, é um exemplo típico da política implementada pelas autarquias Japonesas. De facto, apesar desta incineradora utilizar uma tecnologia com benefícios mais que comprovados no que respeita ao elevado rendimento térmico na combustão dos RSUs, a razão principal para a construção desta incineradora deveu-se essencialmente às pequenas dimensões da câmara de combustão de leito fluidizado quando comparadas com a câmara de combustão para a queima tradicional dos RSUs em fornalha.

Palavras-Chave: Gestão de RSUs, Incineração, Combustão em leito fluidizado, Recuperação de energia, Incineradora de Toshima.

3^{as} Jornadas
Politécnicas
de Engenharia
19 e 20 de Novembro de 2003
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra



Mecânica, Automóvel,
Organização e Gestão Industrial,
Energia e Ambiente



O Tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos em Tóquio: A Incineradora de Toshima

Rui Lima¹, Helder Gomes¹, Nelson Rangel¹, Kiyoshi Itano²

¹ Instituto Politécnico de Bragança (IPB), Escola Superior de Tecnologia e de Gestão (ESTiG), Campus de Santa Apolónia, Apartado 134, 5301-857, Bragança, Portugal, ruimec@ipb.pt

² Tokyo Electric Power, Environmental Engineering Co.,Inc., 9-4 Aoyama-Cho, Kashhiwazaki-Shi, Niigata-Ken 945-0321, Japan

RESUMO

Em países como o Japão, a Suíça, a Holanda e a Bélgica, a incineração com recuperação de energia constitui uma opção fundamental na gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSUs) devido essencialmente à elevada densidade populacional e à limitação de espaço apropriado para a construção de aterros sanitários. Assim, estes países apesar de terem uma política bastante forte na reciclagem dos RSUs, reconhecem que a incineração com recuperação de energia é uma das opções mais viáveis na gestão do grande volume de resíduos gerados pelas grandes metrópoles, como é o caso de Tóquio.

O objectivo principal deste artigo é fazer uma breve descrição da gestão dos RSUs da cidade de Tóquio assim como investigar e analisar a incineradora de Toshima, a primeira incineradora do município de Tóquio a utilizar a combustão em leito fluidizado para incinerar RSUs.

A incineradora de Toshima, situada na cidade de Tóquio, é um exemplo típico da política implementada pelas autarquias Japonesas. De facto, apesar desta incineradora utilizar uma tecnologia com benefícios mais que comprovados no que respeita ao elevado rendimento térmico na combustão dos RSUs, a razão principal para a construção desta incineradora deveu-se essencialmente às pequenas dimensões da câmara de combustão de leito fluidizado quando comparadas com a câmara de combustão para a queima tradicional dos RSUs em fornalha.

Palavras-Chave: Gestão de RSUs; Incineração; Combustão em leito fluidizado; Recuperação de energia; Incineradora de Toshima.

1. INTRODUÇÃO

A utilização dos resíduos de forma sustentada deve passar pela recuperação da energia neles contida antes de serem depositados num aterro sanitário. Assim, apesar de ser imperativo que muitos dos resíduos sejam reutilizados e reciclados, estes processos resultam inevitavelmente na degradação das suas propriedades físicas, sendo, nestes casos, a incineração com recuperação de energia uma opção a considerar. Vários países como o Japão, Suíça, Holanda, Bélgica e países escandinavos, apesar de defenderem uma política de reciclagem, reconhecem que a incineração com recuperação de energia é uma das opções mais viáveis na gestão do grande volume de resíduos sólidos urbanos (RSUs) gerados pelas sociedades de consumo das grandes metrópoles [1, 2].

O Japão conta com uma excelente reputação a nível científico e tecnológico no domínio da gestão dos RSUs. Esta reputação, reconhecida a nível mundial, deve-se essencialmente à elevada investigação científica desenvolvida por várias instituições e empresas, por forma a minimizar o problema da gestão do grande volume de RSUs gerados nas grandes cidades, como é caso de Tóquio.

No Japão, a incineração com recuperação de energia constitui uma opção fundamental na gestão dos RSUs, devido essencialmente à elevada densidade populacional e à limitação de espaço apropriado para a construção de aterros sanitários. Apesar da incineração ser uma opção indispensável no país do sol nascente, os nipónicos têm realizado programas bastante extensos no âmbito da reciclagem (política dos 3Rs) por forma a reduzir a quantidade de RSUs produzidos pela população. Neste sentido, em termos gerais, a taxa de reciclagem aproxima-se dos 50%, sendo muito análoga à taxa dos Estados Unidos da América e da Alemanha [2 - 5].

A composição dos RSUs permite dar uma perspectiva do nível de desenvolvimento industrial e comercial de um país ou de uma cidade. Segundo um estudo realizado por Hunsiker *et al.* [3], que comparou a composição dos RSUs de vários países desenvolvidos e subdesenvolvidos, países como a China e a Índia com índices de desenvolvimento bastante baixos, têm pequenas quantidades de papel, plásticos, vidros e metais na composição dos RSUs. Contudo, países como o Japão e os Estados Unidos da América com índices de desenvolvimento industrial e comercial bastante elevados têm quantidades elevadas deste tipo de materiais nos seus RSUs (ver tabela 1).

País	Quantidade RSUs (10 ⁶ tons)	Papel (% peso)	Plásticos (% peso)	Vidro (% peso)	Metais (% peso)	Resíduos de Comida (% peso)	Têxteis (% peso)	Outros (% peso)
Japão	50,2	37	15	-	5	16	7	20
USA	207	41	6	8	9	26	8	2
China	-	5	1	1	1	45	1	46
Índia	-	3	-	1	1	36	4	50
Portugal	2,4	23	4	3	4	60	-	6
Bélgica	3,5	30	4	8	4	45	-	9
UK	29	34,8	11,3	9,1	7,3	19,8	2,2	15,5

Tabela 1 – Composição dos RSUs de vários países [3, 5, 6].

