



RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E ATERRO SANITÁRIO: CARACTERÍSTICAS GERAIS E NOVAS PERSPECTIVAS.

Anne Karoline Alves

annekar_alves@yahoo.com.br

Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Luiz Nishiyama

nishi@ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia

RESUMO

A disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) tem sido considerada um dos grandes problemas ambientais a serem resolvidos nesse novo século. O crescimento da população e das cidades, cada vez mais urbanizadas, juntamente aos padrões de consumo atuais, são fatores propulsores do aumento da geração de resíduos. O lixo gerado, no entanto, não tem sido tratado e disposto de forma adequada na maioria das cidades. Hoje já existem inúmeras formas de tratamento que permitem as administrações municipais, geralmente responsáveis pelo gerenciamento dos seus resíduos sólidos, se adequarem às normas de qualidade ambiental. Porém, não é essa a realidade observada, como mostram os dados apresentados pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística expostos no presente artigo. Uma das formas corretas e mais utilizadas para disposição dos RSU, são os aterros sanitários, técnica baseada em critérios de proteção sanitária e ambiental, com custos reduzidos se comparada a demais formas de tratamento e disposição. O comportamento dos resíduos sólidos, ao serem dispostos em aterros, está intrinsecamente relacionado a sua vida útil, bem como a segurança ambiental do local, por isso é preciso compreender como se processa ao longo do tempo a degradação dos RSU, para que seja feito o gerenciamento e monitoramento adequado da área. Hoje, os aterros sanitários já não são considerados apenas um local para disposição de resíduos, mas também uma forma de tratamento e aproveitamento do lixo, gerando energia através do reaproveitamento do biogás. No trabalho são apresentadas, além das definições e classificações de resíduos sólidos e aterro sanitário, novas perspectivas de gerenciamento dos RSU, considerando o aterro como um biorreator, buscando o aproveitamento econômico dos rejeitos oriundos da degradação do lixo.

Palavras-chaves: Resíduos Sólidos, Aterro Sanitário, Decomposição.

INTRODUÇÃO

Panorama atual dos resíduos sólidos urbanos no Brasil e no mundo

O crescimento populacional, aumento dos aglomerados urbanos e conseqüentemente aumento do consumo colocam a população mundial frente a um problema global: o que fazer do lixo gerado? O consumo cada vez maior de produtos, sejam eles alimentícios, industriais, tecnológicos e outros, tem aumentado substancialmente a quantidade de resíduos produzidos, ou seja, aqueles materiais que acredita-se não possuírem mais utilidade para o homem. É nesse momento que surgem questionamentos como: qual seria a destinação correta a ser dada para a enorme quantidade de lixo gerada atualmente?

No capítulo 21 da Agenda 21, é discutida a problemática dos resíduos sólidos:

O manejo ambientalmente saudável de resíduos deve ir além da simples deposição ou aproveitamento por métodos seguros dos resíduos gerados e buscar desenvolver a causa fundamental do problema, procurando mudar os padrões não-sustentáveis de produção e consumo." (Agenda 21, 1992).

A gestão correta do lixo, não tem tido a atenção necessária das partes competentes, comprometendo assim a saúde da população e ainda a qualidade ambiental dos recursos

naturais, especialmente o solo e a água. O que se percebe é a preocupação das administrações municipais em apenas afastar dos núcleos urbanos os resíduos coletados, dispondo-os em condições irregulares, em lixões a céu aberto, muitas vezes em córregos assoreados ou outros ambientes degradados que deveriam estar protegidos por legislação ambiental. Surge assim mais um problema relacionado a má gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU), a presença de catadores, muitas vezes crianças, denunciando o problema social que acompanha a administração incorreta do lixo.

No Brasil, dados divulgados pelo IBGE, através da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2000, confirmam que 63,6 % dos municípios brasileiros utilizam lixões e 32,2 %, aterros adequados (13,8 % sanitários, 18,4 % aterros controlados) e 5% não informaram para onde vão seus resíduos.

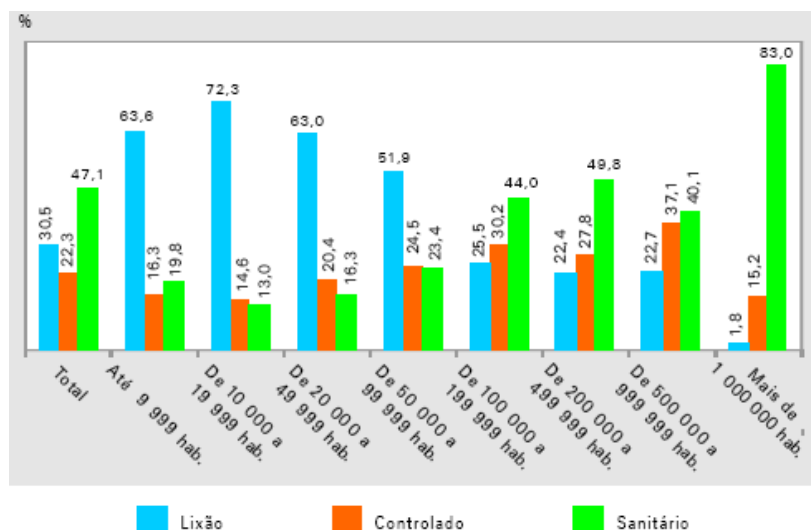
De acordo com o CEMPRE (1995 apud Alberte, Carneiro e Kan 2005, p.3) essa situação acontece em virtude de problemas como:

