



GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: PERSPECTIVAS E DESAFIOS

**Ritielli Berticelli¹
Adalberto Pandolfo²
Eduardo Pavan Korf³**

RESUMO

A gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) justifica-se devido à situação de esgotamento e comprometimento de recursos naturais, dos problemas sociais, ambientais e econômicos de disposição final. A deficiência dos serviços de gestão de RSU tem gerado impactos negativos nas condições de vida e de bem-estar da população. Constatando os impactos ambientais que os RSU podem causar e a precariedade da situação atual em vários municípios brasileiros, alternativas são necessárias visando a melhoria da sua gestão, ao aumentar a eficiência e reduzir seus custos, colaborando com a preservação do meio ambiente. O presente trabalho tem por objetivo apresentar as principais tecnologias de gestão, valorização, tratamento e/ou disposição dos RSU utilizadas no Brasil e apontar alguns municípios do Sul do Brasil com modelos de gestão eficazes. A metodologia consistiu em uma revisão bibliográfica sobre as principais vantagens e desvantagens das tecnologias, abordando uma conceituação, características do processo e aspectos econômicos. Também foram pesquisados artigos sobre o tema e municípios com modelos de gestão eficazes na região Sul. Conclui-se que os municípios são propulsores do desenvolvimento socioeconômico e devem adotar as diretrizes aprovadas como forma de implementar suas ações nessa área, sendo a Política Nacional de Resíduos Sólidos um instrumento norteador.

Palavras-chave: Gerenciamento de resíduos sólidos. Saneamento básico. Tecnologias. Gestão de resíduos.

¹ Acadêmica de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo. E-mail: ritiberticelli@yahoo.com.br

² Docente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo. E-mail: adalbertopandolfo@hotmail.com

³ Docente no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul. E-mail: eduardokorf@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional, a economia em expansão, a rápida urbanização e o aumento dos padrões de vida da comunidade aceleraram a taxa de geração de resíduos sólidos urbanos (MINGHUA et al., 2009). Os municípios, responsáveis pela gestão de RSU têm o desafio de proporcionar um sistema eficaz e eficiente para os habitantes (GUERRERO et al., 2013). No entanto, muitas vezes eles enfrentam dificuldades de solução que vão além da capacidade da autoridade municipal (SUJAUDDIN et al., 2008), principalmente devido à falta de organização, recursos financeiros e à complexidade do sistema de gestão (BURNTLEY, 2007).

O manejo inadequado de resíduos sólidos de qualquer origem gera desperdícios, agrava a degradação ambiental, contribui de forma importante à manutenção das desigualdades sociais, constitui ameaça constante à saúde pública, comprometendo a qualidade de vida das populações, especialmente nos centros urbanos de médio e grande porte (SCHALCH et al., 2002).

O desafio para proporcionar um saneamento básico de qualidade nos municípios brasileiros é algo que deve ser apresentado e solucionado. Isso é possível verificando o que impulsiona a mudança na gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU), em cidades que já encontraram soluções locais e que aplicam estes conceitos na prática.

O objetivo do presente estudo foi abordar as principais tecnologias de gestão, valorização, tratamento e/ou disposição dos RSU utilizadas no Brasil e apontar municípios do Sul do Brasil com modelos de gestão eficazes.

2 GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Gestão Integrada de Resíduos Sólidos é definida pela PNRS como um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

As cidades usam diferentes tecnologias, políticas e comportamentos para controlar os impactos negativos dos seus resíduos e para encontrar formas de reutilização dos mesmos. Esta combinação de métodos constitui a gestão de

resíduos, que pode ser dividida em seis elementos funcionais que descrevem as etapas de gerenciamento, englobando a geração, tratamento, coleta, transporte, processamento e transformação, e disposição final. Todo o processo deve estar de acordo com a legislação existente, com os aspectos sociais de proteção ao meio ambiente e à saúde pública e aos recursos financeiros disponíveis. (TCHOBANOGLIOUS; KREITH, 2002).

Segundo Lopes (2003), a realidade brasileira quanto à gestão e ao gerenciamento dos resíduos sólidos, ainda, concentra-se na destinação final e não na prevenção da poluição e minimização da geração de resíduos na fonte. A responsabilidade pela prestação de serviços de limpeza urbana é do município e na maioria das cidades brasileiras, a coleta de lixo é realizada pela iniciativa privada sob forma de concessão, subcontratação ou permissão, onde ocorre a delegação de prestação dos serviços para pessoa física, jurídica ou consórcio, que demonstre capacidade para seu desempenho, por sua conta e risco.

Duas estruturas de orientação têm sido fundamentais para as decisões de gestão de resíduos: a hierarquia dos resíduos e a gestão integrada de resíduos (WHITE; FRANKE; HINDLE; 1999). A hierarquia lista as seguintes etapas: redução de resíduos, reutilização, reciclagem, recuperação de energia, e deposição final em aterro (WILLIAMS, 2005). A gestão integrada de resíduos surgiu com uma abordagem diferente, sendo representada por um conjunto de princípios de gerenciamento ambientalmente e economicamente adequados, de forma sustentável e socialmente aceitável (TCHOBANOGLIOUS, KREITH, 2002; McDOUGALL et al., 2001; WHITE, FRANKE, HINDLE, 1999), sendo que o conceito “integrado” é utilizado por defender uma visão holística, que inclui todos os fluxos de resíduos, visando controlar os resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Devido ao foco na flexibilidade e especificidades às condições locais, a gestão integrada de resíduos não prescreve soluções, em vez disso, mantém princípios, sendo que cada região deve desenvolver sistemas próprios em respostas aos seus contextos (McDOUGALL et al., 2001).

Os sistemas de gestão dos resíduos sólidos de melhor funcionamento envolvem todas as partes interessadas no planejamento, implementação, e monitoramento das mudanças, sendo constituído por três principais grupos de interessados: os prestadores de serviços, incluindo a autoridade local, que realmente oferecem o serviço; os usuários, que são os clientes; e a agentes

externos em um ambiente propício, incluindo o governo nacional e local, que organizam as condições de contorno para que essa mudança seja possível.

A diversidade de cidades acarreta na geração de diferentes composições de resíduos, apontando para a necessidade de um contexto específico de gestão de resíduos, de acordo com cada região. Muitas tentativas de importar soluções de resíduos de países industrializados para países menos industrializados falharam, porque os estudos indicam que os sistemas de gestão de resíduos do mundo em desenvolvimento foram cópias incompletas de um sistema ideal que opera em países desenvolvidos (UN-HABITAT, 2010).

Rodrigo e Castells (2001) realizaram um estudo para elaboração de estratégias para o gerenciamento dos resíduos sólidos do município de Catalunha na Espanha e concluíram que os aspectos econômicos e sociais também devem ser considerados para uma gestão eficiente.

O gerenciamento ambiental deve ser uma abordagem multilateral, considerando que os problemas ambientais e suas soluções são determinados por fatores tecnológicos, bem como por questões econômicas, sociais, físicas, culturais e políticas. Sendo assim, é o sistema proposto é integrado, visando propostas sustentáveis em todos os setores (SHEN, 1995).

2.1 Coleta seletiva

A coleta seletiva é uma etapa fundamental para a eficiência do sistema de gestão integrada de resíduos sólidos e, essencial para se atingir a meta de disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Consiste na segregação dos resíduos na fonte geradora e coleta destes materiais previamente separados. Trata-se de um tipo de tratamento dado ao resíduo, que começa na fonte geradora com a segregação ou separação dos materiais em orgânicos e inorgânicos; e em seguida com a sua disposição para a sua coleta (BARROS, 2012).

O manejo diferenciado dos resíduos é a essência do conceito de coleta seletiva e se aplica, além da típica coleta seletiva de papel, plástico, vidros e metais, a todos os resíduos, reconhecidos como bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011). No Brasil, a coleta seletiva vem sendo lentamente implantada desde meados da década de 80, quando começou em caráter experimental em algumas cidades brasileiras (BARROS, 2012).

A lei 12.305 (BRASIL 2010) em seu Art. 35 afirma que, sempre que estabelecido sistema de coleta seletiva o consumidor deve acondicionar e disponibilizar adequadamente e de forma diferenciada os resíduos sólidos gerados. Portanto, ao contrário do que muitas pessoas pensam, a coleta seletiva envolve uma responsabilidade compartilhada, principalmente entre o gerador e o poder público. Além disso, o decreto 7.404 (BRASIL, 2010) prevê que os consumidores que descumpram suas obrigações estarão sujeitos à advertência, e em caso de reincidência, multa.

Grimberg e Blauth (1998) avaliaram 100 (cem) experiências de coleta seletiva no Brasil, e apenas 20 (vinte) alcançaram resultados promissores. Este fato se deve ao mal planejamento dos programas de coleta seletiva, gerando o insucesso.

