InterfacEHS
Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade
ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

AVALIAÇÃO DE DEGRADABILIDADE DE EMBALAGENS PLÁSTICAS UTILIZADAS NO ACONDICIONAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

DEGRADABILITY ASSESSMENT OF PLASTIC PACKAGING USED IN PACKAGING OF MUNICIPAL SOLIDS WASTES

Fabiana Alves Fiore Pinto[1]
Emília Satoshi Miyamaru[2]
Maíra Alonso Klaussner[3]
Camilla Raucci[4]

RESUMO

Considerando a falta de informações sobre a degradabilidade, em aterros brasileiros, dos polímeros utilizados para o acondicionamento de resíduos sólidos urbanos, o presente trabalho tem por objetivo verificar a degradação comparativa de sacos plásticos oxi-biodegradáveis, sacos plásticos comuns e sacolas plásticas concedidas em supermercado para transporte de produtos, em diferentes condições de aterramento. Foram utilizados cinco reatores experimentais construidos com tubos de PVC e estudou-se a influência de variáveis tais como: temperatura, recirculação de chorume e recirculação de água de chuva. Ao final de 24 semanas observou-se que as sacolas plásticas distribuídas pelos supermercados foram as que obtiveram maior degradação, seguida das embalagens oxi-biodegradável e comum. Verificou-se que as embalagens plásticas confinadas nas células inferiores obtiveram maior degradabilidade em relação às células superiores, mostrando que, mesmo que pequena, a pressão realizada pelo peso

[1] Doutora em Saneamento e Meio Ambiente - FEC/UNICAMP. Pesquisadora e professora do Centro Universitário Senac/SP.
Endereço: Av. Engenheiro Eusébio Stevaux, 823, Santo Amaro, CEP: 04696-000, São Paulo, Brasil. Tel: (11) 5682-7530. E-mail: fabiana.afiore@sp.senac.br
[2] Doutora em Ciências pela Universidade de São Paulo – USP/IPEN. Pesquisadora e professora do Centro Universitário Senac e do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.
[3] Engenheira Ambiental do Centro Universitário Senac/SP.
[4] Engenheira Ambiental do Centro Universitário Senac/SP.

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

da massa influencia na degradação do polímero.

Palavras Chave: degradabilidade de polímeros, embalagens oxi-biodegradáveis, sacolas plásticas, chorume.

ABSTRACT

Considering the lack of information on the degradation of polymers for packaging in MSW landfills in Brazil, the aim of present work was to analyze the objective comparative degradation of oxy-biodegradable plastic bags, plastic bags and plastic bags common at supermarket granted to transport products in different conditions. The study was conducted using five experimental reactors built with PVC pipes and studied the influence variables such as temperature, leachate recirculation and recirculation of rainwater. At the end of 24 weeks was observed that supermarkets that had higher degradation, followed by oxy-biodegradable packaging and common, distributed plastic bags. The study showed that the lower cells that contained plastic bags had higher degradability if compared to higher cells, showing that even small pressure accomplished by weight of the dough influence on polymer degradation.

Keywords: degradability plastic, bags oxy-biodegradable, plastic bags, manure.

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

INTRODUÇÃO

Segundo a Política Nacional Brasileira de Resíduos Sólidos – PNRS (2010), a única atividade de manejo dos resíduos sólidos urbanos atribuída ao gerador é o seu acondicionamento. No Brasil, as embalagens plásticas, introduzidas no mercado na década de 1970, são utilizadas em larga escala para o acondicionamento dos RSU, quer seja por que estas garantem as condições adequadas para as demais atividades de manejo ou pela existência de normas técnicas específicas para a sua fabricação (BRASIL, 2010).

As embalagens plásticas comumente utilizadas pela população brasileira para o acondicionamento de seus RSU são os sacos comuns e oxi-biodegradáveis, fabricados especificamente para esta função[5], ou as sacolas concedidas em supermercados para o transporte de produtos. Juntamente com o aumento de geração de resíduos sólidos, ocorreu acréscimo de geração de sacolas plásticas. Mesmo não sendo o maior fator de poluição do meio ambiente, as sacolas geram um alto custo para o meio ambiente, primeiramente por serem produzidas a partir de recursos naturais não renováveis (petróleo), por emitirem gases tóxicos e de efeito estufa e finalmente por serem na maioria das vezes descartadas de maneiras inadequadas. (MMA, 2014).

A substituição dos sacos, desenvolvidos especificamente para a embalagem dos resíduos sólidos, por sacolas plásticas distribuídas gratuitamente nos supermercados é uma das alternativas de reuso encontrada pelas famílias brasileiras para a minimização de seus custos. As recentes proibições de distribuição gratuita dessas embalagens em diversas unidades da federação brasileira levaram a questionamentos diversos, principalmente com respeito aos impactos ambientais decorrentes das disposições dessas sacolas.

No Brasil, os dados sobre a degradabilidade dos plásticos são escassos ou não se referem às condições de degradação em aterros sanitários, como é o caso do estudo desenvolvido pelo IPT em 2012. Além disso, os estudos de degradação de materiais realizados nos aterros sanitários são recentes, e não ainda não produzem informações técnicas capazes de balizar a escolha do gerador por embalagens acondicionadoras de resíduos que garantam o menor impacto possível não são divulgadas.

[5] Especificados pelas normas técnicas das series: 9.19_ e 13.05_

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

Face às considerações apresentadas, o objetivo geral do presente artigo foi verificar qual o tipo de embalagem plástica, utilizada para o acondicionamento dos resíduos sólidos urbanos, possui o menor tempo de degradação anaeróbica. Constituíram-se como objetivos específicos, simular diferentes condições de aterramento por meio de reatores em escala piloto e verificar a degradação comparativa de sacos plásticos oxi-biodegradáveis e comuns e sacolas plásticas concedidas em supermercado para transporte de produtos, em diferentes condições de aterramento.