Estimativas de estudos realizados no ano de 1991, concluíram que o Japão, com a sua política bastante rigorosa de “minimização de resíduos” passou de uma produção anual de 50 milhões de toneladas de RSUs para 36 milhões de toneladas [4]. Actualmente, a quantidade de RSUs gerados pelos Japoneses está a decrescer gradualmente devido essencialmente à recessão económica e às campanhas de sensibilização, por parte das autarquias, por forma a reduzir os resíduos produzidos [2, 5].

Após a recolha dos RSUs, aproximadamente 74% deles são incinerados com o intuito principal de reduzir o volume a cerca de um décimo do inicial. Desta forma os resíduos (escórias e cinzas volantes) provenientes das incineradoras são cerca de 6 milhões de toneladas, que são posteriormente tratados dando cumprimento ao decreto-lei implementado pelo governo japonês em 1991 sobre a gestão dos resíduos provenientes das incineradoras [2, 7]. Depois da destruição completa de todos os poluentes existentes nas cinzas, estas são depositadas nos aterros sanitários sem qualquer tipo de constrangimento ambiental. É o grupo de investigação japonês intitulado “Comissão Científica para a Redução de Resíduos” que tem como função estudar a redução da quantidade de resíduos depositados nos aterros sanitários e potenciar, no futuro, a sua utilização na construção civil, minimizando assim a construção de mais aterros sanitários [2, 4, 7].

O Japão, devido essencialmente à escassez de terreno apropriado para a construção de aterros sanitários, tornou-se naturalmente no país, a nível mundial, que possui o maior número de incineradoras em actividade. Em termos gerais, as autarquias optaram por construir as incineradoras junto das zonas residenciais e comerciais por forma a minimizar o custo do transporte dos resíduos, pois, segundo vários investigadores, o custo da recolha e transporte dos mesmos representa cerca de 65% do custo total. Desta forma, devido à limitação de espaço, as incineradoras são geralmente pequenas e conseqüentemente tanto a capacidade de processamento como a potência das mesmas são em geral baixas [3, 8].

A incineradora de Toshima, situada no interior de Tóquio, é um exemplo típico da política implementada pelas autarquias Japonesas. De facto, apesar desta incineradora utilizar uma tecnologia com benefícios mais que comprovados no que respeita ao elevado rendimento térmico na combustão dos RSUs, segundo o Eng.º Tahara (técnico responsável da incineradora de Toshima), a razão fundamental para a construção desta incineradora, deveu-se essencialmente às pequeníssimas dimensões da câmara de combustão de leito fluidizado quando comparada com a câmara de combustão para a queima tradicional dos RSUs em fornalha.

Tal como no resto do mundo, os residentes locais e especialmente os grupos ambientalistas japoneses são os principais obstáculos ao desenvolvimento deste tipo de tecnologia. Neste sentido, tanto as autarquias como as empresas responsáveis pela gestão das incineradoras promovem um certo número de medidas por forma a melhorar a sua reputação e aceitação por parte da população que reside nas vizinhanças da incineradora. Uma das medidas com maior sucesso tem sido a construção de espaços educacionais e de entretenimento (piscinas cobertas, “courts” de ténis, etc) junto às incineradoras, utilizando, por exemplo, a energia proveniente da queima dos RSUs para climatização das piscinas cobertas. Por outro lado, com o intuito de aumentar o nível de confiança no que respeita à emissão de poluentes para a atmosfera, a incineradora coloca na “internet” ou em placares electrónicos as leituras sistemáticas de todas as emissões poluentes [3].

2. A GESTÃO DOS RSUs EM TÓQUIO

A cidade de Tóquio sendo a capital do Japão é, por inerência, o local mais importante do país em termos políticos, económicos e culturais. Esta metrópole tem cerca de 12 milhões de habitantes com mais de 8 milhões de residentes numa área de apenas 621 km² (“Ku Área”), situada no centro de Tóquio. Conforme se pode verificar na Figura 1, esta

cidade é constituída principalmente por 23 localidades, designadas “Ku Área”, que representam cerca de 70% da população de Tóquio. A elevada densidade populacional do centro de Tóquio, com a agravante das ruas serem bastantes estreitas, constitui um problema de grandes proporções no âmbito da gestão dos RSUs. Neste contexto, o município de Tóquio tem vindo a implementar um determinado número de medidas por forma a reduzir a quantidade de RSUs gerados. Um bom exemplo é a implementação da política dos “3Rs” (reduzir, reutilizar e reciclar) no quotidiano dos habitantes de Tóquio [9].