Para que o sistema de coleta seletiva ocorra de forma eficiente, é imprescindível a participação e conscientização ambiental da comunidade. Bringhenti e Gunther (2011) estudaram a participação social em programas de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos e concluíram que a falta de divulgação dos resultados da coleta, a acomodação e o desinteresse da população, o descrédito relativo às ações oriundas do poder público, e a falta de espaço, nas residências para armazenar os resíduos recicláveis, dentre outros, são fatores que dificultam a participação na coleta seletiva.

2.2 Sensibilização e educação ambiental

A gestão dos resíduos sólidos tem evoluído para a regionalização e formalização do setor, assim como as tecnologias e políticas utilizadas para minimizar os impactos sociais e ambientais vem se difundindo. Porém, a gestão dos resíduos é extremamente dependente do comportamento humano, e os municípios devem usar políticas de educação e conscientização ambiental para afetar as mudanças associadas aos elementos de gerenciamento dos resíduos.

A minimização da produção de resíduos na fonte é um meio pelo qual os indivíduos podem reduzir o impacto ambiental de seus resíduos (VERGARA; DAMGAARD; HORVATH, 2011). A redução pode ser uma prática cultural, como por exemplo, a maneira com que as pessoas mais velhas compram produtos e são menos consumistas (STRASSER, 1999), ou pode ser uma forma de ativismo ambiental.

Segundo Ruffino (2002) a educação ambiental é um processo no qual são trabalhados compromissos e conhecimentos capazes de levar o indivíduo a repensar sua relação com o meio, de forma a garantir mudanças de atitudes em prol da melhoria da qualidade de vida da sociedade na qual está inserido, bem como reverter situações que possam comprometer a sobrevivência das espécies animais e vegetais, e conseqüentemente, a manutenção da vida no planeta. Portanto, a Educação Ambiental surge como um dos instrumentos mais importantes para promover mudança comportamental da sociedade (ZANETI, 2003). Por meio da Educação Ambiental, pode-se promover a mudança de hábitos das pessoas e torná-las participantes do processo. Há inúmeras formas de a sociedade alterar seu comportamento mediante a conscientização e a adoção de medidas de manejo dos resíduos sólidos.

O número de barreiras existentes na sociedade é enorme, pois a cultura de consumo atual está associada com a aquisição de novos produtos mais tecnológicos e com a dificuldade de quebrar hábitos, por isso essa questão de conscientização e educação ambiental é tão importante e essencial para que ocorra a mudança de atitudes com relação a minimização na geração e a correta segregação dos resíduos sólidos.

2.3 Tecnologias de tratamento e/ou disposição final dos RSU

O tratamento de resíduos pode ser compreendido como uma série de procedimentos físicos, químicos e biológicos que tem por objetivo diminuir a carga poluidora do meio ambiente, reduzir os impactos sanitários negativos do homem e o beneficiamento econômico do resíduo. No Brasil, a prática amplamente aceita para o tratamento dos RSU é a disposição final em aterros sanitários, embora ainda existam no país alguns lixões e aterros controlados. Em contrapartida, os países desenvolvidos tiveram inovações e evoluções tecnológicas significativas que acompanharam as necessidades energéticas, materiais e ambientais, como por exemplo, os incineradores.

No que se refere às tecnologias de tratamento e disposição final de RSU, de uma forma geral, não existem tecnologias melhores que outras, mas sim tecnologias apropriadas e que respeitam os aspectos sociais, ambientais e econômicos do local onde será implantada. Esta tecnologia não se deve definir de forma isolada. O

sistema de tratamento (rota tecnológica), o modelo de gestão, o arranjo institucional todos devem ser definidos de forma conjunta, apoiados em políticas públicas, em estudos de viabilidade econômica e com um grande envolvimento da sociedade (FADE,2014).

O objetivo desta seção é apresentar as principais tecnologias existentes para valorização e tratamento dos RSU, em cumprimento àquilo que determina a PNRS.

2.3.1 Reciclagem

✓ Conceituação e aspectos gerais

A reciclagem é um processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vista à transformação em insumos ou novos produtos (BRASIL, 2010).

A reciclagem é uma atividade econômica, que deve ser vista como um elemento dentro do conjunto de atividades integradas no gerenciamento dos resíduos, não se traduzindo, portanto, como a principal "solução" para os resíduos, já que nem todos os materiais são recicláveis sob os aspectos técnico ou econômico. No passado, procurava-se reciclar tudo o que gerasse renda. Porém, a sociedade de consumo vem se tornando diversificada, que em muitos casos é mais barato para as indústrias produzirem materiais utilizando matéria-prima virgem, em vez de reciclar (SCHALCH et al., 2002).

Segundo Barros (2012), a reciclagem traz os seguintes benefícios: diminui a exploração de recursos naturais; aproveitamento energético; contribui para reduzir a poluição do solo, água e ar; melhora a limpeza das cidades e qualidade de vida da população; prolonga a vida útil dos aterros sanitários; melhora e facilita a segregação dos resíduos; gera empregos; gera receita; estimula a concorrência; contribui para a valorização da limpeza pública e formação consciência ambiental.

Os benefícios ambientais da reciclagem derivam principalmente das economias dos recursos naturais e energia (CHRISTENSEN et al., 2009), embora estes benefícios possam variar localmente. A reciclagem exige um fornecimento (coleta e triagem) e um pedido (um mercado para o produto reciclado). A cadeia de reciclagem varia de formalidade em todo o mundo, mas há cada vez mais mercado globalizado dos materiais recicláveis (VERGANA; TCHOBANOGLOUS, 2012). Existem duas forças motrizes para a reciclagem de resíduos: o seu valor de

mercadoria e seu valor de serviço. O valor de mercadoria deriva de seu valor econômico, este valor leva todas as atividades de reciclagem privadas, incluindo a reciclagem não regulamentada prevalente em países menos industrializados. O valor do serviço é a economia para o sistema de gestão de resíduos, que divide os serviços com o setor de reciclagem, sendo que este valor de desvio, juntamente com a preocupação com o meio ambiente, dirige programas de reciclagem municipais comuns em mais nações industrializadas (UN-HABITAT, 2010).

Segundo um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada em 2010 (IPEA, 2010), o Brasil perde bilhões de reais todo ano por deixar de reciclar todo resíduo reciclável que vai para aterros como sendo rejeitos. No Quadro 1 podem-se observar as principais vantagens e desvantagens da reciclagem.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens da reciclagem

Vantagens	Desvantagens
Diminuição de materiais a serem coletados e dispostos, aumentando a vida útil dos aterros sanitários.	Alteração do processo tecnológico para o beneficiamento, quando da reutilização de materiais no processo industrial.
Economia no consumo de energia.	Necessidade de participação ativa da população.
Geração de emprego e renda.	Custo de uma coleta diferenciada.
Preservação de recursos naturais e insumos.	

Fonte: ICLEI (2011).

✓ Características do processo

As atividades de reciclagem permitem minimizar a quantidade de resíduos que são direcionados ao aterro e ao mesmo tempo valoriza o lixo, gerando insumos (materiais e compostos orgânicos) para outros processos.

A reciclagem aparece como uma maneira de reintroduzir no sistema econômico uma parte da matéria e/ou da energia, que se tornaria lixo e ficaria sem condições de aproveitamento. Neste processo os resíduos são separados, coletados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de bens, desse modo aliviando o comprometimento dos recursos naturais devido às várias etapas do processo de consumo desde a extração das matérias-primas, passando pelo seu processamento/manufatura, pelo seu consumo e até a sua disposição final (BARROS, 2012).

A reciclagem é realizada pelo setor formal e pelo setor informal. O setor formal é constituído por trabalhadores com vínculo empregatício, já o setor informal da gestão de resíduos é constituído por pessoas que separam, coletam e revendem

os materiais recicláveis; o trabalho é geralmente de pequena escala, baixa tecnologia, o trabalho é intensivo e não regulamentado ou registrado (WILSON; VELIS; CHEESEMAN, 2006). Segundo Mitchell (2008), o termo informal é usado para descrever a relação entre os trabalhadores e o Estado – não se referindo ao seu nível de organização. Em várias cidades, como Port-au-Prince no Haiti (CLAUDEL, 2010) ou Delhi na Índia (WILSON et al., 2009), estes trabalhadores são essenciais na gestão dos resíduos, pois recuperam materiais que muitas vezes seriam encaminhados diretamente para destinação final, sem reaproveitamento ou reciclagem. O desafio é a integração deste setor, através do reconhecimento ambiental, econômico e social, considerando os benefícios da reciclagem (WILSON; VELIS; CHEESEMAN, 2006).

Para Bidone e Povinelli (1999), a reciclagem para a recuperação de um resíduo depende dos seguintes fatores: proximidade da instalação de reprocessamento, custos de transportes com os resíduos, volume dos resíduos disponíveis para o processamento e custos de estocagem do resíduo no ponto de geração ou fora do local de origem. Sendo assim, para que a reciclagem de um determinado resíduo seja viável, faz-se necessário uma análise de custos e benefícios e uma integração com o setor informal.