1. EMBALAGENS PLÁSTICAS

No Brasil são utilizados diferentes materiais para acondicionamento dos resíduos sólidos como, caixotes de madeira e papelão, recipientes feitos de pneus usados, latões de óleo geralmente cortado ao meio e sacolas plásticas. De acordo com recomendações do IBAM (2001), para o acondicionamento adequado de resíduos sólidos urbanos os recipientes devem:

- pesar menos que 30 kg incluindo a carga se a coleta for manual;
- ter dispositivos que facilitem seu deslocamento, evitar o vazamento e/ou exposição do resíduo;
- serem seguros, assegurando a saúde do trabalhador caso o lixo contenha algum material cortante;
- serem facilmente esvaziados e que não produzam ruídos excessivos ao serem manejados.

Muitos materiais utilizados para transporte de produtos (embalagens), como por exemplo, as sacolas de supermercado, são posteriormente transformadas em locais para acondicionamento de resíduos sólidos urbanos.

De acordo com Pinto (2007) existem diversas discussões sobre o fim da fabricação de embalagens, embasadas no fato de que na maioria das vezes estas não são mais utilizadas posteriormente, porém, este é um debate sem fundamentos, já que é impossível transportar e acondicionar os materiais sem suas embalagens, sem algum tipo de perda ou contaminação. Portanto, deve haver o incentivo à reutilização, como por exemplo, o uso de sacolas retornáveis.

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

Conforme o Ministério do Meio Ambiente (2011) são consumidas mundialmente mais de 500 bilhões de sacolas plásticas por ano, só no Brasil esse número chega aproximadamente a 15 bilhões. Este número não é tão representativo se comparado aos 100 bilhões consumidos nos Estados Unidos, utilizando cerca de 12 milhões de barris de petróleo para sua fabricação. De acordo com a ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SUPERMERCADOS (2011) o uso do petróleo para fabricação de sacolas provoca severos danos ambientais e na maioria das vezes o descarte desse tipo de produto é realizado de forma incorreta, podendo provocar contaminação do solo e dificultar a compactação de aterros sanitários.

Algumas cidades começaram a criar programas para a redução do uso de sacolas plásticas como em São Francisco na Califórnia que proibiu a utilização destas em 2007, na China, na Austrália e na cidade do México onde a distribuição gratuita de sacos plásticos no comércio foi proibida.

No Brasil, em junho de 2009 foi lançada uma campanha chamada "Saco é um saco", pelo Ministério do Meio Ambiente, que pretende despertar a atenção da população e fazer com que o consumo e os hábitos ligados a utilização de sacos plásticos sejam modificados.

Outra ação governamental que está se popularizando no Brasil é a substituição das sacolas utilizadas em supermercados por sacolas oxi-biodegradáveis. Vale ressaltar que em função da falta de estudos realizados, ainda há muitas dúvidas quanto a degradação das sacolas oxi-biodegradáveis e com isso alguns estados não aderiram à nova tecnologia (COSTA, 2009).

De acordo com Pinto (2007), sacolas oxi-biodegradáveis é uma solução ambientalmente incorreta já que estas se transformam em pó poluindo ainda mais o solo e a água, além disso, para se transformar em pó, são necessários catalisadores à base de metais pesados como chumbo e titânio que poluem ainda mais o meio ambiente. Para ACMINAS (2011) os aditivos adicionados para fabricação de sacolas oxi-biodegradáveis possuem em suas composições, catalisadores químicos que podem ser prejudiciais ao meio ambiente, principalmente quando presentes em rios, plantações, florestas, etc..

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

Não é porque o plástico não se decompõe no meio ambiente que ele não é ambientalmente correto, sendo que este pode ser inteiramente reciclado e é exatamente pelo fato do plástico não se degradar facilmente que ele pode ser utilizado várias vezes. É contraditório dar ênfase a utilização de sacolas oxi-biodegradáveis sendo estas mais caras e menos eficientes e que devolvem rapidamente ao meio ambiente os resíduos de carbono que foram sequestrados durante a produção do plástico. (PINTO, 2007)

As sacolas compostáveis ou biodegradáveis são produzidas com matéria orgânica, geralmente, o amido de milho, de fácil decomposição. Elas se degradam em até 180 dias devido à ação de microorganismos presentes em ambientes de compostagem e de aterros sanitários. (ACMINAS, 2011). De acordo com SOUZA, CELLA e SÁ (2007), o processo de digestão anaeróbia efetuada pelos microorganismos, na ausência de oxigênio, degrada a matéria orgânica, encontrada nos resíduos sólidos urbanos. O processo de degradação de resíduos sólidos orgânicos, em aterros, é composto de fenômenos físico-químicos e microbiológicos, resultando na liberação de gases e chorume (CINTRA, 2003).

De acordo com LIMA (2004) as fases de degradação podem ser divididas em:

- fase acetogênica – matéria orgânica é sintetizada – via hidrólise - por microorganismos produtores de acetato. Ocorre em meios com pH variando de 4 a 6,5.
- fase metanogênica – decomposição microbiana, onde ácidos orgânicos são sintetizados por microorganismos consumidores de ácidos, produzindo gases como metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Ocorre em meios com pH variando de 7 a 7,5.

CINTRA (2003) divide as fases de estabilização dos resíduos em:

- fase I - formação de ácidos – possui pH inferior a 6,0, elevados valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) e aumento na produção de CH_4;
- fase II - metanogênica instável - redução nos valores de DBO, DQO e CO_2, e aumento de CH_4 e pH;
- fase III - metanogênica estável – caracteriza pelo equilíbrio dos microorganismos formadores de CH_4, onde a produção do metano é estável, e há redução de CO_2, DQO e ácidos.