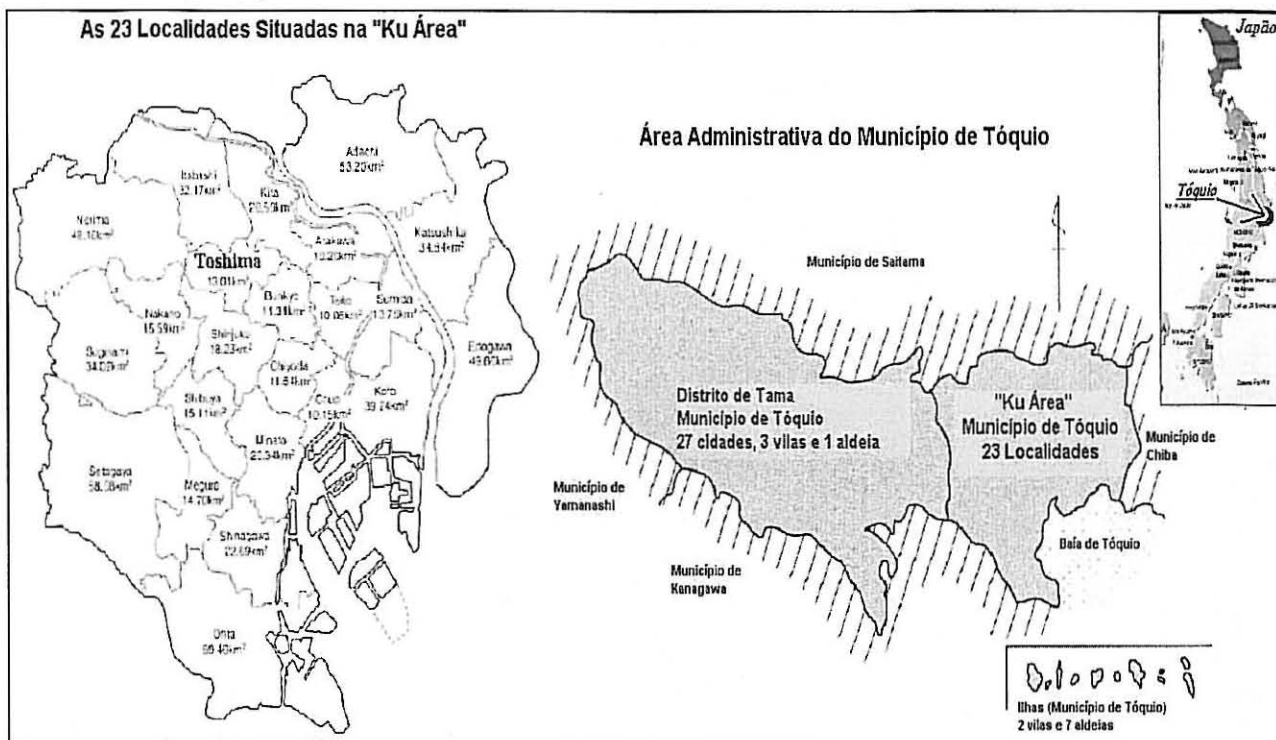


Figura 1 – As 23 localidades, designadas por “Ku Área”, que se situam no centro de Tóquio [3].

Em termos geográficos a capital do sol nascente é uma cidade plana. No entanto, como é rodeada por montanhas e mar, a área destinada à construção de aterros sanitários é bastante limitada, sendo esta uma das principais razões para a política adoptada na gestão dos RSUs pelo município de Tóquio. Desta forma, o tratamento destes resíduos, antes de serem encaminhados para aterros sanitários, consiste essencialmente na incineração com recuperação de energia [5, 9].

A quantidade de RSUs, gerados pelos habitantes da “Ku Área” é de cerca de 3,6 milhões de toneladas, ou seja, uma área de apenas 621 km² gera mais resíduos do que Portugal. No entanto, como é possível verificar na Figura 2, a quantidade de resíduos recolhidos em 1989 aproximou-se dos 5 milhões de toneladas. Este elevado número de resíduos deveu-se essencialmente ao desenvolvimento económico que proporcionou um aumento do poder de compra dos japoneses e um “boom” na construção civil. A partir de 1990, com o colapso da economia japonesa, a crescente preocupação com o problema dos RSUs e a consequente campanha da “redução de resíduos”, a quantidade de resíduos recolhidos no centro de Tóquio tem diminuído gradualmente [9].

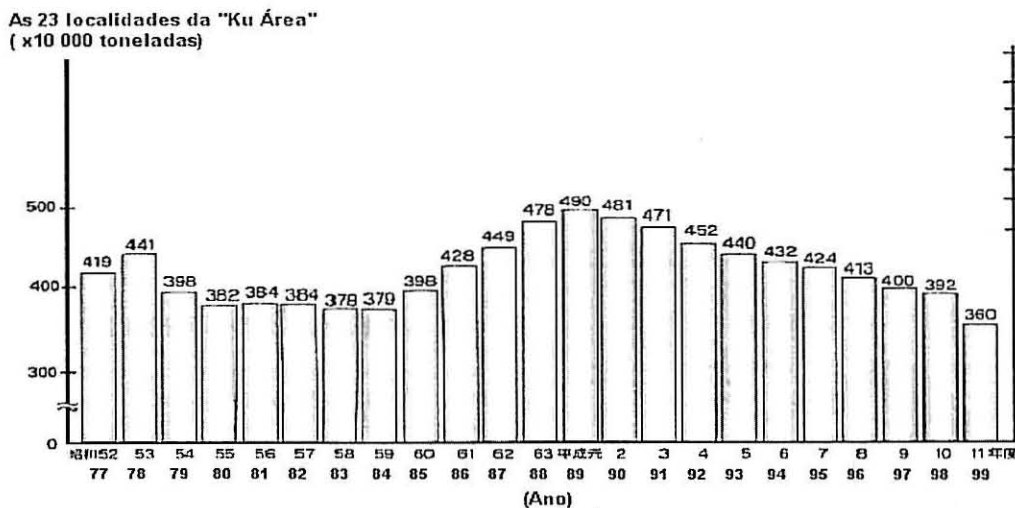


Figura 2 – A quantidade de RSUs gerados na “Ku Área” ao longo de duas décadas [10].

2.1. A RECOLHA DOS RSUs EM TÓQUIO

A característica principal da recolha dos RSUs é a separação dos mesmos de acordo com uma classificação pré-definida pelo município de Tóquio (ver Figura 3). Assim, os residentes separam os resíduos combustíveis dos não combustíveis com o auxílio de pequenos contentores ou sacos plásticos semi-transparentes. Após esta separação os residentes colocam os RSUs em locais apropriados nos dias designados pelo município para a recolha dos resíduos. Para o caso particular dos RSUs de grandes dimensões os residentes têm que telefonar à empresa responsável pela recolha por forma a combinar um dia que seja compatível para as duas partes. Esta classificação visa essencialmente o aumento do rendimento na triagem e na combustão dos resíduos, proporcionando desta forma a redução dos custos de tratamento, assim como o aumento do índice de reciclagem e de reutilização dos RSUs [8, 9].

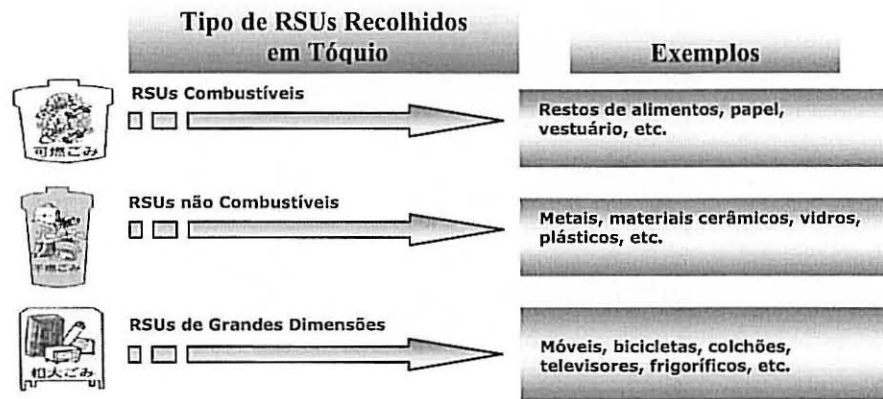


Figura 3 – Tipo de RSUs recolhidos na cidade de Tóquio [9, 10].

