

Análise de Resistência Mecânica e Térmica de Sacolas Plásticas Ecológicas em comparação às Sacolas Plásticas de Polietileno de Alta (PEAD) e Baixa Densidade (PEBD)

Strength Analysis of Ecological Plastic Bags in Relation to High Density Polyethylene (HDPE) and Low Density (LDPE) Plastic Bags.

⁽¹⁾Pedro Paulo Braga Dantas Campos, pedrozeacre@gmail.com ⁽¹⁾ Lidiane Gomes da Silva, g.lidiane@yahoo.com.br
(1) Matheus José da Silva, matheusfisica@yahoo.com.br ⁽²⁾ Maria Fernanda Xavier Pinto Medeiros, xavier.pmedeiros@yahoo.com.br

⁽¹⁾ Centro Universitário de Itajubá – FEPI, Av. Dr. Antônio Braga Filho, nº 687, Porto Velho, Itajubá – Minas Gerais.

⁽²⁾ Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, - Avenida BPS, 1303, bairro Pinheirinho, Bairro BPS

Recebido: 25 de junho de 2019 .Revisado: 26 de maio de 2020.

RESUMO

A utilização de sacolas plásticas é um problema sério causado pela sociedade moderna, já que normalmente são descartadas de forma inadequada, podendo ocasionar sérios prejuízos ao meio ambiente. Porém, são potenciais poluidores do meio ambiente, causando vários desastres como a poluição do solo e dos oceanos, enchentes nas grandes cidades, ou seja, interferindo nos diferentes ecossistemas. Com isso, várias pesquisas foram iniciadas com o intuito de desenvolver um material menos prejudicial ao ambiente, entre eles existem as sacolas ecológicas, como a biodegradável e a oxibiodegradável. Esse trabalho tem o objetivo de comparar a resistência mecânica e térmica das sacolas plásticas convencionais, Polietileno de Alta e Baixa Densidade, com as sacolas ecológicas. A comparação entre os materiais foi realizada por meio do ensaio de tração, termogravimetria (TGA) e calorimetria exploratória diferencial (DSC). Verificou-se que as sacolas ecológicas possuem propriedades mecânicas e térmicas similares às das sacolas convencionais podendo ser um produto ecológico viável para tal substituição.

Palavras Chave: PEAD, PEBD, Biodegradável, Oxibiodegradável, Resistência Mecânica.

ABSTRACT

The use of plastic bags is a serious problem caused by modern society, as they are usually discarded improperly, and can cause serious damage to the environment. However, they are potential polluters of the environment, causing various disasters such as soil and ocean pollution, floods in large cities, that is, interfering in different ecosystems. With this, several researches were started with the intention of developing a material less harmful to the environment, among them there are ecological bags, such as biodegradable and oxy-biodegradable. This work has the objective of comparing the mechanical and thermal resistance of the conventional plastic bags, High and Low Density Polyethylene, with the ecological bags. This comparison was possible through the traction test, thermogravimetry (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC), which provided us with data for the creation of graphs that allows us to analyze these materials. It was found that ecological bags have mechanical and thermal properties similar to those of conventional bags and can be a viable ecological product for such replacement.

Keywords: PEAD, PEBD, Biodegradable, Oxybiodegradable, Mechanical resistance.

INTRODUÇÃO

Atualmente vê-se um esforço de governo, sociedade e iniciativa privada em ações que pelo menos amenizem a situação de degradação ambiental. A introdução no mercado das sacolas plásticas biodegradáveis é recente no Brasil, menos de 20 anos, e vem ganhando espaço e sofrendo modificações na sua composição para melhorar sua eficiência (SANTOS, et al., 2012).

A preocupação em desenvolver produtos sustentáveis motiva a indústria de polímeros a pesquisar e trazer ao mercado materiais com características biodegradáveis e de vida útil reduzido como embalagens, sacolas plásticas, pratos, talheres descartáveis entre outros (DA SILVA MIRANDA E SEO, 2015). É sabido no que diz respeito às sacolas plásticas convencionais, que seu uso indiscriminado possui impactos negativos como sua baixa degradabilidade; poluição visual devido à sua disposição nas ruas, praças e ambientes públicos; entupimentos das vias públicas de drenagem da água agravando o problema das chuvas fortes nas grandes cidades metropolitanas; interferência na alimentação da vida selvagem marítima; alteração do ecossistema e biodiversidade; foco de

larvas de mosquitos transmissores de doenças como dengue e febre amarela, etc (LORENZETT, et al., 2013).