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Dimensionamento e montagem dos reatores experimentais

Para verificar a degradabilidade de embalagens plásticas, particularmente os sacos/sacolas plásticas utilizados para o acondicionamento dos RSU, foram projetados e confeccionados 5 reatores experimentais.

Estes reatores foram confeccionados com tubos de Policloreto de Vinila – PVC, de diâmetro externo de 25 cm. O reator 1 (laranja) com altura de 1,10 m e capacidade aproximada de 54 litros foi projetado para a simulação de um aterramento convencional. Para o fechamento do sistema foram instalados "capes" na parte inferior do reator e na parte superior foi adaptada uma tampa, ambos de PVC, conforme mostrados nas Figuras 1, 2 e 3.

Figura 1 - reator 1 (laranja)

Figura 2 – detalhe do capes

Figura 3 – detalhe da tampa

Os demais reatores com altura de 1,20 m e capacidade de 58,90 litros cada um foram confeccionados de PVC para alimentação de água de chuva ou recirculação de chorume. Nestes reatores foram acoplados na parte inferior de cada tubo e na parte central de cada 'cape", adaptou-se uma válvula de 1/2 polegada e uma tubulação de polietileno de ½ polegada. A parte superior de cada reator foi fechada com uma tampa, onde na parte

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

central foi adaptada uma válvula de 1/2 polegada e uma mangueira de polietileno de ½ polegada. A Figura 4 ilustra a unidade experimental dos quatro reatores.

Figura 4 – reatores 2, 3, 4 e 5

2.2 Embalagens plásticas e acondicionamento do RSU

Para o estudo, foram utilizados 5 tipos de polímeros para acondicionamento do RSU. A escolha foi estabelecida de acordo com o que havia no mercado consumidor. As sacolas plásticas cedidas nos supermercados para o transporte das compras também são utilizadas para o acondicionamento de resíduos, portanto foram escolhidas 3 grandes redes de supermercados, que atuam no município de São Paulo, aqui referidas como: Supermercado 1, Supermercado 2 e Supermercado 3. Também foram utilizados 2 tipos de sacos plásticos da marca Embalixo, o tipo comum e a oxi-biodegradável (Tabela 1).

Tabela 1 – Características das embalagens plásticas

Embalagem	Dimensões	Composição	Cor	Peso (g)
Comum	34 cm x 38 cm	Polietileno de baixa	branca	2,82
Oxi-biodegradável	34 cm x 38 cm	densidade, pigmento e aditivo	azul	6,97
Supermercado 1	34 cm x 38 cm		verde	4,07
Supermercado 2	34 cm x 38 cm	Sem especificação técnica	branca	3,88
Supermercado 3	34 cm x 38 cm		branca	4,37

Todos os polímeros visualizados na Figura 5 foram pesados em uma balança de precisão de capacidade máxima de 440 Kg do laboratório.

Figura 5 – Sacos/sacolas plásticas utilizadas no acondicionamento de resíduos

Para o preenchimento dos sacos/sacolas plásticas adotou-se a composição dos RSU de acordo com a média do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil apresentada no relatório da ABRELPE (2008). Após a triagem dos materiais foi estabelecida a densidade de acordo com o seu volume e massa, utilizando balança de precisão de capacidade máxima de 440 Kg. (Tabela 2).

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

Tabela 2 – Características dos resíduos

Resíduo	Principais Materiais	Massa (g)	Volume (L)	Densidade ($g.L^{-1}$)
Matéria Orgânica	Restos de alimentos, principalmente frutas	179,527	0,4	448,82
Plástico	embalagens	11,209	0,1	112,09
Papel	folha sulfite	8,063	0,2	40,315
Vidro	garrafas	132,921	0,2	664,61
Metal	latas de refrigerantes	13,718	0,15	91,45

Os materiais foram fragmentados manualmente com auxílio de uma tesoura para facilitar na alimentação dentro do reator (Figura 6).

Figura 6 – resíduos fragmentados

A partir dos resíduos segregados foram preparadas amostras, sendo que em cada amostra dos polímeros receberam a seguinte composição apresentada na Tabela 3.

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

Tabela 3 – Composição mássica dos resíduos

Resíduo	Massa (g)
Matéria Orgânica	264,04
Plástico	13,07
Papel	11,75
Vidro	21,13
Metal	2,91
Total	312,9

2.3 Condições experimentais

De modo a simular diferentes condições de operação de um aterro sanitário, o presente estudo utilizou o aterramento convencional com e sem infiltração de água decorrente de chuvas e o aterramento com a recirculação de chorume, conforme as condições apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Reatores e suas condições de operação

Reator	Cor	Condições de operação
1	Laranja	Aterramento convencional sem infiltração.
2	Amarela	Aterramento com recirculação contínua de chorume.
3	Verde	Aterramento com recirculação contínua de chorume e variação de temperatura.
4	Azul	Aterramento com adição de água de chuva e variação de temperatura.
5	Preta	Aterramento com adição de água de chuva.

2.3.1 Chorume

O chorume utilizado foi disponibilizado pelo Aterro Sanitário Bandeirantes, localizado em São Paulo no bairro de Perus no quilômetro 26 da rodovia dos Bandeirantes. Vale ressaltar segundo Lefèvre (2011) as atividades do aterro Bandeirantes se iniciaram no ano de 1978, e seu encerramento se deu no ano de 2007. Em cada um dos reatores 2 e 3 (amarelo e verde) foram introduzidos 5,3 L de chorume, mesmo volume de uma das células, para que não houvesse saturação da primeira célula. As características iniciais do chorume podem ser visualizadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Características do chorume introduzido nos reatores

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

PARÂMETRO	VALORES OBTIDOS
pH	9,4
Coliformes Fecais	364 nmp
Coliformes Totais	> 2.005 nmp
DBO	26 $mg.L^{-1}$
DQO	114.500 $mg.L^{-1}$
Amônia	520 ppm
Fosfato	1.380 ppm

2.3.2 Água da chuva

A água de chuva utilizada no estudo foi simulada de acordo com as características de pH e cloro da amostra da água pluvial coletada no local do de implantação do experimento em dois dias consecutivos. Para isso, efetuou-se a análise espectrofotométrica em relação ao cloro. Adicionou-se 20 mL da solução de hidróxido de sódio com 0,1$mol.L^{-1}$ a cada 10 L da água coletada no bebedouro, para correção de pH (Tabela 5).