Em termos gerais, e como já referido anteriormente, todas cidades japonesas são constituídas por ruas bastante estreitas, o que dificulta a circulação de camiões de grandes dimensões. O centro de Tóquio (“Ku Área”) não é excepção, o que obriga a que cerca de 90% dos camiões, usados para a recolha RSUs, tenham uma capacidade volumétrica de apenas 4 m³. Em Tóquio as estações de tratamento ficam bastante próximas dos pontos de recolha dos resíduos. No entanto, no caso da distância ser grande, os resíduos são numa primeira fase armazenados em contentores e, posteriormente, transferidos para camiões e navios de grandes dimensões. Este tipo de política permite minimizar o custo do transporte dos RSUs para as respectivas estações de tratamento [5, 8, 9].



Figura 4 – Recolha dos RSUs na cidade de Tóquio [10].

Conforme se ilustra no diagrama da Figura 5, os resíduos combustíveis são transportados directamente para a incineradora correspondente à localidade da recolha. Os resíduos não combustíveis e de grandes dimensões são transportados para estações de tratamento especiais. Nestas estações os resíduos são pulverizados e separados, por forma a recuperar materiais passíveis de serem reciclados. Os restantes materiais são incinerados, sendo as escórias e as cinzas provenientes do processo de incineração tratadas convenientemente por forma a serem encaminhadas para os aterros sanitários sem qualquer tipo de constrangimento ambiental. De salientar que o tratamento das escórias e das cinzas é de extrema importância já que o Japão é um dos países onde é obrigatório por lei o tratamento dos resíduos tóxicos provenientes das incineradoras [9, 11].

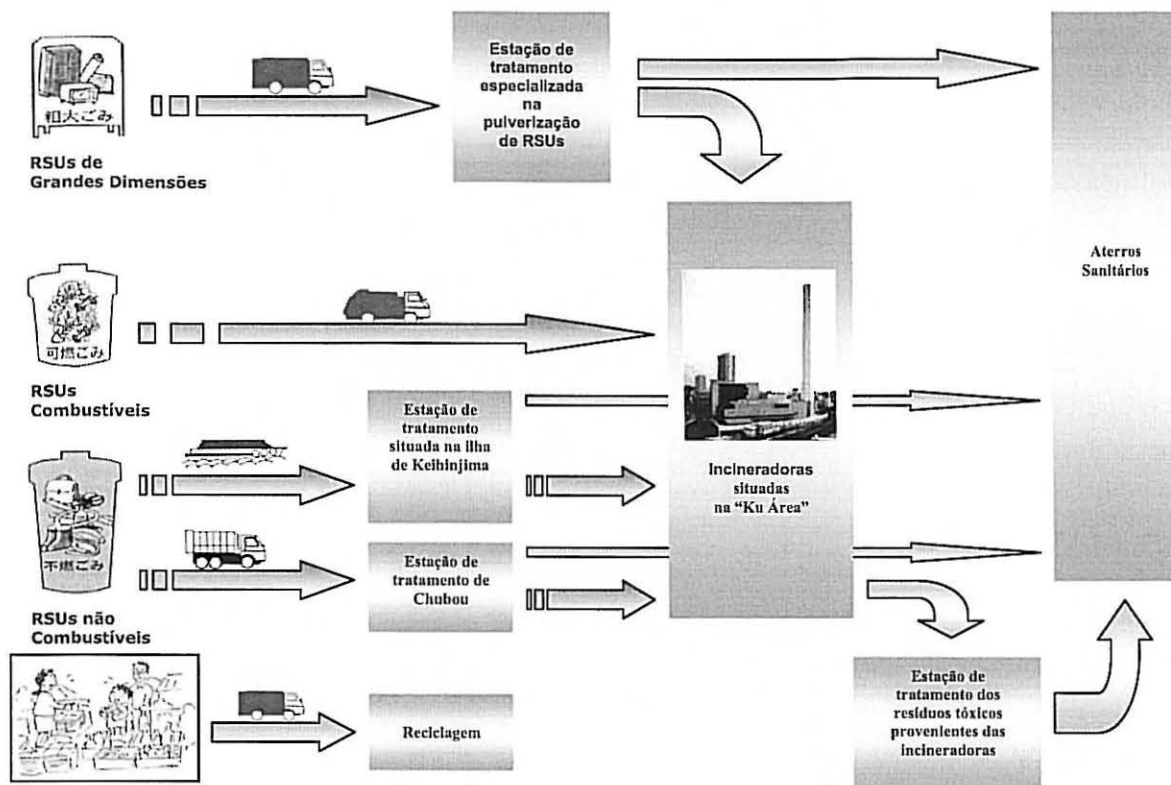


Figura 5 – Diagrama dos RSUs na “Ku Área”, em Tóquio [9, 10].

O Japão possui cerca de 1900 incineradoras, para o tratamento de RSUs, a operar nas quatro ilhas principais. No caso particular da capital, existem 19 incineradoras em actividade situadas na “Ku Área”. Nesta área é possível encontrar em funcionamento incineradoras clássicas (“mass-burn”), bem como incineradoras ao nível piloto, como é o caso da incineradora de Toshima [9].

Na Tabela 2 é possível observar um resumo de algumas das características técnicas das incineradoras em actividade situadas nas 23 localidades da “Ku Área”.