- Limitação financeira devido a orçamentos inadequados, fluxo de caixa desequilibrado, tarifas desatualizadas, arrecadação insuficiente e inexistência de linhas de crédito;
- Falta de capacitação técnica e profissional, em todos os níveis de formação;
- Descontinuidade política e administrativa.

Para Alberte, Carneiro e Kan (2005, p.3) a disposição de RSU nos lixões é um dos métodos mais difundidos para a grande maioria dos municípios brasileiros por que:

- Apresenta menor custo quando comparada com outros processos, exigindo poucos equipamentos e mão-de-obra não especializada;
- Grande parte dos municípios brasileiros é de pequeno porte e gera uma quantidade de lixo que, em princípio, não justifica grandes instalações. Além disto, a maioria dos pequenos municípios ainda não possui áreas próximas disponíveis para a construção dos aterros.

Gráfico 1: Percentual do volume de lixo coletado, por tipo de destino final, segundo os estratos populacionais dos municípios – 2000



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2000.

A tabela 1 apresenta dados da Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC), realizada pelo IBGE em 2002.

Tabela 1 - Disposição de resíduos sólidos nos municípios brasileiros, com ocorrência de degradação em áreas legalmente protegidas.

		Número de habitantes nos municípios					
		Até 5000	De 5.001 a 20.000	De 20.001 a 100.000	De 100.001 a 500.000	Mais de 500.000	Total
Total de Municípios		1371	2666	1292	198	33	5560
Disposição de resíduos sólidos com ocorrência de degradação em áreas legalmente protegidas		16	82	129	55	13	295

Fonte: IBGE, Pesquisa de Informações Básicas Municipais, 2002.

Org.: ALVES, A. K.

A tabela mostra que em muitos municípios ainda há disposição de resíduos em áreas legalmente protegidas, levando a degradação desses locais, fato que se dá em virtude da ausência de ações de proteção ambiental bem articuladas, ou do mau gerenciamento dos resíduos sólidos. Dos 33 municípios com mais de 500.000 habitantes, quase 50% enfrentam esse problema, o que notoriamente precisa ser solucionado. Esses resíduos dispostos em situações irregulares deveriam ser condicionados em aterros sanitários ou outras formas de tratamento e disposição, que atendessem a todas as exigências legais de funcionamento, evitando problemas como os verificados na Pesquisa de Informações Básicas Municipais do IBGE.

Atualmente observa-se a necessidade de se reduzir a quantidade de resíduos gerados, atitude difícil visto que o modelo de vida adotado pela população pauta-se na produção de produtos cada vez mais diversificados e no consumo exacerbado deles. Para que haja essa mudança de hábitos é importante que seja feita uma reflexão, através de campanhas de educação ambiental e redução do consumo de produtos que não possam ser reciclados ou que apresentem maiores riscos ao meio ambiente ao serem dispostos em aterros, induzindo a uma mudança de atitude também das empresas fabricantes.

METODOLOGIA

Esse trabalho faz parte do desenvolvimento de uma dissertação de mestrado na qual está sendo abordado o assunto encerramento de aterros sanitários. Sendo assim, é de suma importância que sejam conhecidas as características dos resíduos produzidos e ainda as condições dos aterros sanitários. Por isso, aqui, apresenta-se um levantamento referente a atual gestão dos resíduos sólidos no Brasil e no mundo e ainda informações gerais sobre aterros sanitários, seu funcionamento e a relação da má gestão dos resíduos, com a qualidade dos aterros.

Para realização desse estudo foi feito levantamento bibliográfico sobre o tema, leitura de livros, teses e dissertações, artigos e também consultas pela internet, com o objetivo de constituir um referencial teórico completo. Serão realizadas ainda visitas a aterros já encerrados, para a identificação de problemas potenciais e/ou ocorrentes com o intuito de compor um conjunto de normas e procedimentos técnicos que irão complementar o desenvolvimento da dissertação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Definição e classificação de resíduos sólidos

É importante definir o que são resíduos sólidos, comumente designados como lixo. Segundo a NBR 10.004 (2004) são conceituados como resíduos sólidos aqueles resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. A gestão de resíduos é fundamental, pois objetiva intervir nos processos de geração, transporte, tratamento e disposição final desses materiais, buscando garantir a curto, médio e longo prazo, a preservação da qualidade ambiental, bem como a recuperação das áreas degradadas.