As usinas de triagem e reciclagem (UTC's) são bastante utilizadas, porém é absolutamente fundamental que a cidade faça a coleta seletiva. As instalações e equipamentos necessários para implantação de uma usina são basicamente um pátio impermeabilizado ou um galpão, mesa ou esteira de triagem, baias de separação, balança, prensas e depósito, além de instalações sanitárias para os funcionários. O Quadro 2 apresenta três alternativas de galpão de triagem adotadas em usinas, bem como os equipamentos previstos para cada situação.

Quadro 2 - Instalações e equipamentos para implantação de uma UTC

Itens	Galpão		
	Pequeno	Médio	Grande
Área edificada	300	600	1.200
Equipamentos	1 prensa 1 balança 1 carrinho	1 prensa 1 balança 1 carrinho 1 empilhadeira	2 prensas 1 balança 2 carrinhos 1 empilhadeira

Fonte: Pinto e González (2008).

✓ Aspectos econômicos e financeiros da reciclagem

Os custos estimados para cada uma das alternativas de galpão apresentadas anteriormente estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Custos estimados para implantação de UTC's

Itens	Pequeno	Galpão Médio	Grande
Obras	R\$	R\$ 323.300,00	R\$
Equipa	R\$	R\$ 32.100,00	R\$
Total	R\$	R\$ 355.400,00	R\$

Fonte: Pinto e González (2008).

Em um estudo realizado por IBAM (2012) foram elencados os custos com instalação e operação de galpões de triagem e beneficiamento primário. Para municípios de 100.000 a 2,5 milhões de habitantes o custo com instalação é de R\$ 36,00/t e os custos com operação é R\$ 596,80/t.

2.3.2 Compostagem

✓ Conceituação e aspectos gerais

A compostagem é utilizada desde a história antiga, porém, até recentemente de forma empírica. Os povos orientais, gregos e romanos já sabiam que os resíduos orgânicos poderiam contribuir com a fertilidade do solo. Somente a partir de 1920 é que o processo começou a ser estudado cientificamente e aplicado de forma racional por Alberto Howard. Hoje esta tecnologia pode ser utilizada em escala industrial, graças aos avanços dos trabalhos científicos que lançaram base para o desenvolvimento da técnica (FERNANDES; SILVA, 1996).

A compostagem pode ser definida como uma biooxidação exotérmica aeróbica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável (FERNANDES et al., 1993). O processo permite o controle de microrganismos patogênicos (HAUG, 1980; BURGE et al., 1981; POLPRASERT, 1996) e pode produzir um insumo agrícola de boa qualidade (FERNANDES et al., 1993). Segundo Butler et al. (2001) a compostagem é uma estratégia sustentável e depende da qualidade do produto final, pois, se não houver a estabilização do composto, o mesmo poderá causar fitotoxicidade e afetar adversamente o ambiente.

Na compostagem, microrganismos são responsáveis, num primeiro momento, por transformações químicas na massa de resíduos, e, num segundo momento, pela humificação. O composto resultante, o húmus, pode ser utilizado como fertilizante (tanto para a agricultura quanto para áreas verdes urbanas) apresentando, portanto, valor econômico (CATAPRETA, 2008; RUSSO, 2011). As principais vantagens e desvantagens da compostagem estão apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Vantagens e desvantagens da compostagem

Vantagens	Desvantagens
Baixa complexidade na obtenção da licença ambiental.	Necessidade de investimentos em mecanismos de mitigação dos odores e efluentes gerados no processo.
Facilidade de monitoramento.	
Diminuição da carga orgânica do rejeito a ser enviado ao aterro, minimizando os volumes a serem dispostos.	Requer pré-seleção da matéria orgânica na fonte.
Tecnologia conhecida e de fácil implantação.	Necessidade de desenvolvimento de mercado consumidor do composto gerado no processo.
Viabilidade comercial para venda do composto gerado.	

Fonte: ICLEI (2011); BNDES (2014a).

✓ Características do processo

O processo de compostagem prevê duas etapas distintas no seu desenvolvimento, a primeira de biodegradação do resíduo orgânico e a segunda de maturação, cura ou humificação do composto (DIAZ, 1999; JAHNEL, 1999). Para que ocorra o pleno desenvolvimento das fases da compostagem, certos fatores de controle fazem-se necessários, tais como: temperatura, taxa de oxigenação, concentração de nutrientes, teor de umidade, pH, homogeneização e tamanho da partícula (DALTRO FILHO; CARVALHO, 1999; CASALI, 2011). As informações sobre as propriedades biológicas e bioquímicas incluindo a atividade enzimática também são importantes no processo (GODDEN et al., 1983; GARCIA et al., 1992; VUORINEN, 2000, MONDINI et al., 2004).

As fases de biodegradação e humificação são bem distintas entre si. Na fase de biodegradação, também chamada de bioestabilização, há intensa atividade microbológica e rápida transformação da matéria orgânica. Portanto, há grande consumo de oxigênio (O₂) pelos microrganismos, elevação da temperatura e mudanças visíveis na massa de resíduos em compostagem, pois ela se apresenta escura e não apresenta odor. Na fase de maturação, a atividade biológica é

pequena, e a necessidade de aeração diminui. O processo ocorre à temperatura ambiente e com predominância de transformações de ordem química: polimerização de moléculas orgânicas estáveis no processo conhecido como humificação (MOREIRA, 2006).

Durante o processo de compostagem, alguns componentes da matéria orgânica são utilizados pelos microrganismos para formação de seus tecidos, outros são volatilizados, e outros são transformados biologicamente em uma substância escura, uniforme e aspecto de massa amorfa, rica em partículas coloidais, com propriedades físicas, químicas e físico-químicas inteiramente diferentes da matéria prima original (BIDONE; POVINELLI, 1999).

✓ Métodos de Compostagem

Existem vários métodos de realizar a compostagem, alguns mais tecnológicos, outros mais convencionais. Primitivamente, o método era utilizado através da estocagem simples de materiais putrescíveis, levando alguns meses para ser degradado, porém, este método espontâneo e sem biotecnologia não é mais aceito ambientalmente, pelo fato de não garantir a qualidade final do composto e pelo fato de não se ter condições de assegurar que não haverá contaminação do solo e das águas pelo líquido gerado.

Na Figura 1 pode-se observar o fluxograma típico de um processo de compostagem, sendo aplicado a qualquer operação de compostagem de resíduos sólidos urbanos, sendo que o peneiramento nem sempre é requerido.

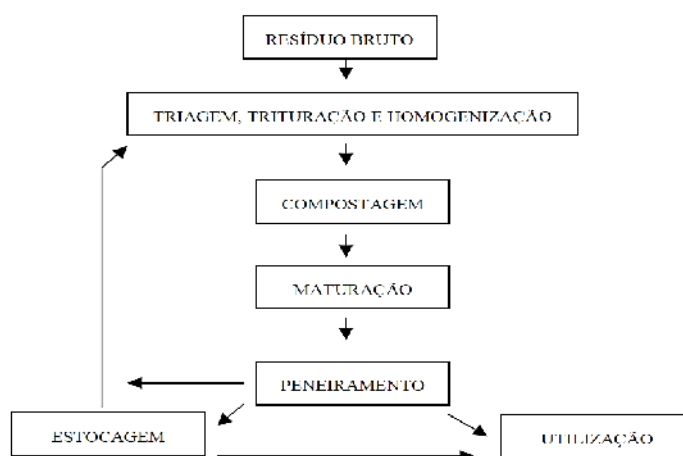


Figura 1 - Fluxograma típico de um processo de compostagem.

Fonte: Shaub e Leonard (1996).

A maior diferença entre os processos de compostagem está na metodologia de aeração, onde genericamente, podem ser divididos em três tipos, compostagem de leiras com revolvimento mecânico (sistema Windrow), compostagem em leiras estáticas aeradas e compostagem em reatores biológicos. Geralmente os sistemas com maior tecnologia requerem maiores investimentos, conforme representa a Figura 2, mas resultam em melhores condições de controle e maiores taxas de oxidação. Portanto, a seleção do método a ser utilizado depende das condições locais, como natureza do resíduo, localização da unidade de processamento e recursos financeiros (SHAUB; LEONARD, 1996).

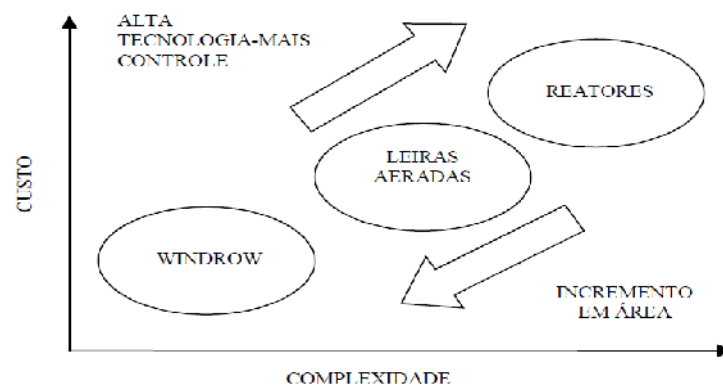


Figura 2 - Comparação esquemática dos métodos de compostagem.