Nome da Incineradora	Data de início de Funcionamento	Área (m ²)	Tipo de Incineradora	Capacidade de processamento (t/24h)	Quantidade de RSUs Incinerados (t/dia)	Potência (kW)
Setagaya	1969	27 000	Hitachi Zosen (Von Roll)	900 (300t×3)	540	2 500
Ohi	1973	54 000	Hitachi Zosen (Von Roll)	1 200 (300t×4)	880	2 600
Katsushika	1976	52 000	Mitsubishi (Martin)	1 200 (400t×3)	1 080	13 200
Adachi	1977	34 000	Hitachi Zosen (Von Roll)	500 (250t×2)	440	6 290
Sugunami	1982	36 000	NKK Corp (Volund)	900 (300t×3)	600	6 000
Hikarigaoka	1983	23 000	Mitsubishi (Martin)	300 (150t×2)	300	4 000
Ohta N°1	1990	46 000	Takuma (HN)	600 (200t×3)	600	12 000
Ohta N°2	1990	46 000	Hitachi Zosen	600 (200t×3)	420	15 000
Meguro	1991	29 000	NKK Corp (Volund)	600 (300t×2)	600	11 000
Nerima	1992	15 000	Kawasaki (Sun)	600 (300t×2)	460	1 500
Ariake	1995	24 000	Mitsubishi (Martin)	400 (200t×2)	400	5 600
Chitose	1996	17 000	Kawasaki (Sun)	600 (600t×1)	600	12 000
Edogawa	1997	27 000	NKK Corp (Volund)	600 (300t×2)	600	12 300
Sumida	1998	18 000	Hitachi Zosen (Von Roll)	600 (300t×1)	600	13 000
Kita	1998	16 000	Mitsubishi (Martin)	600 (300t×1)	600	11 500
Sinkoto	1998	61 000	Takuma (HN)	1 800 (600t×3)	1 800	50 000
Minato	1999	29 000	Mitsubishi (Martin)	900 (300t×3)	600	22 000
Toshima	1999	12 000	Ishikawajima-Harima (Leito Fluidizado)	400 (200t×2)	400	7 800
Sibuya	2002	8 000	Ebara (Leito Fluidizado)	200 (200t×1)	200	4 200
Chuo	2002	29 000	Hitachi Zosen (Von Roll)	600 (300t×2)	600	15 000

Tabela 2 – As incineradoras em actividade na “Ku Área” [9].



Figura 6 – As incineradoras situadas nas 23 localidades, designadas por “Ku Área”, em Tóquio [9].

2.2. A INCINERADORA DE TOSHIMA

A incineradora de Toshima (Figura 7) é considerada uma incineradora piloto na cidade de Tóquio, uma vez que foi projectada tendo em conta os resultados experimentais bastante promissores obtidos pelas incineradoras de lamas de estações de tratamento de águas residuais. A tecnologia utilizada é conhecida por incineração de leito fluidizado e tem vindo a aumentar a sua popularidade a nível mundial, devido essencialmente à sua elevada eficiência ao nível da combustão e à redução da quantidade de poluentes emitidos para a atmosfera [8, 12]. Aliado a estas vantagens, as incineradoras de leito fluidizado necessitam de muito menos espaço para a sua instalação do que as incineradoras clássicas. A localidade de Toshima encontra-se no centro de Tóquio, não dispondo por isso de grandes espaços disponíveis. Dadas as vantagens referidas e as restrições geográficas da área foi adoptada para a incineradora de Toshima a tecnologia de leito fluidizado.



Figura 7 – A incineradora de Toshima.

A incineradora de Toshima que entrou em funcionamento em Julho de 1999, tem capacidade de tratamento de 400 toneladas de RSUs por dia (2 incineradores com capacidade de 200 toneladas por dia) e 7,8 MW de potência [9, 13, 14]. As características que tornam esta unidade aceitável pelos residentes locais é a sua grande preocupação com as questões ambientais, principalmente no que toca às medidas de redução de dioxinas (Tabela 3), e ao elevado aproveitamento energético que consegue atingir, sendo colocado ao dispor da população.

Legislação	Incineradora de Toshiba
Temperatura de combustão min.: 800°C	Min. 850°C Tempo de retenção de gás mínimo: 2 s
Concentração CO Max. à saída: 50 ppm	Max.: 50 ppm
Temperatura min. dos gases à entrada do filtro de mangas: < 200°C	150°C
-	Reacção simultânea de desnitrificação e decomposição, usando um catalisador de decomposição baseado num catalisador de desnitrificação

Tabela 3 – Medidas para a redução de dioxinas [15].

Na Figura 8 pode-se observar o diagrama de processo da incineradora de Toshiba. Os RSUs chegam à incineradora transportados por camiões, que os descarregam num tanque de acumulação, onde são temporariamente armazenados antes de serem incinerados. A incineradora possui detalhes técnicos que impedem os odores presentes no tanque de acumulação de escaparem para o exterior. Os portões que separam a zona de descarga dos camiões do tanque de acumulação só são abertos durante a descarga, minimizando o impacto dos cheiros gerados pelos RSUs. Mas, o que torna a incineradora estanque é a sua cortina de ar e os sistemas de controlo de pressão de ar. A cortina de ar consiste num sistema que sopra constantemente ar, impedindo os odores que se formam no interior da incineradora de passar para o exterior. O sistema de controlo de pressão de ar consiste na redução da pressão no interior. Sendo a pressão do ar exterior superior, este irá entrar na incineradora, impedindo os cheiros de se escaparem.