A NBR 10.004 (2004) também classifica os resíduos sólidos em:

- Classe I ou perigosos: São aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.
- Classe II ou não-inertes : São os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos – ou Classe III – Inertes.
- Classe III ou inertes: São aqueles que, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma NBR 10.007, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, conforme teste de solubilização segundo a norma NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, conforme listagem nº. 8 (Anexo H da NBR 10.004), excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

Os resíduos sólidos urbanos também podem ser classificados segundo sua origem:

- Residencial
- Comercial
- Industrial
- Hospitalar
- Especial
- Feira, varrição e outros.

A maior parte dos resíduos sólidos é gerada pela população urbana, sendo então as cidades, os núcleos que concentram a maior quantidade de lixo produzida. De acordo com a contagem populacional do IBGE, a população brasileira em 2007, era de cerca de 184 milhões de habitantes. Em 2000 esse número não passava de 170 milhões, sendo que 81% moravam nas cidades. Nesse contexto o Brasil produzia, diariamente, 125.281 toneladas de lixo (IBGE/PNSB, 2000).

O crescimento das cidades tem sido bastante acelerado, concentrando cada vez mais pessoas e como consequência, mais resíduos são gerados. Por isso é fundamental que seja elaborado um bom gerenciamento dos resíduos sólidos, evitando que os problemas ligados ao lixo se intensifiquem na mesma proporção do crescimento populacional.

Podem ser adotadas diversas formas de gerenciamento, que variam nos países desenvolvidos e subdesenvolvidos, como mostra o quadro 1.

Países e Regiões	Densidade Demográfica	Nível de Renda	Características do Lixo	Gestão do Lixo
Japão Alemanha Bélgica Costa Leste dos EUA	Alta	Alto	Alta geração <i>per capita</i> e alto teor de embalagens.	Coleta total do lixo, com foco em programas de coleta seletiva. Incineração usada para gerar energia. Aterro sanitário, com controles ambientais, como forma de destinação final.
Canadá Países Nórdicos Interior dos EUA	Baixa	Alto	Alta geração <i>per capita</i> . Alto teor de embalagens com grande parcela de resíduos de jardinagem.	Coleta total do lixo. Aterro sanitário como principal forma de destinação. Algumas iniciativas de reciclagem, dependendo da região. Compostagem de resíduos orgânicos.
Continua na Índia China Egito Brasil	Alta	Baixo	Média geração <i>per capita</i> , teor médio de embalagens e alto de restos de alimentos.	Coleta inadequada do lixo. Crescente preocupação em fechar lixões e criar aterros sanitários com controles ambientais. Indústrias de reciclagem abastecidas por catadores trabalhando nas ruas e lixões.
Áreas rurais da África Algumas regiões da América Latina	Baixa	Baixo	Baixa geração <i>per capita</i> . Alto teor de restos de alimentos.	Coleta inadequada do lixo. Lixão como principal forma de destinação.

Fonte: SOUZA (2004 apud CEMPRE, 2002, p. 5).

Quadro 1: Situação Atual do Lixo no Mundo

No Brasil, a quantidade de resíduos gerados e o tipo de destinação, diferencia-se por região, sendo a região sudeste a que apresenta maior produção de lixo como mostra o quadro abaixo.

		Quantidade diária de lixo coletado (t/dia)					
		Brasil	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
Total		228413,0	11067,1	41557,8	141616,8	19 874,8	14296,5
Unidade de destino final do lixo coletado	Vazadouro a céu aberto (lixão)	48 321,7	6 279,0	20 043,5	13 755,9	5 112,3	3 131,0
	Vazadouro em áreas alagadas	232,6	56,3	45	86,6	36,7	8
	Aterro controlado	84 575,5	3 133,9	6 071,9	65 851,4	4 833,9	4 684,4
	Aterro sanitário	82 640,3	1 468,8	15 030,1	52 542,3	8 046,0	5 553,1
	Estação de compostagem	6 549,7	5	74	5 437,9	347,2	685,6
	Estação de triagem	2 265,0	-	92,5	1 262,9	832,6	77
	Incineração	1 031,8	8,1	22,4	945,2	30,1	26
	Locais não-fixos	1 230,2	95,6	128,4	781,4	119,9	104,9
	Outra	1 566,2	20,4	50	953,2	516,1	26,5

Fonte: PNSB (IBGE, 2000).

Quadro 2 – Estimativa de Geração de Resíduos Sólidos no Brasil.

Disposição e tratamento de resíduos sólidos

Existem diferentes formas para disposição final dos resíduos sólidos, embora nem todas sejam ambientalmente adequadas. Podem ser citadas o lixão, aterro controlado e aterro sanitário e existem ainda formas de tratamento dos resíduos, no Brasil entre os mais comumente utilizados estão a incineração e a compostagem.

Os lixões, muitas vezes confundidos com os aterros sanitários, configuram-se pela mera disposição do lixo a céu aberto, sem nenhum critério sanitário para a escolha do local e proteção ao ambiente. Sob o aspecto sanitário, é preocupante a proliferação de vetores, além da contaminação do solo e das águas pluviais e subterrâneas, já que o solo não é devidamente impermeabilizado.