Fonte: Shaub e Leonard (1996).

Para determinação da tecnologia mais adequada é necessário realizar um estudo sobre as características dos materiais a serem compostados e avaliar os critérios técnicos e econômicos de cada sistema, as principais vantagens e desvantagens de cada sistema estão apresentados no Quadro .

Quadro 4 - Principais vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de compostagem.

Sistemas de compostagem	Vantagens	Desvantagens
Leiras revolvidas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baixo investimento inicial; 2. Flexibilidade de processar volumes variáveis de resíduos; 3. Simplicidade de operação; 4. Uso de equipamentos simples; 5. Produção de composto homogêneo e de boa qualidade; 6. Possibilidade de rápida diminuição de teor de umidade das misturas devido ao revolvimento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maior necessidade de área, pois as leiras têm que ter pequenas dimensões e há necessidade de espaço livre entre elas; 2. Problema de odor mais difícil de ser controlado, principalmente no momento do revolvimento; 3. Muito dependente do clima. Em períodos de chuva o revolvimento não pode ser feito; 4. O monitoramento da aeração deve ser mais cuidadoso para garantir a elevação da temperatura.
Leiras estáticas aeradas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baixo investimento inicial; 2. Melhor controle de odores; 3. Etapa de estabilização mais rápida que o sistema anterior; 4. Possibilidade de controle da temperatura e aeração; 5. Melhor uso da água disponível que o sistema anterior. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Necessidade de bom dimensionamento do sistema de aeração e controle dos aeradores durante a compostagem; 2. Operação também influenciada pelo clima;
Compostagem em reator biológico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menor demanda de área; 2. Melhor controle de processo de compostagem; 3. Independência de agentes climáticos; 4. Facilidade para controlar odores; 5. Potencial para recuperação de energia térmica (dependendo do tipo de sistema). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maior investimento inicial; 2. Dependência de sistemas mecânicos especializados, o que torna mais delicada e a cara a manutenção; 3. Menos flexibilidade operacional para tratar volumes variáveis de resíduos; 4. Risco de erro difícil de ser reparado se o sistema for mal dimensionado ou a tecnologia proposta foi inadequada.

Fonte: Fernandes e Silva (1996).

✓ Aspectos econômicos e financeiros da compostagem

As usinas de triagem e compostagem são centros de separação das frações orgânicas e inorgânicas dos resíduos sólidos domésticos, operacionalizados em maior ou menor escala por equipamentos eletromecânicos (GALVÃO JÚNIOR, 1994).

A instalação de usinas de resíduos no Brasil iniciou-se em Brasília-DF, em meados de 1960, embora o maior incremento na utilização desses centros tenha ocorrido a partir da segunda metade da década de 80, por iniciativa do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que colocou à disposição das prefeituras municipais uma linha de crédito para a compra de equipamentos (BLEY JÚNIOR, 1993).

Segundo Jardim (1995), geralmente as instalações das usinas de triagem e compostagem possuem cinco setores:

- 1) Recepção/estocagem: balança rodoviária, pátio de recepção de preferência pavimentado e com drenagem, fosso de descarga coberto e com captação de chorume;
- 2) Triagem: esteira com separação manual e/ou com eletroímã ou polia magnética ou peneiras;
- 3) Pátio de compostagem: pátio com inclinação adequada e sistema de drenagem, como revolvedoras mecânicas;
- 4) Beneficiamento: peneiras rotativas e formação dos fardos;
- 5) Outras instalações: administração, manutenção, almoxarifado, etc.

Os custos com implantação e operacionalização de unidades de compostagem apresentam amplas faixas de variação e dependem significativamente do seu nível tecnológico. Para pequenos municípios os custos são menores, pelo fato de contato com sistema manual, já para cidades de médio e grande porte os custos são mais relevantes.

A Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010) elaborou um relatório técnico com estudos de custos relacionados com a constituição de consórcios públicos de resíduos sólidos urbanos, apresentando alguns custos com implantações de tecnologias de compostagem. Os custos com implantação de UTC's tradicionais, com o método de compostagem natural para uma unidade com processamento de 1t/dia na região Sul do Brasil é de R\$ 44.513,21, já para uma usina de processamento de 9 t/dia é de R\$ 114.824,02 e para processamento de 25 t/dia o custo é de R\$ 194.382,28. Estes valores incluem a locação do empreendimento, limpeza e cercamento do terreno, pátio dimensionado para um tempo de maturação do composto de 120 dias com drenagem, área de administrativa e de apoio e um galpão para armazenamento e tratamento paisagístico.

Segundo um estudo feito pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2014a), para municípios com faixa populacional de 30 a 250 mil habitantes os custos com instalação de unidades de compostagem é de R\$ 3,00/t e os custos com operação é de R\$ 90,00/t.

2.3.3 Aterro sanitário

✓ Conceituação e aspectos gerais

De acordo com a norma NBR 8419 (ABNT, 1992), aterro sanitário é:

“Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário (ABNT, 1992).”

A prática de aterrar resíduos sólidos não é uma tecnologia atual, pois vem sendo difundida desde 2500 anos a.C, quando os Nabateus, na Mesopotâmia, enterravam seus resíduos domiciliares e agrícolas em trincheiras escavadas no solo e depois de algum tempo abriam estas trincheiras e utilizavam a matéria orgânica já decomposta como fertilizante orgânico na produção de cereais (LIMA, 1991).

Segundo Russo (2005), as principais vantagens dos aterros sanitários são:

1. Grande flexibilidade para receber uma gama muito grande de resíduos;
2. Fácil operacionalidade;
3. Relativo baixo custo, comparativamente a outras soluções como a incineração;
4. Disponibilidade de conhecimento;
5. Não conflitante com formas avançadas de valorização dos resíduos;
6. Devolução a utilização do espaço imobilizado durante a fase de exploração;

As principais vantagens e desvantagens do aterro sanitário estão apresentadas no Quadro .

Quadro 5 - Vantagens e desvantagens do aterro sanitário

Vantagens	Desvantagens
Baixo custo operacional.	Geração de odores característicos.
Tecnologia amplamente conhecida.	Necessidade de grandes áreas para o empreendimento.
Possibilidade de aproveitamento de biogás.	Exige captura e tratamento de gases e lixiviados. Após capacidade esgotada, ainda exige cuidado e manutenção, por anos.

Fonte: PARO et al. (2008); ICLEI (2011).

✓ Características do processo

Para Brito Filho (2005), o aterro sanitário é a maneira de dispor resíduo sólido sobre o solo, compactando-o com trator, reduzindo-o ao menor volume possível e recobrando-o com camada de terra compactada, de modo a ocupar a menor área possível.

Existem vários elementos que devem ser projetados e planejados em um aterro sanitário, tais como o sistema de impermeabilização de base, sistema de drenagem de águas superficiais, drenagem de líquidos e gases gerados na decomposição da massa de resíduos, sistema de cobertura dos resíduos, unidades de tratamento de lixiviados e outros. Esse conjunto de sistemas e unidades visam garantir a segurança do aterro, o controle de efluentes líquidos, a redução das emissões gasosas, bem como a redução de riscos à saúde da população (FADE, 2014).

Os aterros sanitários podem ser classificados de acordo com a forma em que são projetados (FADE, 2014):

- 1) Aterro em vala: a instalação para disposição dos RSU no solo, em escavação com profundidade limitada e largura variável, confinada em todos os lados, dando oportunidade de uma operação não mecanizada;
- 2) Aterro em trincheira: instalação para a disposição dos RSU no solo, em escavação sem limitação de profundidade e largura, que se caracteriza por confinamento em três lados e operação mecanizada.
- 3) Aterro em encosta: instalação para a disposição dos RSU no solo, caracterizada pelo uso de taludes pré-existentes, usualmente implantados em áreas de ondulações ou depressões naturais, encostas de morros ou pedreiras e áreas de mineração desativadas;
- 4) Aterro em área: Instalação para disposição de RSU no solo, caracterizada pela disposição em áreas planas acima da cota do terreno natural.

Na Figura 3 pode-se observar uma ilustração de um aterro sanitário em área.



Figura 3 - Aterro sanitário de RSU.
Fonte: IPT (2000).