Segundo a ONU Meio Ambiente, o plástico é o maior desafio ambiental do século XXI, por todos os desastres ambientais causados pelo uso e, principalmente, de seu descarte indevido. Estima-se que em 2015 foram produzidos 400 milhões de toneladas métricas cujo apenas 9% foram reciclados, o resto se acumula em aterros sanitários, onde poluem os lençóis freáticos, nos oceanos destroem vidas marinhas afetando também os ambientes urbanos na obstrução da passagem das águas pluviais causando enchentes (LI, TSE e FOK, 2016).

Com todos esses problemas, muitas pesquisas são feitas (FOLLMANN, 2017; ZANELLA, 2018; DE FARIA, et al, 2019) com o objetivo de criar um material menos nocivo à natureza, porém já existem materiais ecológicos que causam menos danos ao ambiente, e ainda assim as sacolas convencionais não foram substituídas pelas ecológicas.

O objetivo deste trabalho é fazer a análise de tração mecânica juntamente com a análise térmica dos sacos plásticos ecológicos, que estão em conformidade com as novas legislações vigentes, para

posterior comparação com os sacos plásticos de polietileno convencionais.

Estas análises se fazem necessárias pois ao mesmo tempo que as sacolas ecológicas são feitas para produzir menos impacto ambiental outra preocupação é sua resistência à deformação e ao rasgo para carregar as mercadorias dos consumidores satisfatoriamente.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios de tração foram realizados no Laboratório de Ensaios Destrutivos e não Destrutivos – LEN no Instituto de Engenharia Mecânica da UNIFEI. Os ensaios de termogravimetria foram realizados no Centro de Estudos de Investigação e Inovação em Biomateriais do Instituto de Física e Química da UNIFEI.

Ensaio de Tração

Para o ensaio mecânico de tração, os corpos de prova foram preparados segundo a norma *Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting* (ASTM D882, 2012). As dimensões destas amostras serão retangulares de 25x75 mm.

A velocidade do ensaio foi constante e com valor de 10 mm/s. A

temperatura por ser um fator que influencia no comportamento dos plásticos e deverá ser estabelecida controlada (CANEVAROLO, 2006).

Foram utilizadas 10 amostras de cada tipo de filme plástico.

Após ser feito o ensaio, foi gerado gráficos de tensão (eixo Y) X deformação (eixo X) onde obteve-se os dados para cálculos seguintes.

Para o cálculo da tensão utilizou-se a fórmula:

$$\sigma = F/A$$

Onde:

σ = Tensão, medida em Pascal (Pa);

F = Força, medida em Newton (N);

A = Área, medida em metros quadrados (m²).

A deformação é dada pela equação seguinte:

$$\epsilon = (l-l_0)/l_0$$

Onde:

ϵ = deslocamento, dado em milímetros (mm);

l = comprimento final, dado em milímetros (mm);

l_0 = comprimento inicial, dado em milímetros (mm).

Outra importante equação é:

$$\sigma = E \times \epsilon$$

Onde já foram citados os dados anteriormente com exceção do E, que é o módulo de elasticidade, ou Módulo de Young.

O cálculo do limite de escoamento dos polietilenos ecológicos, foi realizado utilizando o maior valor de tensão. Já os polietilenos convencionais, foi realizado de acordo com a norma ASTM – D882-2, como mostra a Figura 1:

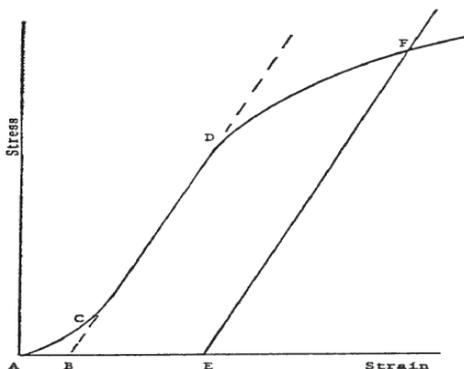


Figura 1- Cálculo de limite de escoamento, norma ASTM-D882-2

Fonte: ASTM D882 – 2 Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting Figura 1: Cálculo de limite de escoamento, norma ASTM-D882-2

O cálculo de resistência à tração foi considerado a tensão mais alta que cada corpo suportou. No de tensão de ruptura, levou-se em conta a última tensão do ensaio. E no módulo de elasticidade,

módulo de Young, foi considerado uma variação de tensão e deformação na parte elástica do gráfico para a realização dos cálculos.

Ensaio Térmico

No ensaio térmico de termogravimetria, foi usado um equipamento controlador da marca *METTLER* e de modelo *TC 11* utilizou-se também uma balança da mesma marca e de modelo *MT5*, com precisão de micrograma. O forno usado é um forno vertical da marca *METTLER* e modelo *TG50*, tem temperatura máxima de 1000°C.