Segundo a ABNT/NBR – 8849/85 um aterro controlado caracteriza-se pela disposição dos resíduos sólidos em local onde recebam uma cobertura, geralmente de solos ao final de cada jornada. No entanto, geralmente não é feita a impermeabilização do terreno e nem sistema de drenagem de chorume e biogás, podendo provocar a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas, como acontece nos lixões. Mas apesar de não ser a alternativa mais adequada, o aterro controlado apresenta inúmeras vantagens com relação ao lixão, como o acesso restrito dos catadores, diminuição da proliferação de vetores causadores de doenças e das aves de rapina, visto que os resíduos recebem cobertura.

No Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (2001, p.24), compostagem é definida como o processo natural de decomposição biológica de materiais orgânicos, de origem animal e vegetal, pela ação de microrganismos. SOUSA (2004 apud PROSAB, 1999, p.16) afirma que:

Tecnicamente pode-se definir a compostagem como sendo um processo de biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável. [...]

Para CASTRO (1998, p. 24) a incineração do lixo, é um processo de queima controlada dos resíduos combustíveis, visando a inertização e a diminuição do peso simultaneamente com a diminuição do volume. No entanto esse processo libera rejeitos, como gases tóxicos, cinzas e escórias, alguns desses se tornam inertes, porém outros, não.

Dentre as formas de disposição e tratamento de RSU apresentadas a que será apresentada no estudo são os aterros sanitários, por isso trataremos estes em um tópico à parte.

Aterro sanitário

A preocupação ambiental, ascendente no Brasil e no mundo, tem trazido novas discussões aos órgãos envolvidos bem como a sociedade comum. A legislação brasileira, já a algum tempo regulamenta os usos adequados dos recursos naturais, no entanto, na prática encontram-se ainda muitas falhas. A cada dia surgem novas tecnologias que podem ser usadas de forma positiva na busca pelo verdadeiro desenvolvimento sustentável, especialmente no que tange ao estudo de novas práticas para disposição de resíduos sólidos urbanos. Aterros de resíduos e sanitários são obras recentes, aterros sanitários com sistema de impermeabilização composto por geomembranas, começaram a ser implantados a partir da década de 1970 nos Estados Unidos (BOSCOV, 2008).

A NBR 10703 (1989) define aterro sanitário como:

Forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, através de confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solos, segundo normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos a saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais. (NBR 10703, 1989)

Em uma definição mais recente, de acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº118 de 27 de junho de 2008, aterro sanitário é uma:

Técnica adequada de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, 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 necessário. (Deliberação Normativa COPAM nº118, 27 de junho de 2008).

O princípio do aterro sanitário é evitar a contaminação do solo, das águas subterrâneas e superficiais e do ar. Para BOSCOV (2008):

O projeto global de um aterro de resíduos visa impedir o contato direto da massa de resíduos com o terreno natural, assim como sua exposição prolongada a atmosfera. Os elementos estruturais são, por sua vez, projetados com a finalidade de evitar emissões não permitidas. (BOSCOV, 2008)

Os aterros sanitários devem ser feitos em solo impermeabilizado e preferencialmente devem possuir uma vida útil superior a 10 anos, prevendo-se ainda o seu monitoramento por décadas após o seu fechamento, até que o maciço de lixo esteja totalmente estabilizado. PINTO (1979) afirma que, além da compactação e confinamento, num aterro sanitário são necessárias outras medidas de proteção ao meio ambiente, relacionadas com o controle dos percoláveis, como o chorume, e dos gases produzidos pela decomposição do lixo. Os líquidos e os gases são muito poluentes, por isso um projeto de aterro sanitário

exige cuidados como impermeabilização do solo, implantação de sistemas de drenagem eficazes, entre outros, evitando uma possível contaminação da água, do solo e do ar.

Apesar dos custos iniciais elevados, o aterro sanitário é uma solução bastante econômica se comparado as demais formas de disposição final, geralmente são operados por empresas privadas, contratadas pelas prefeituras, nesse caso a administração pública paga pela quantidade, em peso (R\$/tonelada) de resíduos recebidos.

Apesar das inúmeras vantagens, se não houver controle feito com rígidos critérios de engenharia, a má operação do aterro sanitário pode causar os mesmos problemas do lixão. O aterro sanitário não deve receber resíduos de serviço de saúde sem tratamento anterior, bem como resíduos industriais.

Dados coletados na Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC) de 2002, divulgada pelo IBGE, mostram que a preocupação ambiental ainda é ausente em muitos municípios brasileiros, dos 5560 municípios brasileiros, apenas 1949 declararam possuir aterro sanitário, no entanto, sabe-se que em muitos locais funcionam apenas aterros controlados, que são erroneamente classificados nas pesquisas quantitativas como aterros sanitários.