A operação de um aterro sanitário deve ser procedida pelo processo de seleção de áreas, licenciamento, projeto executivo e implantação. Um aterro sanitário deve contar com unidades operacionais e unidades de apoio. As unidades operacionais geralmente possuem: células com impermeabilização de fundo (obrigatória) e superior (opcional); sistema de coleta e tratamento dos líquidos percolados (chorume); sistema de coleta e queima (ou beneficiamento) do biogás; sistema de drenagem e afastamento das águas pluviais; sistemas de monitoramento ambiental, topográfico e geotécnico e pátio de estocagem de materiais. Já para a unidade de apoio, indica-se: cerca e barreira vegetal; estradas de acesso e de serviço; balança rodoviária e sistema de controle de resíduos; guarita de entrada e prédio administrativo; oficina e borracharia (IBAM, 2001).

✓ Aspectos econômicos e financeiros de aterros sanitários

Os aterros sanitários devem possuir infraestrutura básica, constituída de galpão (para equipamentos), guarita, balança, escritório, banheiros, vestiários e refeitórios, cercamento, serviços de paisagismos, além de todos os sistemas de controle à poluição já citados anteriormente.

Os custos variam de acordo com o tipo, capacidade e características do aterro. Para municípios com população inferior a 10.000 habitantes o valor pode chegar a R\$ 20,00/t, com população de 10.000 a 30.000 habitantes R\$ 9,00/t, de 30.000 a 250.000 habitantes R\$ 11,00/t e para municípios que possuem de 250.000 a 1.000.000 de habitantes R\$ 9,00/t de resíduos processados. Os custos de operação também apresentam variações e incluem atividades de disposição nas

células, monitoramento e tratamento de lixiviados. Os custos unitários para aterros de pequeno porte oscilam em torno de R\$ 140,00/t, para municípios de médio porte os valores se aproxima de R\$ 50,00/t, enquanto naqueles com capacidade superior a 1.000 t/dia, remontam R\$ 35,00/t (FADE, 2014).

O aumento da receita e, portanto, a sustentabilidade pode ser possível com o aproveitamento energético dos resíduos, recomendado apenas para instalações de grande porte.

Um relatório de consultoria solicitado pela Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de resíduos (ABETRE, 2007) apresentou aspectos econômicos e financeiros para implantação, operação e encerramento de aterros sanitários para resíduos classe IIA. O estudo abrangeu os custos de três portes de aterro sanitário, grande porte (capacidade de recebimento 2.000 t/dia), médio porte (capacidade de recebimento 800 t/dia) e pequeno porte (capacidade de recebimento 100 t/dia), sendo que os custos foram computados assumindo-se conformidade com os padrões e normas oficiais de funcionamento de aterros sanitários. O investimento foi simulado sendo financiado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES.

O custo total para pré-implantação, implantação, operação, encerramento e pós-encerramento de um aterro sanitário de grande porte foi de R\$ 525.794.167,00, para um aterro sanitário de médio porte o custo foi de R\$ 236.535.037,00 e para um aterro sanitário de pequeno porte o custo foi de R\$ 52.444.448,00. Após a análise de viabilidade econômica, concluiu-se que o empreendimento possuía Valor Presente Líquido (VPL) positivo para os 3 portes estudados, produzindo retorno financeiro aos acionistas, sendo que o aterro de grande porte produziu um VPL superior aos aterros de médios e pequenos (ABETRE, 2007).

2.3.4 Incineração

✓ Conceituação e aspectos gerais

Nos primórdios dos processos de incineração se processava todo o tipo de resíduo, tanto orgânico como inorgânico, lixo industrial, hospitalar e urbano. Para Menezes et al. (2000), a evolução do processo de incineração aconteceu quatro gerações. Na primeira geração (1950-1965), os incineradores eram construídos com o intuito de apenas efetuar o tratamento dos resíduos para que houvesse uma

diminuição do volume e massa do mesmo, não havendo qualquer tratamento de limpeza dos gases residuais deste, sendo lançados diretamente na atmosfera. Na segunda geração (1965-1975) começam a surgir os primeiros mecanismos de proteção ambiental, forçando a utilização de equipamentos redutores de poluentes, surgiram unidades de grande capacidade, um interesse no uso da energia da recuperação dos gases de exaustão, câmaras de incineração duplas, para elevar a eficiência da queima.

Na terceira geração (1975-1990) houve um aumento tecnológico, permitindo uma elevação da eficiência e estabelecimento de normas de proteção ambiental. Começam a aparecer e ser introduzidos lavadores de gases para reduzir as emissões de gases ácidos. Na quarta geração (1990-dias atuais) há a inserção de novas tecnologias de limpeza e remoção de poluentes, como dioxinas e furanos dos gases de combustão com o objetivo de alcançar emissões de níveis próximos de zero. Ocorreu um aumento no movimento de preservação da natureza. São desenvolvidas novas tecnologias e conceitos para a disposição de resíduos finais inertes, que possam ser reciclados e/ou facilmente absorvidos pelo meio ambiente (MENEZES et al. 2000).

A incineração é um processo de oxidação seca a alta temperatura, que reduz os resíduos orgânicos e combustíveis à matéria inorgânica, diminuindo significativamente o peso e o volume dos resíduos, atingindo aproximadamente 15% do peso e 90% do volume inicial (TAKAYANAGUI, 1993). As cinzas são subprodutos deste método e por serem inertes, alguns estudos já demonstram a viabilidade para incorporação deste resíduo na construção civil (HENRIQUES et al., 2004).

Vários países considerados desenvolvidos adotaram a incineração como alternativa de destinação final de seus resíduos por falta de áreas para essa finalidade, obtendo resultados positivos, diminuindo o volume dos resíduos e evitando riscos ao ambiente. Para Fritsch (2000), a incineração adotada pelos países de Primeiro Mundo é realizada com sucesso e sem riscos ao meio ambiente, porém ressalta que o tratamento bem-sucedido se deve ao bom conhecimento técnico dos profissionais envolvidos.

A incineração dos resíduos sólidos urbanos com aproveitamento energético, seja para a geração de energia elétrica como para a geração de vapor ou ar refrigerado, é uma alternativa que tem sido empregada para solucionar os problemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, principalmente nos

países da Europa que dispõe de poucas áreas disponíveis, como Estados Unidos e Japão (GRIPP, 1998). Em 2009, foram instaladas 44.919 unidades de incineração que operam em vinte países da Europa Ocidental e Central (não incluindo as instalações de incineração de resíduos perigosos). Dinamarca, França, Alemanha, Holanda, Suécia e Suíça têm as maiores capacidades de incineração instaladas em percentagem do total gerado de resíduos sólidos urbanos. O governo de vários países europeus incentiva o uso de diferentes fontes de financiamento, também conhecido como "economia mista" para o financiamento e aquisição de novas infraestruturas de resíduos de modo a refletir as diferentes necessidades das autoridades locais (DEFRA, 2013).

A incineração exige mão de obra qualificada para a supervisão e operação do equipamento, porém a dificuldade está em encontrar e manter um pessoal bem qualificado (JARDIM, 1995). Esta tecnologia é indicada para o tratamento térmico de quantidades médias dos resíduos sólidos (mais de 160.000 t/ano ou 240 t/dia), sempre trabalhando com linhas médias de produção de 8 a 10 t/h. As principais vantagens e desvantagens da incineração podem ser visualizadas no Quadro .

Quadro 6 - Principais vantagens e desvantagens da incineração.

Vantagens	Desvantagens
Redução de volume;	Altos custos de investimentos, e de operação e manutenção;
Recuperação de energia;	Mão de obra qualificada;
Alimentação contínua dos resíduos;	Problemas operacionais;
Requer pequena área para instalação;	Inviabilidade com resíduos com menor poder calorífico;
Relativamente sem ruídos e sem odores;	Umidade excessiva, resíduos com menor poder calorífico dificultam a combustão, havendo necessidade de combustível auxiliar;
	Metais tóxicos podem ficar concentrados nas cinzas;

Fonte: Adaptado Jardim (1995).

✓ Características do processo

O processo de incineração atual geralmente consiste em dois estágios, inicialmente o resíduo é queimado na câmara primária (receptora direta do resíduo) em uma temperatura elevada para que algumas substâncias presentes se tornem gases e outras assumam formas de pequenas partículas. Sendo que nesta etapa a temperatura varia entre 500°C e 900°C. A temperatura é controlada, minimizando-se dessa maneira a formação de óxidos nitrosos e evitando-se a volatilização de grandes quantidades de metais presente no resíduo, como chumbo, cádmio, cromo,

mercúrio, entre outros. A fase gasosa gerada na câmara primária é encaminhada para a câmara secundária, sendo a mistura de gases queimada a uma temperatura mais alta (entre 750°C e 1250°C) por um intervalo de tempo suficiente para que haja combustão completa, a Figura ilustra um esquema representativo do esquema de combustão. O tempo de residência na primeira etapa é de aproximadamente 30 minutos e na segunda fase de 2 a 3 segundos. Sendo assim, os gases gerados são oxidados a CO₂ e H₂O e com a temperatura alcançada no processo a probabilidade de existência de moléculas com grande número de átomos nocivos aos seres humanos é praticamente zero (IEA, 1997; ARANDA, 2001). Os gases oriundos desta segunda etapa passam por um tratamento antes de serem lançados na atmosfera.