Para a realização do ensaio, o material foi colocado em cadinho de alumina acondicionado ao forno, com os dados oferecidos ao controlador, foi feita o monitoramento controlado do material em função do tempo e da temperatura, sob uma atmosfera específica. Neste trabalho foram usados dois tipos de gases em atmosfera controlada, a saber, o nitrogênio e o oxigênio.

As amostras foram submetidas a uma taxa de aquecimento controlada e a variação de massa foi monitorada em função da temperatura, essa taxa de aquecimento foi de 20^o C min⁻¹, de 25^o a 900^o.

A análise termogravimétrica é uma técnica que calcula a variação da massa de uma amostra em função da temperatura em uma atmosfera controlada. O sistema de controle atmosférico é importante pois os gases presentes no momento da análise podem ou não reagir com o material provocando efeitos diretos na variação de massa da amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio de Tração

O ensaio de tração foi executado de acordo com a metodologia citada e no equipamento mostrado na Figura 2.



Figura 2- Máquina de ensaio de tração universal modelo EMIC (UNIFEI).

O teste de tração é ensaio mecânico mais utilizado por permitir a avaliação de diversas propriedades dos materiais.

Pode-se observar na Figura 3, o gráfico tensão x deformação do polietileno biodegradável (amido de milho), Oxibiodegradável, PEAD e PEBD.

Observa-se da Tabela 1 que o polietileno oxibiodegradável apresentou limite de escoamento, módulo de elasticidade superior ao PEAD, e que o oxibiodegradável apresentou resultados semelhantes à de PEAD. Sendo que o PEAD material utilizado convencionalmente nas sacolas de supermercados, sugerindo que o estes materiais oxibiodegradáveis podem ser seu substitutos.

O PEBD apresentou resultado de resistência à tração tensão de ruptura e limite de escoamento superior a todos os outros materiais.

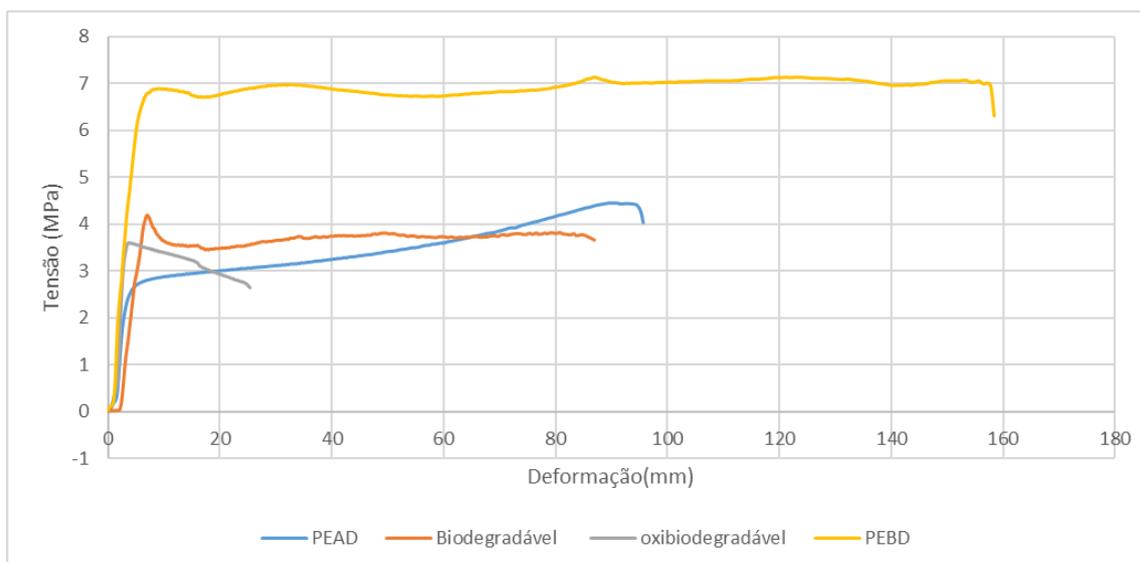


Figura 3- Gráfico tensão x deformação

A Tabela 1 apresenta a média dos resultados dos ensaios e seus desvios padrão, respectivamente.