Entre os maiores municípios brasileiros, aqueles com mais de 500.000 habitantes, grandes geradores de resíduos, cerca de 50% afirmam possuir aterros sanitários. Nestas grandes cidades deve haver uma intensa preocupação com a destinação do lixo gerado pela população, muitas delas, aquelas que já possuem aterros sanitários, tem enfrentado problemas com relação a vida útil deles, visto que alguns já tem encerrado suas atividades.

A Tabela 3, retirada do CEMPRE (2002), mostra dados da United States Environmental Protection Agency (USEPA), de como tem sido o gerenciamento dos resíduos nos países desenvolvidos.

Tabela 2 – Geração Anual (milhões de t/ano) e principais formas de gerenciamento de resíduos em países desenvolvidos.

País	Geração Anual (milhões de t/ano)	Aterramento		Incineração		Compostagem		Reciclagem	
		(milhões de t/ano)	%	(milhões de t/ano)	%	(milhões de t/ano)	%	(milhões de t/ano)	%
Alemanha	25,8	12,5	48,45	10,0	38,76	0,8	3,1	2,5	9,69
Holanda	11,5	6,0	52,17	3,5	30,44	0,6	5,22	1,4	12,17
Suécia	8,2	4,0	48,78	3,0	36,58	0,2	2,44	1,0	12,2
Suíça	9,0	4,0	44,44	3,0	33,33	0,8	8,89	1,2	13,34
França	15,5	9,5	61,29	1,50	9,68	3,0	19,35	1,5	9,68
Inglaterra	34,5	30,0	86,96	3,5	10,14	0,0	0,0	1,0	2,9
Japão	62,5	11,3	18,05	39,0	62,3	2,3	3,67	10,0	15,98
Estados Unidos	210,0	125,0	59,52	30,0	14,29	7,0	3,33	48,0	22,86

Fonte: CEMPRE (2002, p.38)

Org.: ALVES, A K. (2009)

Conforme ilustra a tabela, países desenvolvidos também utilizam o aterramento como solução para disposição final dos resíduos, sendo encontrados os maiores valores na França e Inglaterra que ultrapassam 60% da geração anual de resíduos destinadas a aterros. Ainda que sejam utilizadas outras formas de gerenciamento como a incineração e a compostagem, os rejeitos gerados nesses processos precisam ser dispostos de forma segura, sendo portanto necessário o aterro sanitário, outro fator que favorece o uso deste método, é que nem todos os resíduos podem ser incinerados ou utilizados no processo de compostagem, em virtude de características específicas, como toxicidade, não combustividade, resíduos não orgânicos ou outras.

A reciclagem é outra prática importante no gerenciamento adequado dos resíduos. No entanto além da coleta seletiva não ser ainda hábito difundido entre a população, as administrações municipais que deveriam responsabilizar-se pela coleta dos materiais passíveis de serem reciclados, mostram-se muitas vezes ausentes, algumas associações de reciclagem não funcionam bem, não existe organização para coleta dos materiais recicláveis, causando assim desânimo nos moradores que tentam selecionar seus resíduos e não sabem qual destinação dar a eles. Além das vantagens sócio-ambientais inquestionáveis, a coleta seletiva e a reciclagem eficientes, acarretam a diminuição da quantidade de resíduos enviados aos aterros sanitários, favorecendo o aumento de sua vida útil.

Características dos resíduos sólidos urbanos e seu comportamento nos aterros sanitários

A vida útil de um aterro sanitário é um dos critérios mais importantes para sua implantação. Muitos fatores relacionados às características físicas e químicas dos resíduos sólidos urbanos, podem alterar a vida útil do aterro, cabe ressaltar alguns deles.

Os RSU são compostos geralmente por materiais putrescíveis (matéria orgânica, resíduos de varrição, etc), vidros, plásticos, papéis e papelões, madeiras, metais e outros (resíduos de serviço de saúde, resíduos industriais, lodo das estações de tratamento de água, resíduos de construção civil, etc). A heterogeneidade dos resíduos influencia diretamente no tempo de vida útil do aterro, cada tipo de resíduo apresenta características físicas e químicas distintas. O quadro abaixo mostra as características dos componentes de alguns RSU, segundo Sowers (1973), apud Boscov (2008).

Componente	Características
Resíduos Alimentares	Muito úmido, putrescível, rapidamente degradável, compressível
Papel, trapos	Seco a úmido, compressível, degradável, inflamável
Resíduos de Jardinagem	Úmido, putrescível, degradável, inflamável
Plástico	Seco, compressível, pouco degradável, inflamável
Metais ociosos	Seco, corrosível, pode ser amassado
Metais maciços	Seco, fracamente corrosível, rígido
Borracha	Seco, inflamável, compressível, não pode ser amassado, pouco degradável
Vidro	Seco, pode ser esmagado, pouco degradável
Madeiras, espumas	Seco, pode ser amassado, compressível, degradável, inflamável
Entulho de construção	Úmido, pode ser amassado, erodível, pouco degradável
Cinzas, pó	Úmido, possui características de solo, compressível, pode ser ativo quimicamente e parcialmente solúvel

Fonte: Sowers, 1973 apud Boscov, 2008.