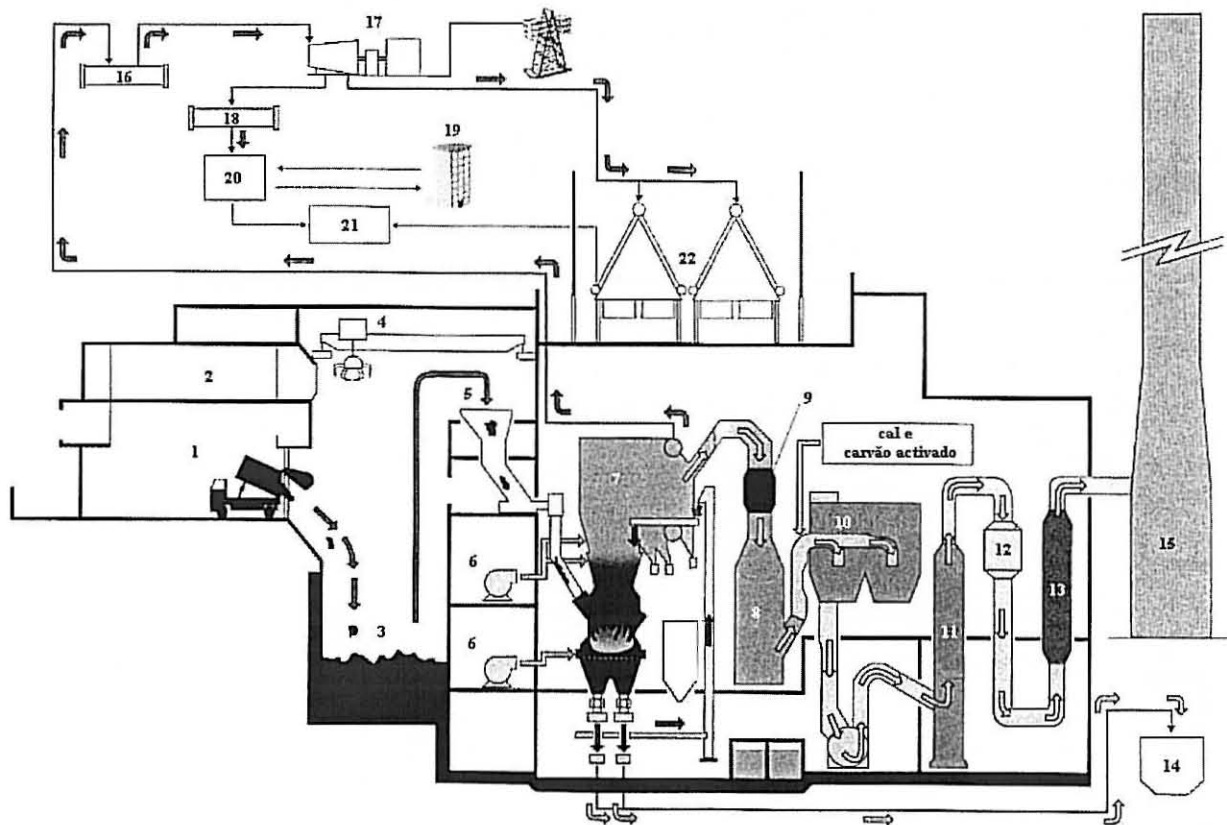


Figura 8 – Diagrama de processo da incineradora de Toshiba [16]. 1- Plataforma; 2- Sala de controlo; 3- Tanque de acumulação; 4- Guindaste; 5- Alimentador de RSUs; 6- Ventiladores de ar primário e secundário; 7- Caldeira; 8- Unidade de arrefecimento de gases; 9- Economizador; 10- Filtro mangas; 11- Unidade de lavagem de gases; 12- Unidade de aquecimento de gases; 13- Reactor DeNOx; 14- Depósito de cinzas; 15- Chaminé; 16- Acumulador de vapor de alta pressão; 17- Turbina de vapor; 18- Permutador de calor; 19- “Health Plaza Toshiba”; 20- Unidade de gestão de aquecimento interno e externo; 21- Tanque de condensação; 22- Condensador

Do tanque de acumulação os RSUs são posteriormente enviados ao alimentador de resíduos do incinerador com o auxílio de um guindaste de transporte de resíduos controlado através de uma sala de operação com vista para o tanque de acumulação e para o alimentador de resíduos. Os resíduos são incinerados num incinerador de leito fluidizado a 850°C, libertando energia sob a forma de calor. Esta energia é utilizada numa caldeira para a produção de vapor, que é posteriormente utilizado na produção de energia eléctrica e no fornecimento de calor (Figura 9). A energia eléctrica produzida no processo é usada no funcionamento de toda a incineradora, havendo ainda um excesso de electricidade

que é vendida à companhia eléctrica de Tóquio. A água quente é fornecida ao edifício vizinho Health Plaza Toshiba, um edifício de escritórios contendo um centro de lazer com piscina aquecida (Figura 10).

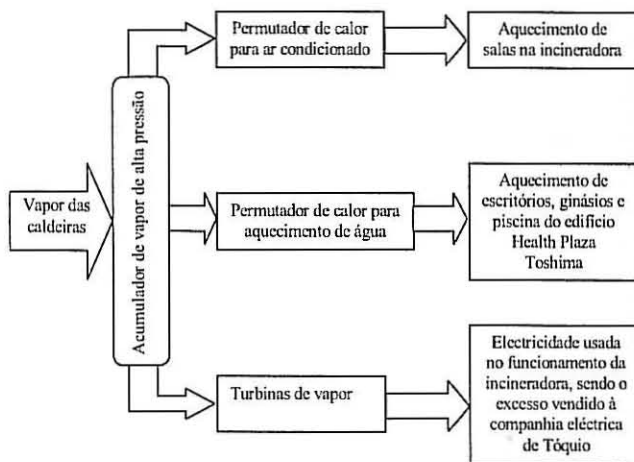


Figura 9 – Recuperação de energia na incineradora de Toshiba [15].



Figura 10 – Piscina aquecida do Health Plaza Toshiba.

Os gases de exaustão resultantes do processo de incineração, depois de saírem da caldeira, são enviados a uma unidade de arrefecimento de gases onde a sua temperatura é reduzida para proteger os filtros de mangas utilizados na remoção de partículas e aumentar a eficiência de remoção de poluentes. Antes da passagem dos gases de exaustão na unidade de arrefecimento, estes passam num economizador com o objectivo de aumentar a eficiência energética do processo pelo aquecimento da água enviada à caldeira. O filtro de mangas remove também ácido clorídrico, óxido de enxofre e metais pesados, por injeção de cal e carvão activado na corrente gasosa. Os gases de exaustão são posteriormente conduzidos para a chaminé da incineradora através do auxílio de um ventilador (a chaminé da incineradora de Toshiba é conhecida como sendo a mais alta do mundo), passando previamente numa unidade de lavagem de gases com o objectivo de remover poluentes como o ácido clorídrico, o óxido de enxofre e mercúrio, numa unidade de reaquecimento de gases com vapor e num reactor DeNOx para remover os óxidos de azoto contidos nos gases de exaustão.