Tabela 5 – Características da água de chuva e água do bebedouro.

	Cloro livre (ppm)	Cloro total (ppm)	pH
Água de chuva	0,09	0,17	10
Água do bebedouro	0,1	0,17	8,8

Vale ressaltar que, no período do experimento, a região do entorno imediato do local de sua implantação havia diversas obras de construção civil, além de uma indústria cimenteira e uma indústria de fabricação de concreto, o que justificaria o elevado valor do pH da água de chuva coletada, conforme mostra a Tabela 6.

A vazão de água alimentada diariamente nos reatores 4 e 5 (azul e preto) foi determinada de acordo com os dados pluviométricos do período de 1961 a 1990 de São Paulo. Dessa forma, a vazão de água alimentada nos reatores foi de = 0,00020 $m^3.d^{-1}$ ou 0,2$L.d^{-1}$.

Tabela 6 – Características da água de chuva simulada.

PARÂMETRO	VALORES OBTIDOS
pH	10
Coliformes Fecais	< 10 nmp
Coliformes Totais	60 nmp
DBO	15,75 $mg.L^{-1}$
DQO	1.450 $mg.L^{-1}$
Amônia	1 ppm
Fosfato	2 ppm

2.5 Aterramento dos reatores

Para a recirculação de chorume, os reatores 2 e 3 (amarelo e verde) foram ligados à bomba 1. Os reatores 4 e 5 (azul e preto) foram alimentados com água de chuva, que foi previamente coletada em um tanque. Esses tanques foram ligados à uma segunda bomba. Na saída de cada um dos reatores foi instalada uma proveta de 1L para a captação do efluente. As bombas utilizadas nos experimentais foram da ProMinet $gamma.L^{-1}$.

Para captação dos gases provenientes do processo de degradação da matéria orgânica, pelos microorganismos, foram adaptadas bexigas na tampa superior de cada reator, por meio de um adaptador de 1/2 polegada para 20 mm com uma contra porca (Figura 7). O aquecimento dos reatores 3 e 4 foi efetuado por meio de um fio de cobre aterrado no solo e ligado a uma resistência mantida à temperatura de 40ºC (Figura 8).

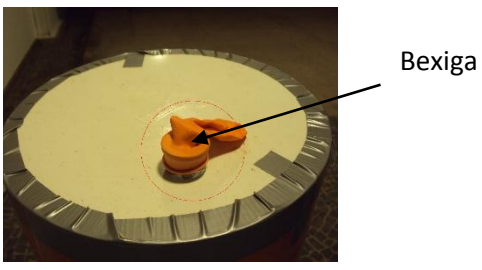

Figura 7 – captação dos gases nos reatores.

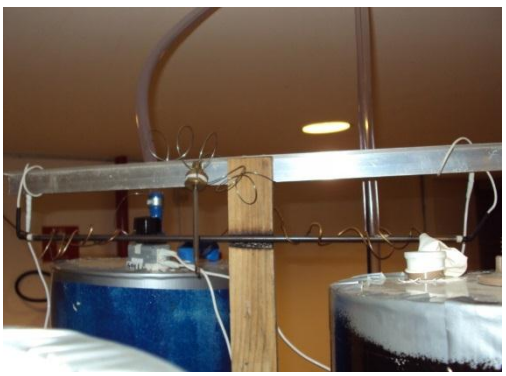

Figura 8 – Sistema de aquecimento dos Reatores 3 e 4.

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

O solo argiloso viabilizou o aterramento e diminuição do efeito de borda do tubo com os resíduos. Visando garantir a vazão e a retenção de sólidos suspensos, a brita foi inserida na parte superior e inferior para servir de meio drenante, Na parte inferior foi também utilizado um tecido de tule. Foram inseridas duas células de RSU. Um esquema do aterramento dos reatores está apresentado na Figura 9.

2.6 Operação

Após a montagem do aparato experimental, implantados em um Centro Universitário do município de São Paulo, e o aterramento dos resíduos sólidos acondicionados nos sacos/sacolas plásticas houve a recirculação do chorume nos reatores 2 e 3 (amarelo e verde) com vazão de 0,44 $L.h^{-1}$, determinada para que o volume de 10,6 L de chorume fosse recirculado diariamente. Da mesma maneira, a vazão de 0,02 $L.h^{-1}$ de adição de água de chuva foi determinada para que os reatores 4 e 5 (azul e preto) recebessem 0,2 L cada diariamente. Além disso, efetuou-se a ligação do equipamento para aquecimento do solo. Estes procedimentos foram realizados um mês após o aterramento dos resíduos.

2.7 Monitoramento

O aparato experimental foi monitorado semanalmente desde o seu fechamento até a sua abertura. As seguintes condições experimentais foram verificadas:

a) o volume de líquido existente nas provetas situadas nos reatores 4 e 5 (azul e preto);

b) a temperatura do fio de cobre exposto na entrada dos reatores 3 e 4 (verde e azul), através de termômetro;

c) a vedação e captação dos gases (visual);

d) a vazão de recirculação de chorume e de adição de água de chuva.