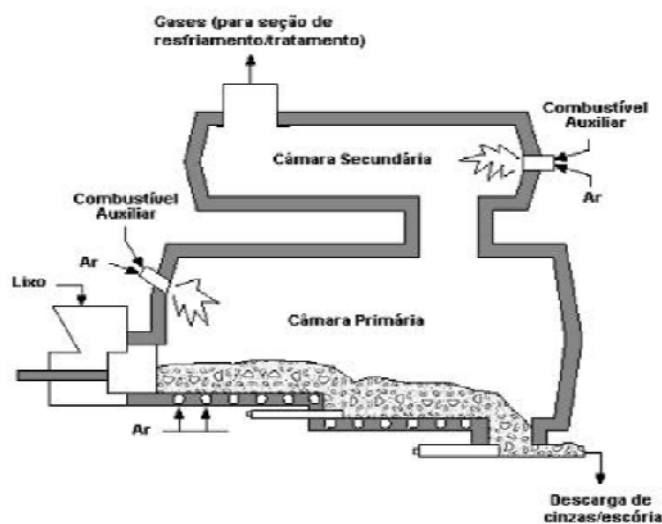


Figura 4 - Esquema representativo da dupla-câmara de combustão
Fonte: Aranda (2001).

Conforme a Figura , o resíduo entra pela primeira câmara onde o ar é injetado e se necessário também pode-se injetar combustível auxiliar. Os gases sobem para a segunda câmara onde mais ar e combustível (se necessário) são injetados. Após esta etapa, os gases seguem para um sistema de tratamento, e as cinzas ficam retidas na primeira câmara e deverão ser retirados e encaminhados para disposição final.

Existem diversas tecnologias de equipamentos de incineração, a utilização depende da natureza do resíduo sólido a ser processado. Mas dentre os incineradores há quatro modelos predominantes, sendo eles os mais utilizados: injeção líquida (pouco utilizada combinação com incineração de gases e vapores); câmara fixa; leito fluidizado e os fornos rotativos (LEAL JÚNIOR, 2003).

A recuperação total de energética de um incinerador moderno se situa entre 50 e 70% da energia presente nos RSU, da forma que 15 a 25% são energia elétrica e o restante é energia térmica (FADE, 2014). Segundo Tolmasquim (2003) o valor médio de geração de energia elétrica por tonelada de resíduos encontrados nas atuais usinas de incineração é de 769 kWh/t.

✓ Aspectos econômicos e financeiros de incineradores

A viabilidade técnica de implantação deste tipo de empreendimento varia de acordo com o poder calorífico dos resíduos processados e é recomendável a queima bruta a partir de um Poder Calorífico Inferior (PCI) que seja superior a a 2.000 kcal/kg. No Brasil, onde é admitido um PCI médio 1.850 kcal/kg (FEAM, 2012), essa viabilidade estaria condicionada a um pre tratamento dos resíduos.

A atual legislação brasileira permite que qualquer empresa possa produzir e comercializar energia, desde que possua uma potência mínima instalada de 3MW correspondente à energia comercializada. Sendo assim, só se recomenda sua instalação para o tratamento de quantidades encaminhadas superiores a 200 t/dia, o que implica uma viabilidade mínima para município de médio e grande porte (FADE, 2014).

Para análise dos custos com implantação da incineração, foram consideradas duas hipóteses de porte, cidades com população superior a 500.000 habitantes (650t/dia) e cidades com população superior a 2.000.000 habitantes (1300 t/dia). A Tabela 2 apresenta a síntese de análise de custos.

Tabela 2 - Síntese da análise de implantação de unidades de incineração.

Item	Valores (R\$)	Valores (R\$)
Capacidade máxima (t/dia)	650	1.300
	300.000.000,0	600.000.000,0
Custos totais de investimento (R\$)	0 a	0 a
	450.000.000,0	700.000.000,0
	0	0
Custo unitário de investimento (R\$/t)	93,31	75,74
Custos variáveis de operação (insumos) (R\$/ano)	3.300.000,00	6.630.000,00
Custos fixos de operação (mão de obra) (R\$/ano)	4.000.000,00	5.000.000,00
Despesas de Manutenção (reparos e seguros) (R\$/ano)	9.200.000,00	15.680.000,00
Despesas de disposição de rejeito (cinzas) (R\$/ano)	6.500.000,00	13.020.000,00
Custos totais de operação e manutenção (R\$/ano)	23.000.000,00	40.330.000,00
Custo unitário de operação e manutenção (R\$/t)	108,88	95,46

Fonte: Adaptado FADE (2014)

A modelagem econômica dos valores relacionados à implantação e manutenção de usinas de incineração aponta que a instalação de uma unidade desse tipo no país é justificada apenas em municípios de grande porte. Para as duas unidades analisadas acima, não há viabilidade de implantação aos custos e valores de comercialização praticados no Brasil. O retorno econômico do emprego dessa tecnologia só apresenta retornos financeiros nos casos em que, além da comercialização de energia e créditos de carbono, forem cobradas taxas de disposição final (FADE, 2014).

3 MODELOS DE GESTÃO APLICADOS EM ALGUNS MUNICÍPIOS DO SUL DO BRASIL

Alguns municípios brasileiros vêm investindo continuamente nos serviços básicos de saneamento para sua população e tornam-se modelos. A seguir serão destacados alguns exemplos positivos de gestão de resíduos sólidos urbanos na região Sul do Brasil.

Como referência em todo o país em coleta seletiva, Caxias do Sul – RS consegue atender a 93% das residências com o serviço e 99% dos moradores sabem o que é coleta seletiva. O programa de coleta seletiva, implementado na cidade em 1991, tem profundo impacto sobre o conhecimento e os hábitos da população: a cidade apresentou o maior nível de informação da população sobre materiais recicláveis e perigosos ao meio ambiente. Todo o material reciclável recolhido é destinado a 13 associações de catadores, que vendem o material para a indústria, depois de triado e prensado. Hoje, o serviço é feito de várias formas na cidade: em contêineres dispostos nas ruas do centro, e em alguns bairros, com base em troca por alimentos, batizada de troca solidária: a prefeitura dá um quilo de alimento fresco, adquiridos de agricultores da região, para cada quatro quilos de resíduos recicláveis (PAGANELA, et al., 2013).

O município de Londrina – PR também é referência em coleta seletiva. Com mais de 400 mil habitantes o município mostra seu exemplo, onde a partir de 2001 uma nova modalidade de coleta seletiva foi implantada. Primeiramente houve uma capacitação de todos os catadores e foram formadas as associações. A Companhia Municipal de Trânsito e Urbanização – CMTU, órgão responsável pelo gerenciamento da coleta seletiva, no último trimestre de 2001, demarcou a área do

entorno da região central e a dividiu em setores entregando cada setor para uma associação. Os catadores passaram a realizar a coleta com carrinhos fornecidos pela prefeitura, mantendo um contato direto com a população. O engajamento do setor público permitiu a ampliação da taxa de cobertura de 36 %, em 2001, para 100 %, em 2005. A modalidade de coleta seletiva porta a porta com catadores possibilitou a mensuração da participação da população e viabilizou a inclusão dos catadores. A taxa de material recolhido pela coleta seletiva em relação à quantidade coletada de resíduos domiciliares, passou de 2,92 %, em 2001, para 26,56 %, em 2006 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007).

O município de Tibagi – PR, localizado a 200 km de Curitiba, apresenta um histórico de gestão de resíduos sólidos que atesta a viabilidade da implementação de projetos de reciclagem e compostagem através do Programa Recicla Tibagi. Com aproximadamente 20 mil habitantes, o município trata todo o resíduo sólido domiciliar gerado através da implantação do Centro de Triagem e Compostagem de Tibagi – CTCT. Após a coleta, os resíduos passam pela triagem e a fração orgânica que representa 56% dos resíduos é destinada ao pátio de compostagem. O composto produzido é comercializado. Com o investimento realizado, o município reduziu gastos com a terceirização dos serviços, permitiu ainda mais distribuição de renda para os associados ao CTCT e diminuiu a quantidade de resíduos encaminhados para disposição final (MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO PARANÁ, 2013).

Os consórcios municipais para destinação dos resíduos sólidos é uma forma de gestão prevista na Política Nacional de Resíduos Sólidos e que apresenta resultados positivos para os municípios que aderem esse modelo de destinação. Como no Consórcio Intermunicipal de Gestão de Resíduos Sólidos – CIGRES que é composto por trinta municípios do noroeste do Rio Grande do Sul, e geram mensalmente a quantia de 1.380.308,45 kg de resíduos. Esses resíduos são separados, resultando no percentual de 18,91% de material reciclável que é comercializado ajudando na manutenção do aterro, 59,49% de material orgânico e o restante do material é destinado ao aterro sanitário. Dos trinta municípios consorciados verificou-se que 43,33% deles destinavam seus resíduos de forma inadequada antes do consórcio. E todos os municípios que fazem parte do CIGRES reconheceram que o consórcio auxiliou na prestação dos serviços e no

desenvolvimento da microrregião, trazendo vantagens econômicas, administrativas e ambientais aos municípios (CALDERAN, 2013).