2.2.1. INCINERAÇÃO DE LEITO FLUIDIZADO

A tecnologia utilizada na incineradora de Toshiba consiste na incineração de leito fluidizado (Figura 11).

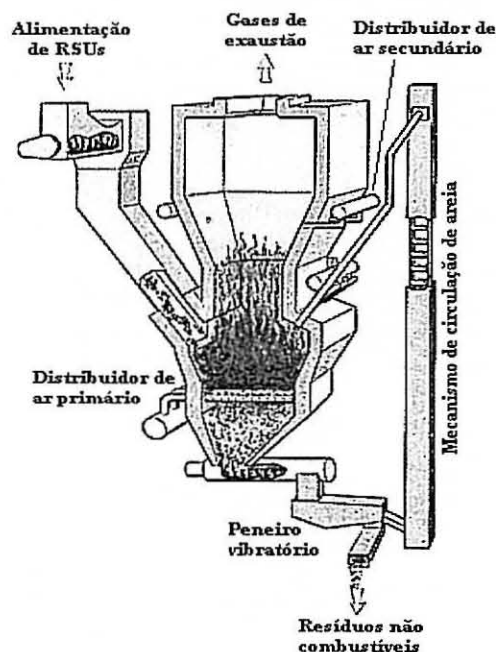


Figura 11 – Incinerador de leito fluidizado [15].

Esta tecnologia tem como princípio fundamental a fluidização de areia mantida a elevada temperatura, aproveitando a sua elevada capacidade calorífica, o que provoca, quando em contacto com os resíduos sólidos combustíveis uma combustão quase instantânea da matéria, com uma elevada eficiência [16], sendo esta a vantagem principal relativamente às incineradoras clássicas. Esta característica permite que todos os RSUs possam ser incinerados, desde RSUs com elevado teor de humidade, até RSUs contendo plásticos e borrachas. Outra vantagem evidente da incineração de leito fluidizado consiste no fácil arranque e paragem da incineradora. A camada de areia no incinerador armazena calor, de modo que a sua temperatura desce a uma velocidade muito lenta após paragem. Se o processo arrancar após curto período de paragem (cerca de 1 dia, por exemplo), os RSUs podem ser alimentados ao incinerador desde o início e serem completamente queimados. Como desvantagem menor, o processo de incineração é mais difícil de controlar, uma vez que a combustão é muito rápida. Em processos de incineração clássicos, é possível prever o que irá acontecer baseado nas observações num dado instante, devido à combustão ser mais lenta. No entanto, no processo com leito fluidizado é muito difícil de fazer previsão, sendo por isso difícil de controlar. Isto significa que, se forem geradas cinzas volantes, dioxinas e outros poluentes acima dos limites, será demasiado tarde para prevenir a sua libertação para a atmosfera. No entanto, a probabilidade de tal acontecimento é remota, uma vez que a tecnologia usada para prevenir tais situações indesejadas está bem desenvolvida.

No sentido de obviar as desvantagens deste tipo de tecnologia, no que toca às dificuldades no controlo do processo, bem como, na queima de certos materiais, como é o caso dos pneus, vários investigadores têm vindo a desenvolver tecnologias que proporcionem uma combustão mais estável e eficiente, assim como uma redução dos poluentes gerados pela combustão dos resíduos [12, 16, 18]. Estudos recentes mostram que, por exemplo, o problema da incineração de pneus e do controlo da combustão é facilmente ultrapassado recorrendo à tecnologia de leito fluidizado circulante. Tendo em conta a tecnologia de leito fluidizado utilizada pela incineradora de Toshima, seria recomendável um estudo da viabilidade da substituição do sistema actual pela tecnologia de leito fluidizado circulante.

Um incinerador de leito fluidizado é um reactor de combustão muito compacto, sendo construído por materiais refractários e paredes de aço. A câmara de combustão é dividida em quatro partes do topo para a base: câmara de libertação de gases, leito fluidizado, injeção de ar primário e saída de materiais não-combustíveis. A alimentação dos RSUs e a injeção do ar secundário é realizada pelas paredes laterais do incinerador. A fluidização da areia é conseguida através da alimentação de ar primário por distribuidores colocados na base do incinerador. As cinzas e os materiais não-combustíveis são retirados por gravidade pelo fundo do incinerador, passando previamente num peneiro vibratório, onde é possível recuperar a areia que é reenviada ao leito.

2.2.2. QUESTÕES AMBIENTAIS

A utilização de incineradores de leito fluidizado traz óbvias vantagens ambientais, relativamente a outras alternativas de gestão de RSUs. A concentração de poluentes emitidos para a atmosfera é diminuta, devido à elevada eficiência de combustão atingida. O volume de RSUs à saída de uma incineradora com a referida tecnologia pode ser reduzido até 20 vezes relativamente ao seu volume inicial, baixando a necessidade de aterros sanitários para a acomodação de RSUs. O facto da energia contida nos RSUs poder ser aproveitada e transformada em calor (água quente) e electricidade, reduz a necessidade de produção de energia através de combustíveis fósseis, reduzindo a libertação de gases para a atmosfera causadores de efeito estufa [17].

Apesar das vantagens a nível ambiental obtidas com a utilização de incineradoras de leito fluidizado serem importantes, existem no entanto alguns pontos de preocupação que importa referir. A combustão de RSUs gera uma diversidade grande de gases poluentes, que vão desde ácido clorídrico, óxidos de azoto e enxofre, até às dioxinas, que, embora a concentração de cada um deles seja baixa, é preocupação social a minimização da sua emissão. Por isso, várias tecnologias são utilizadas para remover selectivamente cada um dos poluentes, colocando novos problemas económicos e ambientais aos gestores de RSUs. Por exemplo, as dioxinas e os metais pesados são removidos por adsorção em carvão e em carvão activado, sendo estes posteriormente enviados juntos com as cinzas para aterros sanitários. A solução final dos poluentes será esta? Que outros problemas daí poderão advir? O tratamento dos poluentes contidos nessas cinzas é economicamente viável? Assim, novos desafios são constantemente colocados aos gestores de RSUs, revelando que a luta pela eliminação total dos poluentes não se encontra ainda resolvida.