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

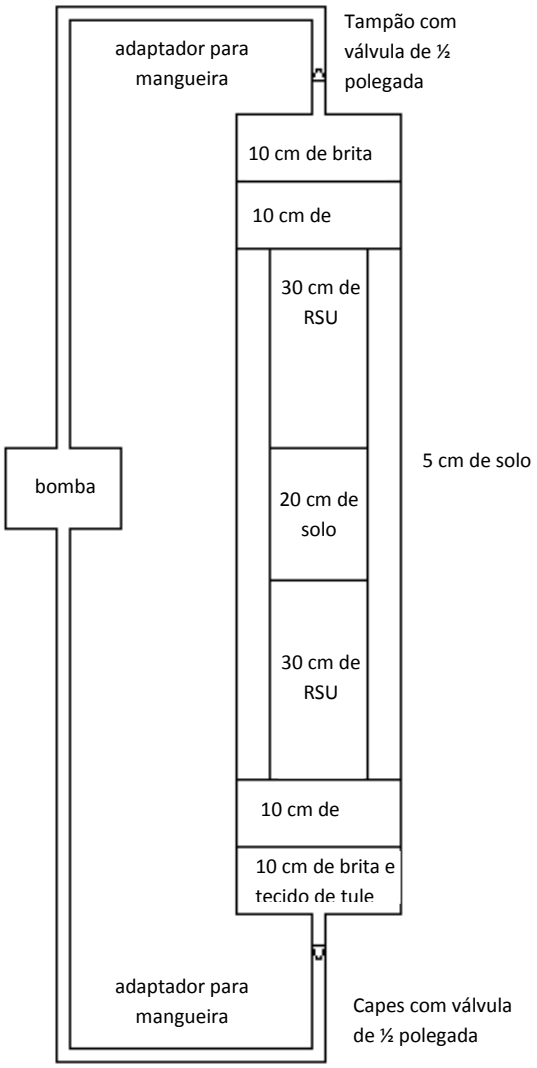

Figura 9 – Esquema dos reatores.

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

2.8 Abertura dos Reatores

A data para a abertura dos reatores foi definida em função do tempo de estudo e tempo de degradação do material aterrado. Para tanto, o tempo de degradação especificado pelo fabricante do plástico oxi-biodegradável foi utilizado como referência, ou seja, 18 meses (Figura 10).

Em vista disso e considerando que a degradação da sacola oxi-biodegradável ocorre de modo constante e linear, após 24 semanas, houve a abertura dos reatores, esperando que 30% do plástico oxi-biodegradável estivesse degradado. Vale ressaltar que dois dias antes da abertura os equipamentos de circulação e o de temperatura foram desligados.

Com o auxílio de um béquer houve a retirada da brita, seguindo para o solo, de cada altura, ou seja, superior a célula um, entre célula um e dois, e inferior a célula dois. Efetuou-se a retirada de amostras de solo para futuras análises, lembrando que cada amostra um béquer foi utilizado para que não houvesse contaminação.

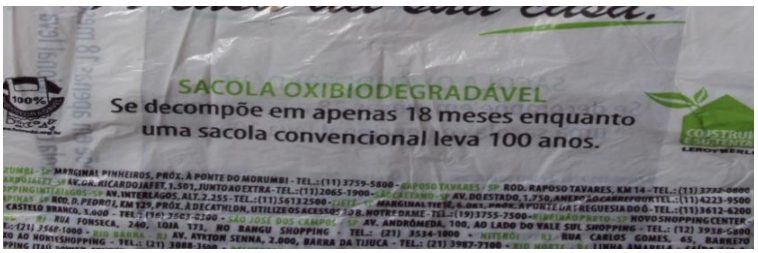

Figura 10 – Sacola plástica oxi-biodegradável.

A verificação de degradabilidade/decomposição dos materiais foi efetuada através da pesagem, comparando com o peso inicial e caracterizando através do tempo.

Após a retirada das duas células de resíduos dos reatores, as embalagens plásticas foram abertas. Verificou-se que o vidro, o plástico e o metal não sofreram nenhum tipo de alteração, ou seja, o valor do peso final resultou-se igual ao valor do peso inicial, já a matéria orgânica e o papel sofreram decomposição, e com isso, não foi possível sua segregação para a pesagem (Figura 11).

Em vista dessa situação, efetuou-se a pesagem desses materiais confinante as embalagens plásticas, apenas das células inferior dos reatores.

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

Após a retirada da matéria orgânica e do papel, as embalagens foram lavadas em água corrente sem a utilização de qualquer produto para que não houvesse nenhum tipo de alteração no resultado, e foram colocadas em uma linha, perfazendo um varal, para a secagem no meio, ou seja, sem o auxílio de qualquer equipamento como secador ou ar-condicionado (Figura 12).

Figura 11 – Matéria orgânica e papel em decomposição.

Figura 12 – Secagem das embalagens plásticas.

3. RESULTADOS

As embalagens plásticas após terem sido devidamente lavadas e secas foram pesadas e os resultados apresentados em gráficos específicos para as células superiores e inferiores. As Figuras 13 a 17 mostram o decaimento entre o peso inicial e o peso final de cada embalagem plástica (em gramas), nas células superiores. É importante ressaltar que as cores das linhas dos gráficos representam as cores dos reatores.

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

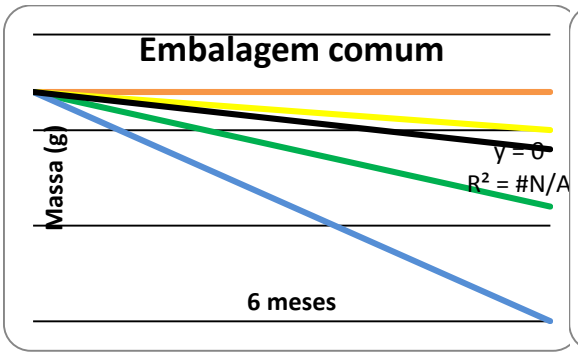

Figura 13 – Degradação das embalagens comum – células superiores.