Quadro 3 – Características dos Componentes dos RSU

Índices Físicos dos RSU

O estudo dos índices físicos dos resíduos sólidos urbanos torna-se importante para conhecer mais sobre seu comportamento e as conseqüências no maciço de lixo, tais fatores relacionam-se com a estabilidade do maciço, geração de gases e chorume e também com sua vida útil.

- Composição Gravimétrica

È expressa pelo percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra. A composição gravimétrica é importante para os estudos geomecânicos das propriedades dos resíduos, afinal quanto maior a presença de determinado resíduo na massa de lixo, mais a características gerais do maciço se assemelharão a ele. No Brasil o lixo é caracterizado principalmente por materiais orgânicos, especialmente resto de alimentos, como mostra a tabela 3.

Tabela 3 – Composição gravimétrica do lixo em diferentes países

Composição Gravimétrica do Lixo (%)				
Composto	Brasil	Alemanha	Holanda	EUA
Matéria Orgânica	65,00	61,20	50,30	35,60
Vidro	3,00	10,40	14,50	8,20
Metal	4,00	3,80	6,70	8,70
Plástico	3,00	5,80	6,00	6,50
Papel	25,00	18,80	22,50	41,00

Fonte: Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, 2001.

Org.: ALVES, A. K. (2009)

A composição gravimétrica varia com o local, está relacionada aos hábitos, atividade econômica predominante, nível sócio-educacional da população residente, etc. existe uma relação direta entre a porcentagem de resíduos orgânicos gerados e o poder aquisitivo da população, o mesmo é percebido no caso das embalagens descartáveis, nos países e regiões nas quais se concentram populações de alta renda, observa-se maior geração de resíduos descartáveis, como embalagens plásticas e de papel.

- Teor de Umidade

O teor de umidade de um aterro de RSU está relacionado a fatores como composição inicial do lixo, clima da região, varia também com a composição gravimétrica, profundidade, pluviometria e condições de drenagem do maciço. Esse índice é muito importante para determinar a velocidade de degradação dos resíduos putrescíveis, determinando sua vida útil e ainda a possibilidade de recalques e pressões neutras.

No entanto a heterogeneidade da massa de lixo torna a determinação desse índice muito difícil, afinal cada constituinte tem teores de umidade diferentes como mostra a tabela 4:

Tabela 4: Teor de umidade dos diversos componentes dos RSU

Componentes	Teor de Umidade (%)
Metais	19,6
Papel	74,8
Vidro	5,9
Plástico	41,5
Borracha	24,5
Têxteis	55,0
Pedra	12,6
Madeira	69,8
Matéria putrescível	47,0

Fonte: Limpurb, 1997 apud BOSCOV, 2008.

- **Peso Específico**

Corresponde a relação entre o peso e o volume da amostra. O peso específico varia de aterro para aterro e está muito relacionado a composição gravimétrica, pois a quanto maior a presença de resíduos putrescíveis, menor o peso específico. O método de disposição, profundidade, teor de umidade e grau de degradação também influenciam diretamente no peso específico do resíduo. Para Silveira (2004)

O principal fator de influência no peso específico é a composição dos resíduos, porém ele também irá depender da compactação durante a execução do aterro, da decomposição dos resíduos com o tempo, da dissipação das poro-pressões dos líquidos e dos gases, e da consolidação dos resíduos devido à sobreposição de novas camadas.

No entanto é difícil determinar o peso específico, em virtude da heterogeneidade dos RSU e ainda da dificuldade para retirar amostras indeformadas do maciço sanitário. Muitos autores dedicam-se a estudar este tema, havendo diferença nos valores encontrados por cada um deles.

O quadro abaixo permite verificar as diferenciações nos valores encontrados para peso específico, considerando-se a compactação, degradação e ocorrência de recalques.

Fonte	Peso específico (kN/m ³)
Benevuto e Cunha (1991)	Condição drenada: 10
	Condição saturada: 13
Santos e Presa (1995)	Resíduos recém-lançados: 7
	Após ocorrência de recalques: 10
Kaimoto e Cepollina (1996)	Resíduos novos, não decompostos e pouco compactados: 5 a 7
	Após compactação e ocorrência de recalques: 9 a 13
Mahler e Iturri (1998)	10,5 (seção com 10 meses de alteamento)
Abreu (2000)	Resíduos soltos: 1,5 a 3,5
	Resíduos medianamente densos: 3,5 a 6,5
	Resíduos densos: 6,5 a 14

Fonte: Boscov, 2008.

Quadro 4: Peso específico de Resíduos Sólidos Urbanos

Biodegradação dos RSU: geração de chorume e gases

Chorume e gases são rejeitos tóxicos produzidos através da degradação dos resíduos sólidos urbanos, que acontece em virtude de processos biológicos, físicos e químicos.