3. CONCLUSÃO

O Japão, devido essencialmente à limitação de espaço apropriado para a construção de aterros sanitários, tornou-se no país, a nível mundial, que possui o maior número de incineradoras em actividade. Por outro lado, o facto da incineração neste país ter um papel bastante importante na gestão dos RSUs tem sido um dos factores principais para a elevada investigação científica que se tem vindo a realizar neste campo. Neste contexto, o país do sol nascente tem sido um dos principais responsáveis pelo progresso tecnológico no processo de incineração.

Em termos gerais, as autarquias japonesas optaram por construir as incineradoras junto das zonas residenciais e comerciais por forma a minimizar o custo do transporte dos resíduos. Desta forma, devido à limitação de espaço as incineradoras são geralmente pequenas e, conseqüentemente, tanto a capacidade de processamento como a potência das mesmas são geralmente baixas.

A incineradora de Toshima, situada no interior de Tóquio, utiliza uma tecnologia conhecida por incineração de leito fluidizado que tem vindo a aumentar a sua popularidade a nível mundial, devido essencialmente à sua elevada eficiência ao nível da combustão e à redução da quantidade de poluentes emitidos para a atmosfera. Aliado a estas vantagens, este tipo de incineradoras necessita de muito menos espaço para a sua instalação do que as incineradoras clássicas. Tendo em conta a limitação de espaço na localidade de Toshima, esta última vantagem foi a razão principal para a escolha deste tipo de tecnologia para esta incineradora.

Os benefícios comprovados no que respeita ao elevado rendimento térmico da combustão, da flexibilidade do combustível utilizado, bem como na redução das emissões poluentes, quando comparados com a queima tradicional dos RSUs em fornalha, permite afirmar que a incineradora de Toshima é um exemplo de inovação tecnológica e científica no campo da incineração. Todavia, apesar das grandes vantagens deste processo, não deverá ser descurada a dificuldade no controlo dos produtos provenientes da combustão, bem como o estudo da viabilidade de substituir o sistema de leito fluidizado, utilizado na incineradora de Toshima, pela tecnologia de leito fluidizado circulante.

Em termos gerais, a tecnologia utilizada na incineradora de Toshima é de extrema importância para países como o Japão, por forma a cumprir os limites bastantes exigentes impostos pelas entidades reguladoras e, simultaneamente, tentar melhorar a sua reputação bastante vulnerável no seio da opinião pública e dos grupos ambientalistas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração prestada pelos técnicos da Incineradora de Toshima e, em especial, toda a informação fornecida pelo Eng^o Tahara. Gostaríamos, também, de agradecer à Dra Tomoko Yaginuma, investigadora da Universidade do Minho, todo o apoio e disponibilidade na tradução para inglês de toda a informação disponível em Japonês.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Lima, R., "Evolução Tecnológica na Incineração dos Resíduos Sólidos Urbanos", *Tecnologias do Ambiente*, Ano 9, Nº 47, pp.7-8, 2002
- [2] Sakai, S., "Municipal Solid Waste Management in Japan", *Waste Management*, Vol. 16, pp.395-405, 1996
- [3] Hunsicker, M., et al. "An overview of the Municipal Waste Incineration Industry in Asia and the Former Soviet Union", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 47, pp.31-42, 1996
- [4] Nabeshima, Y., "Summary of Research on Waste Minimization studies by Japan Waste Research Fundation (JWRF)", *Waste Management*, Vol. 16, pp.407-415, 1996
- [5] Williams, Paul T., "Waste Treatment and Disposal", West Sussex: John Wiley and Sons Ltd, 1998.
- [6] Lima, R. and Batchman, R. "Pollutant emissions from Modern Incinerators", *International Journal of Environment and Pollution*, Vol. 18, pp.336-345
- [7] Sakai, S. and Hiraoka M., "Municipal Solid Waste Incinerator Residue Recycling by Thermal Processes", *Waste Management*, Vol. 20, pp.249-258, 2000
- [8] Kotani, Takuya and Mikawa, Katsuhiko, "Combustible Materials Recovery and MSW Fluidized Bed Incineration in Japan", *Resource Recovery of Municipal Wastes, AIChE Symposium Series*, Vol.84, pp. 44-54, 1988
- [9] The Waste Management Council of Tokyo 23 cities, "Waste and Recycling Management of Tokyo 23 cities 2001", Imaishi CO. Ltd., Tokyo, 2001
- [10] The Waste Management Council of Tokyo 23 cities, "Waste and Recycling Management of Tokyo 23 cities 2000", Imaishi CO. Ltd., Tokyo, 2000. (in Japanese)
- [11] Ecke, H., "State-of-the-Art Treatment Processes for Municipal Solid Waste Incineration Residues in Japan", *Waste Management and Research*, Vol. 18, pp.41-51, 2000
- [12] Bayless, David J., "Combustion of Solid Fuels in Fluidized Beds", *OURC Grant #9956 Final Report*, Ohio, USA.
- [13] Xiaodong, Li., et al., "Development of Municipal Solid Waste Incineration Technologies", *Better Air Quality in Asian and Pacific Rim Cities*, Hong Kong, 2002
- [14] Department of Trade and Industry, "Fluidized Bed Combustion Systems for Power Generation and Other Industrial Applications", *Cleaner Coal Technology Programme, Technology Status Report 011*, 2000
- [15] Clean Association of TOKYO 23, "Toshima Incineration Plant", Tokyo, 2001
- [16] Tame, Chikashi, "Energy Recovery from Waste by Use of Fluidized-Bed Technology", *International Journal of Environmental Technology and Management*, Vol. 1, Nº 1/2, pp.192-201, 2001
- [17] Lima, R., "A Incineração com Recuperação de Energia. Caso Particular da Incineradora de Sheffield", *Industria e ambiente*, Nº 24, pp. 16-21, 2001
- [18] Mitsubishi Heavy Industries, Environmental System Department, "High Efficiency Fluidized Bed Incineration System for Sewage Sludge", Tokyo, Japan