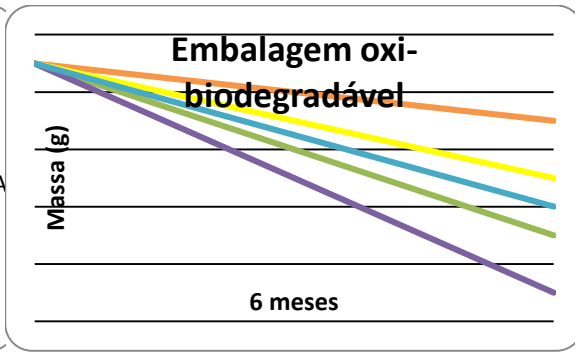

Figura 14 – Degradação das embalagens oxi-biodegradável – células superiores.

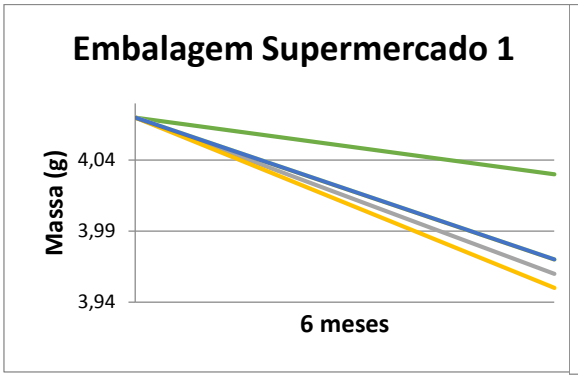

Figura 15 – Degradação das embalagens do Supermercado 1 – células superiores.

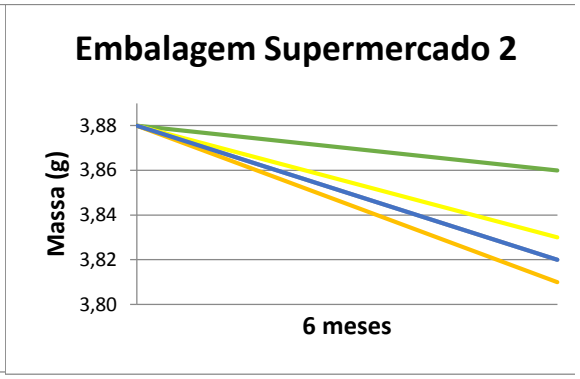

Figura 16 – Degradação das nas embalagens do Supermercado 2 – células superiores.

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

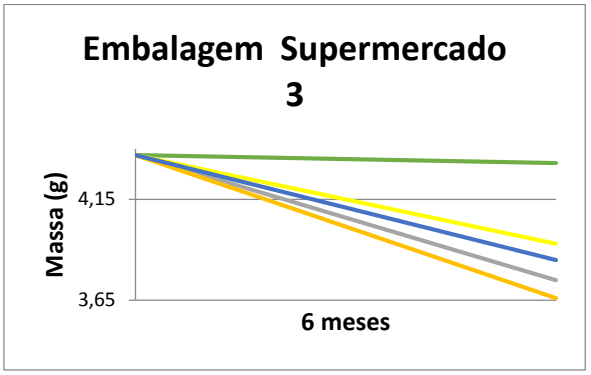

Figura 17 – Degradação das embalagens do Supermercado 3 – células superiores.

De acordo com os resultados apresentados nas figuras 13 a 17, verificou-se que a degradação não ocorreu de modo semelhante para todas as embalagens. Observou-se que houve menor degradação no reator laranja, e na sequência nos reatores amarelo, preto, verde e azul. Tal resultado é decorrente da variação de temperatura. No entanto, o reator 4 (azul) com adição de água de chuva e variação de temperatura obteve um melhor resultado comparado ao reator 3 (verde) com recirculação de chorume e variação de temperatura.

Entre os reatores sem a variação de temperatura, ou seja, o reator 5 (preto) com adição de água de chuva e o 2 (amarelo) com recirculação de água de chuva, o reator preto obteve uma melhor eficiência de degradação, sendo assim, podemos concluir que a adição de água de chuva é mais eficaz para a degradação das embalagens plásticas do que a recirculação do chorume. Vale ressaltar que o chorume teve uma queda de pH, enquanto a água de chuva simulada, obteve um pH de 10 constante, então, considerando apenas o parâmetro de pH, o pH alcalino é mais eficiente para a degradação de embalagens plásticas.

As Figuras 18 a 22 apresentam o decaimento entre o peso inicial e o peso final de cada embalagem plástica (em gramas), nas células inferiores. Nestas figuras as cores das linhas dos gráficos também correspondem às cores dos reatores.

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

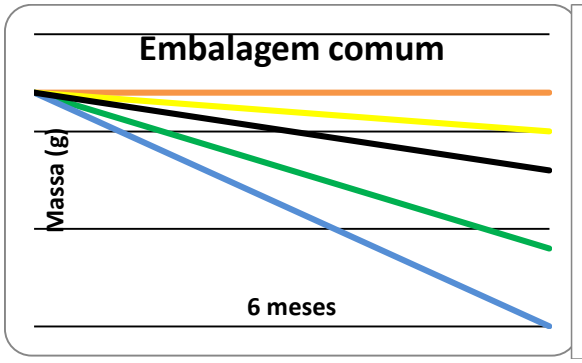

Figura 18 – Degradação das embalagens comum – células inferiores.

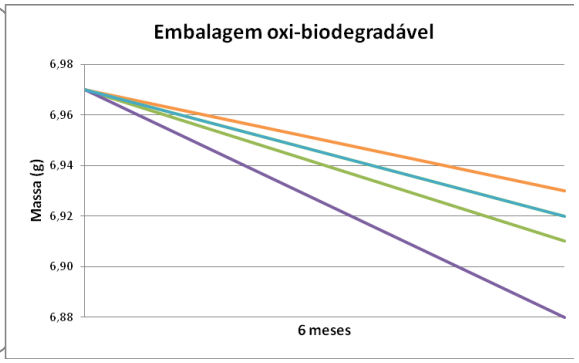

Figura 19 – Degradação das embalagens oxi-biodegradável – células inferiores.