Diferentes processos estão relacionados a biodegradação dos RSU, podendo haver abordagens mais ou menos detalhadas. Aqui serão consideradas quatro fases, a aeróbica, anaeróbica não metanogênica ou ácida, anaeróbica metanogênica não estabilizada e anaeróbica metanogênica estabilizada (Farquhar e Rovers, 1973 apud Boscov, 2008).

A fase inicial é a aeróbica, ela dura entre poucas horas a uma semana e é quando o oxigênio (O_2) e o nitrogênio (N_2) presentes nos resíduos são consumidos, o que gera gás-carbônico (CO_2), água e calor. Nessa etapa as temperaturas podem atingir até $60^\circ C$ e são decompostos de 5% a 10% dos resíduos degradáveis.

Após o consumo total do oxigênio livre, o processo de degradação passa a ser anaeróbico. A decomposição ocorrida na fase aeróbica resulta na geração de ácidos orgânicos com elevada quantidade de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio). Essa fase dura de um a seis meses, e nela ocorre a degradação de 15 % a 20% da matéria sólida.

A próxima fase, metanogênica acelerada dura de três meses a três anos, nesse momento são produzidos metano (CH_4) e ácidos. O pH aumenta e a DBO e DQO diminuem.

A fase metanogênica desacelerada varia de 8 a 40 anos ou mais, já ocorreu transformação de grande parte da matéria orgânica em metano e gases, por isso a velocidade de produção deles diminui. Nesse momento a decomposição da matéria sólida atinge entre 50% e 70% do total.

CONCLUSÕES

Nova concepção de aterro sanitário: o aterro como biorreator

Atualmente o conceito de aterro sanitário como local para simples armazenamento de resíduos sólidos tem se alterado. Existem novas técnicas que permitem utilizar os aterros como forma de tratamento dos resíduos. Dessa maneira o objetivo é reduzir a massa e o volume do lixo, incentivando a decomposição microbiana, além de realizar o reaproveitamento do biogás para uso energético e troca no mercado de carbono. Os aterros são assim chamados de biorreatores. Boscov (2008) enumera algumas vantagens dos aterros biorreatores:

- Estabilização mais rápida da massa de resíduos, que se completa em 5 a 10 anos, enquanto em aterros convencionais são necessários de 30 a 100 anos;
- Aumento da produção de biogás;
- Aumento dos recalques finais e da velocidade de recalque (o que resulta em um espaço adicional que aumenta a vida útil do aterro);
- Redução da carga poluente no percolado, resultante da redução parcial a total dos produtos orgânicos, da diminuição da DBO, do aumento da produção de ácidos graxos que elevam o pH e reduzem a capacidade do chorume de transportar metais e da geração de um material semelhante ao húmus que age como um filtro para sais e metais presentes no chorume.

Existem, no entanto algumas desvantagens e cuidados que devem ser tomados em aterros biorreatores. O aumento da velocidade dos recalques pode danificar as estruturas de drenagem superficial e de chorume e também as de captação do biogás.

O aterro biorreator deve possuir um sistema injetor de água no maciço, pois a água é consumida na decomposição dos resíduos e a umidade é fator essencial para o funcionamento do biorreator. Os líquidos podem ser introduzidos na massa de resíduos por pré-umidificação, aspersão, valas escavadas na superfície do aterro e poços de injeção

(Boskov,2008). Em muitos aterros que já funcionam como biorreatores é feita a recirculação do chorume, que funciona como mecanismo de umidificação do maciço e ainda como tratamento do percolado.

A vida útil do aterro é fator fundamental, visto que geralmente aterros com menos de cinco anos ainda não possuem carga suficiente para geração de eletricidade (Borba, 2002 apud Marchi e Barbosa, 2007).

É preciso que haja cuidado ao realizar a recirculação de líquidos no aterro, fato que pode provocar instabilidade do maciço sanitário, por isso deve ser feito o monitoramento constante das condições do aterro.

Ao ser preparado para funcionar como aterro biorreator, com o aproveitamento do biogás, o aterro pode entrar no comércio de emissões de créditos de carbono, que trata-se da geração de créditos de carbono por meio de projetos que absorvam ou reduzam gases de efeito estufa, assim são comercializadas cotas para emissão de gases poluentes, de modo que países que estejam abaixo da cota permitida podem vender as não utilizadas para outros. Marchi e Barbosa (2007) afirmam que o Banco Mundial vem assinando contratos pra compra desses créditos, oriundos de aterros brasileiros, com o governo da Holanda, do Canadá e da França, dentre outros.

Os riscos do uso inadequado de antigas áreas receptoras de lixo: exemplos no Brasil

A disposição de resíduos sólidos em determinada área, seja de maneira adequada em aterro sanitário ou como lixão, confere ao local características muito particulares e cuidados essenciais que precisam ser observados ao pensar em algum uso futuro deste. A decomposição dos resíduos pode levar décadas para se completar, até que a massa de lixo se torne estável.