Como pode ser verificado através dos exemplos, a gestão adequada no setor de resíduos sólidos proporciona benefícios gerais, sendo que os efeitos das intervenções relacionadas a este setor são positivos, por se constituírem em um serviço que assegura melhoria e bem-estar da população (VANDERSLICE; BRISCOE, 1995).

Todavia, os investimentos devem atender a requisitos técnicos, ambientais, sociais e econômicos, de forma a se trabalhar o conceito de desenvolvimento sustentável, de preservação e conservação do meio ambiente, refletindo diretamente no planejamento das ações de saneamento.

No Brasil, o investimento em saneamento ocorre de forma pontual, sendo predominantemente realizado pelo setor público. Além disso, soma-se o fato de que a falta de uma definição clara das responsabilidades peculiares à União, estados, Distrito Federal e municípios tornou difusa a aplicação dos recursos, não respeitando uma visão de planejamento global dos investimentos. Desse modo, torna-se necessário, além da melhoria na governança das organizações do setor, um planejamento consistente dos recursos a serem investidos para que os modelos de gestão de resíduos sólidos eficazes em alguns municípios possam ser estendidos para todas as regiões do Brasil.

4 CONCLUSÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos considera todos os aspectos que devem estar presentes na gestão, porém, falta colocar em prática os critérios estabelecidos e mudar a realidade dos municípios brasileiros.

A gestão de resíduos sólidos é uma questão multidimensional. Muitos municípios procuram equipamentos e tecnologias inovadoras como um caminho para encontrar soluções à diversidade de problemas que enfrentam. Porém, existem outros aspectos que devem estar presentes para que o sistema global funcione, como a questão jurídica, institucional, ambiental, sócio cultural e econômica.

Neste sentido, é imprescindível que os municípios adotem alternativas de acordo com a realidade local. As cidades devem reconhecer a necessidade de

adaptação, soluções de gestão de resíduos locais, sustentáveis que levam o contexto local como um ponto de partida, não de uma tecnologia importada que talvez venha a não dar certo.

Portanto, a Gestão e o Gerenciamento dos resíduos sólidos são tarefas complexas e abrangentes, refletindo na dificuldade da maioria dos municípios, devido principalmente à falta de autonomia, recursos e conhecimento técnico sobre o assunto.

INTEGRATED MANAGEMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE: PROSPECTS AND CHALLENGES

ABSTRACT

Integrated management of municipal solid waste (MSW) is justified because of exhaustion and commitment to natural resources, social, environmental and economic problems of disposal. The deficiency of MSW management services has generated negative impacts on the living conditions and well-being of the population. Noting the environmental impacts that the MSW can cause and the precariousness of the current situation in a number of Brazilian municipalities, are required to improve their management, increase efficiency and reduce costs, collaborating with the preservation of the environment. The present work aims at presenting the major technologies of the management, enhancement, and/or disposal of MSW treatment used in Brazil and point some municipalities in southern Brazil with efficient management models. The methodology consisted of a bibliographical review about the main advantages and disadvantages of the technologies, addressing a concept, characteristics and process economics. Also been researched articles on the subject and municipalities with effective management models in the southern region. It is concluded that the municipalities are thrusters of the socio-economic development and should adopt the guidelines adopted in order to implement its actions in this area, being the Brazilian solid waste Policy a guiding instrument.

Keywords: Solid waste management. Basic sanitation. Solid waste management technologies.

REFERÊNCIAS

ABETRE – Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos – **Estudo sobre os Aspectos Econômicos e Financeiros da Implantação e Operação de Aterros Sanitários**. São Paulo, 2007.

ARANDA, D. A. G. **A incineração controlada de resíduos sólidos – status mundial**. Rio de Janeiro, Brasil, Mimeo. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, NBR 8419**. 1992. São Paulo.

BARROS, R. T. de V. **Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos**. Belo Horizonte: Ed. Tessitura, 2012. 424 p.: il.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos: EESC-USP, Caixa Econômica Federal, 1999.

BLEY JÚNIOR, C. **Usinas de lixo no Brasil – Gerenciamento Atual e Perspectivas**. *Revista Limpeza Pública*, São Paulo: ABLP, n. 40, p. 11-19, jan./fev./mar. 1993.

BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Jaboatão dos Guararapes, PE: Grupo de resíduos sólidos – UFPE, 2014.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 de Ago. de 2010.

BRINGHENTI J. R.; GÜNTHER W. M. R; Participação social em programas de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos. **Revista Eng. Sanitária Ambiental**. vol.16 n. 4. Rio de Janeiro Out./Dec. 2011.

BRITO FILHO, L. F. **Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

BURGE, W. D.; COLLACICCO, D.; CRAMER, W.N. Criteria for achieving pathogen destruction during composting. **Journal of Water Pollution Control**, v.53, n. 12, p. 1863 – 1689, 1981.

BURNTLEY, S.J. A review of municipal solid waste composition in the United Kingdom. **Journal of Waste Management**. 27 (10), 1274–1285, 2007.

BUTLER, T.A., SIKORA, L.J., STEINHILBER, P.M., DOUGLASS, L.W. Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. **Journal of Environmental Quality**, 30, p. 2141–2148, 2001.

CALDERAN, T.B. **Consórcio público intermunicipal de Gerenciamento de resíduos sólidos domésticos: Um estudo de caso**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, do Centro

Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de Mestre em Ambiente e Desenvolvimento. Lajeado, RS. 2013.

CASALI, D. J. **Tratamento do efluente de uma recicladora de plásticos utilizando coagulante não metálico e compostagem**. 2011. 146 f. Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2011.

CATAPRETA, C. A. A. **Comportamento de um aterro sanitário experimental: avaliação da influência do projeto, construção e operação**. Tese Apresentada no Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal De Minas Gerais. Escola De Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2008.

CHRISTENSEN, T. H.; GENTIL, E.; BOLDRIN, A.; LARSEN, A.; WEIDEMA, B. P.; HAUSCHILD, M. C balance, carbono dioxide emissions and globalwarming potentials in LCA-modelling of waste management systems. **Waste Management & Research**, v.27(8), p.707-715. 2009.

CLAUDEL, N. Solid waste workers and livelihood strategies in Greater Port-au-Prince, Haiti. **Waste Management**, v.30(6), p.1138-1148. 2010.

DALTRO FILHO, J.; CARVALHO, J. S. **Pilhas de Compostagem de Resíduos Orgânicos Mistos: Estudo Experimental Em Sergipe**, 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, III-079, 2025 – 2034, 1999.

DEFRA – **Department for Environment Food & Rural Affairs. Incineration of Municipal Solid Waste**. 2013. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/221036/pb13889-incineration-municipal-waste.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2014.

DIAZ, L. F. Book review: The Science of Composting By Eliot Epstein Laricester, Technomic Publishing Co. **Waste Management & Research**, vol.17, nº. 2, p.66. 1999.

FADE – Fundação Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco. **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Jaboatão dos Guararapes, PE: Grupo de Resíduos Sólidos – UFPE, 2014.

FEAM –Fundação Estadual de Meio Ambiente. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: Guia de orientações para governos municipais**. Belo Horizonte, 2012.

FERNANDES, F.; PIERRO, A.C.; YAMAMOTO, R. Y. **Produção de fertilizante orgânico por compostagem do lodo gerado por estações de tratamento de esgotos**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v 28 - nº 5, p 567- 574. 1993.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. da. **Manual prático para compostagem de biossólidos.** UEL - Universidade Estadual de Londrina. Londrina PR. 1996.

FRITSCH, I. E. **Resíduos Sólidos e seus aspectos legais, doutrinários e jurisprudências.** Porto Alegre. EU/Secretaria Municipal da Cultura. 2000.

GALVÃO JUNIOR, A.C. **Aspectos operacionais relacionados com usinas de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares no Brasil.** Dissertação (mestrado) – EESC - Universidade de São Paulo, São Carlos, 113f. 1994.

GARCIA, C., HERNANDEZ, T., COSTA, F., CECCANTI, B., CIARDI, C. Changes in ATP content, enzyme activity and inorganic nitrogen species during composting of organic wastes. Canada. **Journal of Soil Science**, 72, 243–253, 1992.

GODDEN, B., PENNINGCKX, A.P., PERARD, A., LANNOYE, R. Evolution of enzyme activities during composting of cattle manure. European. **Journal of Applied Microbiology and Biotechnology**. 17, 306–310, 1983.

GRIMBER, E., BLAETH, P. (Org). **Coleta seletiva. Reciclando materiais, reciclando valores.** Pólis, Estudos, Formação e Assessoria em políticas sociais. São Paulo. 1998. 104 p.