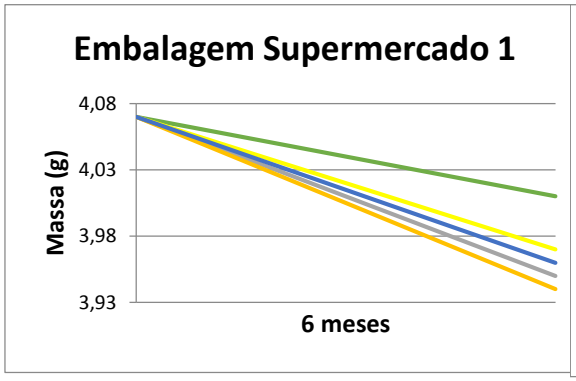

Figura 20 – Degradação das embalagens do Supermercado 1 – células inferiores.

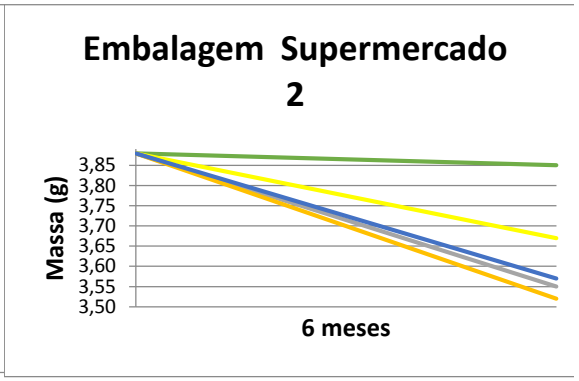

Figura 21 – Degradação das nas embalagens do Supermercado 2 – células inferiores.

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

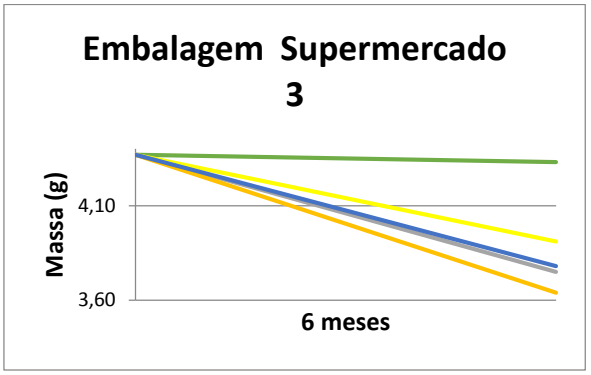

Figura 22 – Degradação das nas embalagens do Supermercado 3 – células inferiores.

De acordo com os gráficos das figuras 18 a 22, verificou-se que a degradabilidade das embalagens plásticas das células inferiores é a mesma das células superiores. Portanto, efetuou-se a média das embalagens plásticas nos reatores das células superiores (Figura 23) e das células inferiores (Figura 24), para análise comparativa entre as embalagens plásticas.

De acordo com os dados obtidos verificou-se que a degradação das embalagens plásticas se deu, em ordem decrescente, na seguinte sequência: Supermercado 3, Supermercado 1, Supermercado 2, oxi-biodegradável e comum, conforme mostra a Figura 25. No entanto, as embalagens plásticas confinadas nas células inferiores obtiveram maior degradabilidade em relação às células superiores, portanto, a pequena pressão realizada pelo peso da massa fez com que as embalagens das células inferiores se degradassem mais rápido do que as células superiores.

A utilização do valor médio de degradação das embalagens, para as diferentes condições de aterramento se justifica, uma vez que nos aterros convencionais brasileiros todas as condições simuladas se fazem presente. Dessa forma, os percentuais de redução da massa das embalagens mostrado na Figura 25 é o que mais se aproxima das condições observadas na escala real.

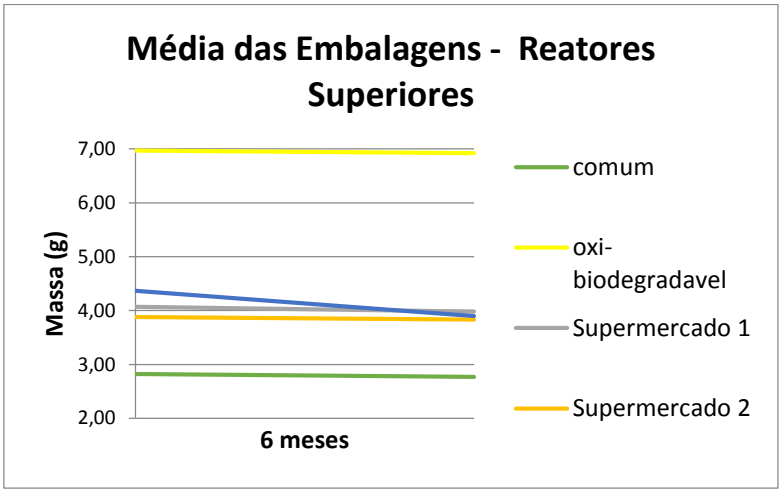

Figura 23 – Degradação das embalagens – células superiores.