Instabilidade de taludes, recalques, contaminação por gases ou através dos percolados, são alguns dos problemas que podem ocorrer. É essencial que seja feito o monitoramento adequado dessas áreas evitando contaminação ambiental e humana, caso ela seja usada inadequadamente.

No entanto, o crescimento das cidades, impulsionado pelo aumento da população, torna os espaços adequados para construções cada vez mais escassos. Além disso, e ainda mais grave, o mau planejamento das administrações municipais associado à presença de construtoras inescrupulosas, permite que sejam usadas áreas inadequadas, antigos depósitos de lixo, para construção de edificações.

No Brasil, existem alguns exemplos dessa prática irresponsável e ilegal. Em Ribeirão Preto – SP, em 1991 foram construídos os conjuntos habitacionais populares Jardim Juliana e Jardim Palmeiras I e II. No local entre os anos de 1974 e 1978 funcionou um lixão. Logo que foram entregues, as residências começaram a apresentar problemas como recalque da base de sustentação e rachaduras, além da exposição dos moradores aos contaminantes do lixo, que ainda estava em processo de decomposição.

Em Mauá – SP foram construídos edifícios em uma área usada como depósito de lixo industrial, cuja responsável era a empresa Cofap. Análises realizadas pela Cetesb (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) constataram a presença de 44 substâncias tóxicas, inclusive algumas cancerígenas. Foram detectados problemas como gases tóxicos brotando do chão, cheiro forte de produtos químicos, doenças de pele e doenças letais, como câncer. Um técnico morreu em uma explosão ao fazer manutenção de uma bomba em uma das caixas d'água do condomínio. O caso foi para a justiça que determinou a evacuação e demolição dos prédios, além de indenizações aos moradores, mas, até agora, nada foi feito.

Problemas como esses não são raros, talvez muitos não tenham sido noticiados. Fica evidente, além da péssima imagem das empresas envolvidas e da prefeitura dos municípios, que áreas receptoras de resíduos sólidos, devem ser isoladas até que a

estabilização dos resíduos se complete, ou usadas em obras adequadas e com o devido monitoramento, para evitar que tragédias como essas ocorridas no estado de São Paulo tornem-se ainda mais comuns.

REFERÊNCIAS

ALBERTE, Elaine P. V., CARNEIRO, Alex P., KAN, Lin. **Recuperação de Áreas Degradadas por Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos**. Diálogos & Ciência – Revista Eletrônica da Faculdade de Tecnologia e Ciências de Feira de Santana. Ano III, n. 5, jun. 2005. Disponível em: < <http://www.ftc.br/revistafsa>>. Acesso em 14 de jun. 2009.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 1004-2004 - Resíduos Sólidos: classificação**. 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10703/89 – Degradação do Solo**. 1989.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8849/85 – Apresentação de Projetos de Aterros Controlados de Resíduos Sólidos Urbanos**. 1985.

BOSCOV, Maria Eugênia G. Geotecnia Ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 248 p.

CASTRO, M. S. M. V. **Uma Análise Comparativa do Modelo de Gestão de Resíduos Sólidos Domiciliares em Uberlândia**. 1998. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 1998.

CEMPRE. **Lixo Municipal**: manual de gerenciamento. 2. ed. Brasília: CEMPRE, 2002.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE DESENVOLVIMENTO. **Agenda 21**. 3. ed. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2001.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. Deliberação Normativa nº118 de 27 de junho de 2008. Altera os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, e dá outras providências. **Diário do Executivo**. Minas Gerais. 01 de jul. 2008.

GOMES, José Arnaldo. Licenciamento Ambiental – Normas Vigentes e Critérios para Instalação, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários. **Resid' 2004 – II Seminário sobre Resíduos Sólidos**. São Paulo, 2004.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de Informações Básicas Municipais**. 2002. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/meio_ambiente_2002/default.shtm> Acesso em 03 de Jan. 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**. Rio de Janeiro, 2002.

JUCÁ, José Fernando T. Destinação Final dos Resíduos Sólidos no Brasil: Situação Atual e Perspectivas. **Resid' 2004 – II Seminário sobre Resíduos Sólidos**. São Paulo, 2004.

MARCHI, Cristina M. D. F., BARBOSA, Johildo S. F. **Possibilidades e Limitações da Utilização de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo em Aterros Sanitários Compartilhados no Estado da Bahia**. 2007. Disponível em <<http://www.observapoliticas.adm.ufba.br/files/sibraden.pdf>>. Acesso em 17 de maio de 2009.

MONTEIRO, J. H. P. et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM.

PINTO, Mário da Silva. **A Coleta e Disposição de Lixo no Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1979.

SILVEIRA, Ana Maria de M. **Estudo do Peso Específico de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2004. 106 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004.

SOUZA, Kally Alves de. **Novas Perspectivas da Gestão de Resíduos Sólidos em Araguari-MG pela Coleta Diferenciada Associada à Compostagem**. 2004. 103 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. 2004.