GRIPP, W. G.; **Aspectos Técnicos e Ambientais da Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos: considerações sobre a proposta para São Paulo**, São Carlos: 1998. 208 f., Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

GUERRERO, L. A.; MAAS, G.; HOGGLAND, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. 2013. **Journal of Waste Management**. 33, 220–232.

HUAG R. T. **Composting Engineering: Principles and Practice.** Ann Arbr Science, USA. 1980.

HENRIQUES, R. M.; OLIVEIRA, L. B.; COSTA, A. O.; **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: Uma abordagem tecnológica.** Dissertação (Pós Graduação em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

IBAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Gestão integrada de resíduos sólidos: Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro, 2001.

ICLEI. **Tratamento e Destinação – Governos Locais pela Sustentabilidade**, 2011. Disponível em: <http://www.iclei.org.br/residuos/?page_id=356>. Acesso em: jan.

2015. In: Estudo técnico desenvolvido pela consultoria Arcadis Logos para o Projeto GeRes, 2011.

IEA – **Bioenergy. Appendix k Waste Incineration.** Renewables in Power Generation: Towards a Better Environment. 1997.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos.** 2010. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/100514_aprespsau.pdf. Acesso em 05 de ago. 2014.

IPT - Instituto de Pesquisa Tecnológica. **Manual de Gerenciamento Integrado. Lixo Municipal:** 2. ed. São Paulo: 2000. p. 29.

JAHNEL, MC;MELLONI, R.;CARDOSO, EJB. Maturidade de Composto de Lixo Urbano. **Agricola Scientia.** 1999, v. 56, n° 2, p. 301-304.1999.

JARDIM, N.S. et al. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento integrado.** São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas: CEMPRE, 1995. 278 p.

LEAL JÚNIOR, A. M. **Projeto de um incinerador tipo forno rotativo para resíduos hospitalares.** 2003. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2003.

LIMA, L. M.Q. **Tratamento de lixo.** São Paulo: Hemus, 2ª ed., 1991.

LOPES, A. A. **Estudo da gestão e do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos no município de São Carlos/SP.** 2003. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - São Carlos, 2003.

McDOUGALL F.; WHITE P.; FRANKE M.; HINDLE P. **Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory.** Oxford, UK/Malden, MA: Blackwell Sci. 2ª Ed. 2001.

MENEZES, R. A. A.; GERLACH, J. L.; MENEZES, M. A. **Estágio atual da incineração do Brasil.** ABLP – Associação Brasileira de Limpeza Pública. VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública. Curitiba. 2000.

MINGHUA, Z., XIUMIN, F., ROVETTA, A., QICHANG, H., VICENTINI, F., BINGKAI, L., GIUSTI, A. YI, L., 2009. Municipal solid waste management in Pudong New Area, China. **Journal of Waste Management.** 29, 1227–1233.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Resíduos sólidos domiciliares: Um programa de coleta seletiva com inclusão social.** Autora: Rosimeire Suzuki Lima. Brasília, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Guia para Elaboração de Planos de Gestão dos Resíduos Sólidos**. Brasil, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Melhoria da Gestão Ambiental Urbana no Brasil. Relatório Técnico 1, Estudos de custos relacionados com a Constituição de Consórcios Públicos de Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília/DF. 2010.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO PARANÁ. **Unidades de triagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos. Apostila para gestão municipal de resíduos sólidos urbanos**. 2º Ed. Curitiba – PR. 2013.

MITCHELL C.L. Altered landscapes, altered livelihoods: The shifting experience of informal waste collecting during Hanoi's urban transition. **Geoforum**, v.39(6), p.2019-202. 2008.

MONDINI, C., FORNASIER, F., SINICCO, T. Enzymatic activity as a parameter for the characterization of the composting process. **Soil Biology and Biochemistry** 36, 1587–1594. 2004.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J. O.; **Microbiologia e Bioquímica do Solo**, 2ª Ed. Editora da Universidade Federal de Lavras, 729p. 2006.

PAGANELA, et al. Responsabilidade ambiental: uma percepção dos acadêmicos na questão da reciclagem do lixo no município de Vacaria/RS. **Qualit@s Revista Eletrônica**, v.14. nº 1, 2013.

PARO, A. C., COSTA, F. C., COELHO, S. T. Estudo comparativo para o tratamento de resíduos sólidos urbanos: aterros sanitários X incineração. **Revista Brasileira de Energia**, vol. 14, nº2, 2º semestre, pp. 113-125, 2008.

PINTO, T. P., GONZÁLEZ, J. L. P. (Orgs.). **Elementos para a organização da coleta seletiva e projeto dos galpões de triagem**. Brasília: Ministério das Cidades e Ministério do Meio Ambiente, 2008. 57p.

POLPRASERT C. **Organic Waste Recycling: Technology and Management**. 2ª Ed. John Wiley & Sons. USA. 1996.

RODRIGO, J. CASTELLS, F. Environmental evaluation of different strategies for the management of municipal solid waste in Catalonia. Life Cycle Management. In: **1ª International Conference on Life Cycle Management**. Copenhagen. Denmark. P. 305-8. 2001.

RUFFINO, P. H. P. **Proposta de Educação Ambiental como instrumento de apoio à implantação e manutenção de um posto de orientação e recebimento de recicláveis secos em uma Escola Estadual de Ensino Fundamental**. São

Carlos. 63p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2002.

RUSSO, M.A.T. 2005. **Avaliação dos processos de transformação de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário**. 298 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal.

RUSSO, M. **Rota Tecnológica dos Resíduos Biodegradáveis**. 1º Seminário projeto BNDES – FADE: Recife, 5 a 7 de setembro de 2011. Disponível em: <<http://www.tecnologiasresiduos.com.br/secao/publicacao/>>. Acesso em: mar. 2015.

SCHALCH, V., LEITE, W. C. A., FERNANDES JUNIOR, J. L., CASTRO, M. C. A. A. **Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2002.

SHAUB, S. M., LEONARD, J. J. Composting: An alternative waste management option for food processing industries. **Trends in Food Science & Technology**. v.7, p. 263-264. 1996.

SHEN, T. T. Industrial Pollution Prevention. Springer Verlag. **In: Gerenciamento Ambiental**, Cap. II, p. 74-6. 1995.

STRASSER, S. **Waste and Want: A Social History of Trash**. New York City: Metropolitan Books. 355 p. 1999.

SUJAUDDIN, M., HUDA, M.S., RAFIQUUL HOQUE, A.T.M., 2008. Household solid waste characteristics and management in Chittagong, Bangladesh. **Journal of Waste Management**. 28, 1688–1695.

TAKAYANAGUI, A. M. M.; **Trabalhadores de Saúde e Meio Ambiente: ação educativa do enfermeiro na conscientização para gerenciamento de resíduos sólidos**. 178 f., Tese [Doutorado], Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto/USP, 1993.

TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of Solid Waste Management**. 2ª Ed. New York: McGraw-Hill, 2002.

TOLMASQUIM, M. T. (Org.). **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

UN-HABITAT - **United Nations Human Settlements Programme. Solid Waste Management in the World's Cities**. London: UN Hun. Washington, DC. Settl. Programm. 2010.

VANDERSLICE, J.; BRISCOE, J. Environmental interventions in developing countries: interactions and their implications. **American Journal of Epidemiology**, v. 141, p. 135-144, 1995.

VERGANA, S. E.; TCHOBANOGLOUS, G. Municipal Solid Waste and the Environment: A Global Perspective. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 37, p. 277-309, 2012.

VERGARA, S. E.; DAMGAARD, A.; HORVATH, A. Boundaries matter: Greenhouse gas emission reductions from alternative waste treatment strategies for California's municipal solid waste. **Resources Conservation And Recycling**, v.57, p.87-97. 2011.

VUORINEN, A.H. Effect of bulking agent on acid and alkaline phosphomonoesterase and b-glucosidase activities during manure composting. **Bioresource Technology**. 55, 201–206. 2000.

WHITE P.; FRANKE M.; HINDLE P. **Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory**. New York: Chapman & Hall. 1999.

WILLIAMS, P. T. **Waste Treatment and Disposal**. 2ª Ed. West Sussex, UK: Wiley. 380 p., 2005.

WILSON, D. C.; ARABA, A. O.; CHINWAH, K.;CHEESEMAN, C. R. Building recycling rates through the informal sector. **Waste Management**, v.29(2), p.629-635. 2009.

WILSON, D. C.; VELIS, C.; CHEESEMAN, C. Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. **Habitat International**, v.30(4), p.797-80. 2006.

ZANETI, I.C.B.B.; **Educação Ambiental, Resíduos Sólidos Urbanos e Sustentabilidade: Um estudo de caso Porto Alegre, RS**, Tese de Doutorado, Centro de Desenvolvimento Sustentável-UNB. Brasília, 2003.