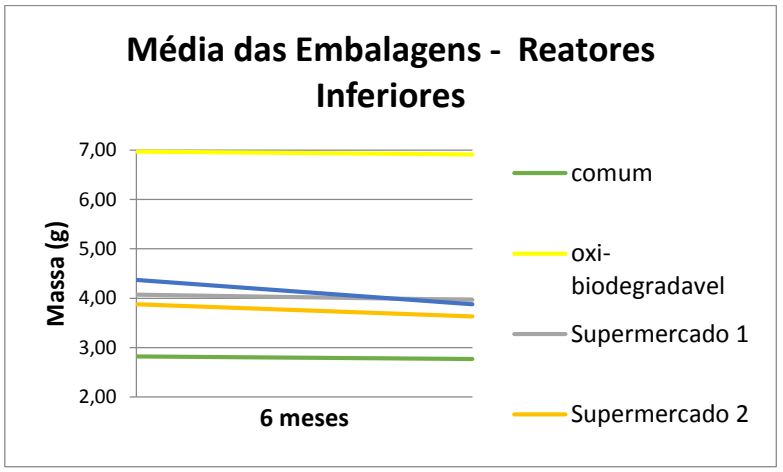

Figura 24 – Degradação das embalagens – células inferiores.

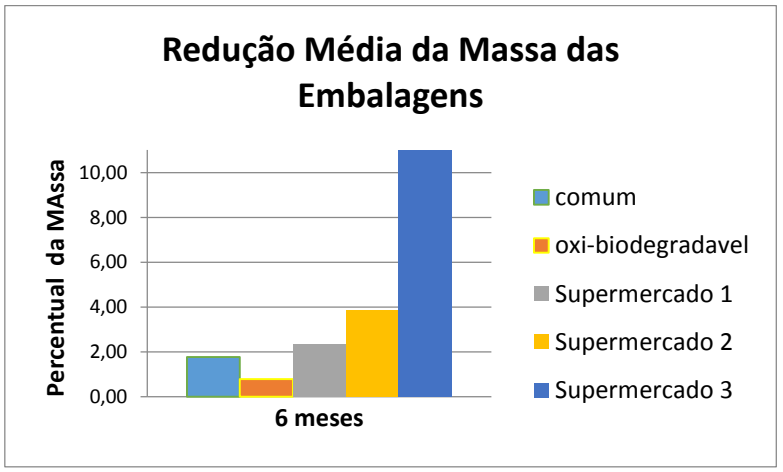

Figura 25 – Média da degradação das embalagens – percentual.

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais considerações a respeito da degradabilidade das embalagens plásticas contendo resíduos sólidos urbanos, são:

- O pH da água de chuva e temperatura contribuem para degradação das embalagens plásticas;
- As embalagens plásticas confinadas nas células inferiores dos reatores projetados obtiveram maior degradabilidade em relação ás células superiores.

Considerando que a taxa de degradação das embalagens permaneça constante, pode-se inferir que cada uma das embalagens estudadas permanece nos aterros por tempos diferenciados, a saber: 28 anos para os sacos plásticos tradicionalmente fabricados no Brasil para o acondicionamento de resíduos sólidos e 63 anos para os sacos biodegradáveis. Com relação às embalagens de supermercado pode-se verificar que essas possuem menor tempo de degradação do que os sacos e, mesmo não atingindo as expectativas de degradação de seus fabricantes, que as projetaram para a degradação com a presença de oxigênio, permanecem nos aterros apenas 30% do tempo do que os sacos convencionais.

Com respeito às embalagens dos supermercados utilizadas neste estudo, também considerando que a taxa de degradação permanece constante, a embalagem do Supermercado 3 seria plenamente degradada em 5 anos, do Supermercado 2 em 13 anos e do Supermercado 1 em 21 anos.

Os valores de degradação plena dos materiais são expressivamente diferentes daqueles referenciados na literatura. O Ministério do Meio Ambiente em seu programa Saco é um Saco traz o valor estimado para 400 anos. Desse modo, novos estudos de degradação desses materiais em condições de aterramento brasileiro estão sendo encaminhados para que os valores possam ser refinados.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9191/2008: **Sacos plásticos para acondicionamento de lixo - Requisitos e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro, 2008.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2008**. Disponível em: < http://www.abrelpe.org.br/panorama_2008.php >. Acesso em 15 abr. 10.

ASSOCIAÇÃO COMERCIAL DE MINAS. Disponível em http://www.acminas.com.br acesso em nov.2011.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SUPERMERCADO – AMIS. Disponível em http://www.portalamis.org.br/notícias.aspx acesso em nov. 2011.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Orientações sobre consumo consciente e propostas para redução de sacolas plásticas pelos consumidores**. Brasília, 2011. 40 p. : il. color. Cartilha para Consumidores; 3.

BRASIL. Lei Federal 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 União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

COSTA, Patrícia. **Sacolas Plásticas: Podemos viver sem elas?.** SENAC Educação Ambiental, São Paulo, nº 2, ano 18, p. 29 à 31, 2009.

CINTRA, I.S. **Estudo da Influência da Recirculação de Chorume Cru e Chorume Inoculado na Aceleração do Processo de Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos** 2003. 265 pg. Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais.

ISSN 1980-0894 Artigo, Vol.9 Nº1, Ano 2014

IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. p. 204.

LEFÈVRE, G. B. **A contribuição do mecanismo de desenvolvimento limpo no aterro sanitário bandeirantes para o desenvolvimento sustentável local - uma análise a partir de discursos e depoimentos**. 2011. Dissertação de Mestrado. PROCAM/USP.

LIMA, L.M.Q. Lixo – Tratamento e biorremediação.**Origem e produção de lixo no meio urbano, classificação, características e análises. Biorremediaçao de lixo.** 3ª edição. Hermus, 2004. p. 265.

PINTO, José C. – Carta de um leitor. **Polímeros: Ciências e Tecnologia,** volume 7 nº 3, 2007.

SOUZA, G.T, CELLA, R.F e SÁ, S.H. **Tratamento Anaeróbio de Efluentes.** Universidade Federal de Santa Catarina. 2007. p. 13.

Recebido em 22/04/2014

Aceito em 02/07/2014