Tabela 1- Propriedades dos materiais ensaiados

Material	Biodegradável	OxiBiodegradável	PEAD	PEBD
Limite de escoamento [MPa]	4,56 ± 0,73	3,60 ± 0,06	2,73 ± 0,16	5,66 ± 1,99
Resistência à tração [MPa]	4,56 ± 0,73	3,60 ± 0,06	4,59 ± 0,17	8,63 ± 0,46
Tensão de Ruptura [MPa]	2,93 ± 1,51	0,62 ± 0,93	2,80 ± 0,35	3,89 ± 0,85
Módulo de Elasticidade [MPa]	1,55 ± 0,33	1,35 ± 0,69	0,28 ± 0,03	1,09 ± 0,78

Ensaio Térmico

Nas Figuras 4(A), (C) e 5(A), (C) apresentam-se os termogramas obtidos pela análise de TGA para os filmes de polietileno de alta densidade (PEAD), os filmes de polietileno de baixa densidade

(PEBD) e os filmes plásticos oxibiodegradável e biodegradável, respectivamente.

Nas Figuras 4 (B), (D) e 5 (B), (D) apresentam-se os valores dos picos de perda máxima de massa para os respectivos filmes. As análises de

termogravimetria foram realizadas sob atmosferas de nitrogênio e oxigênio.

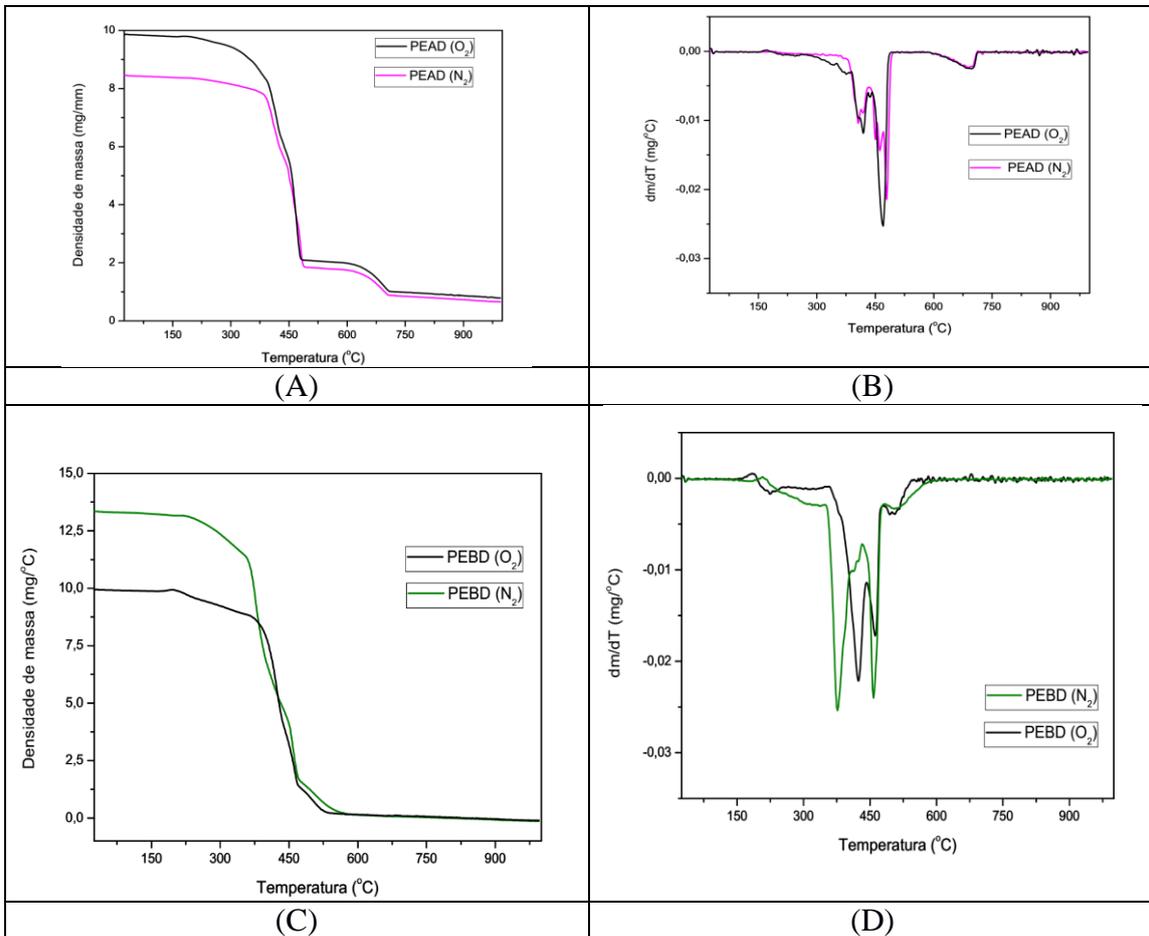
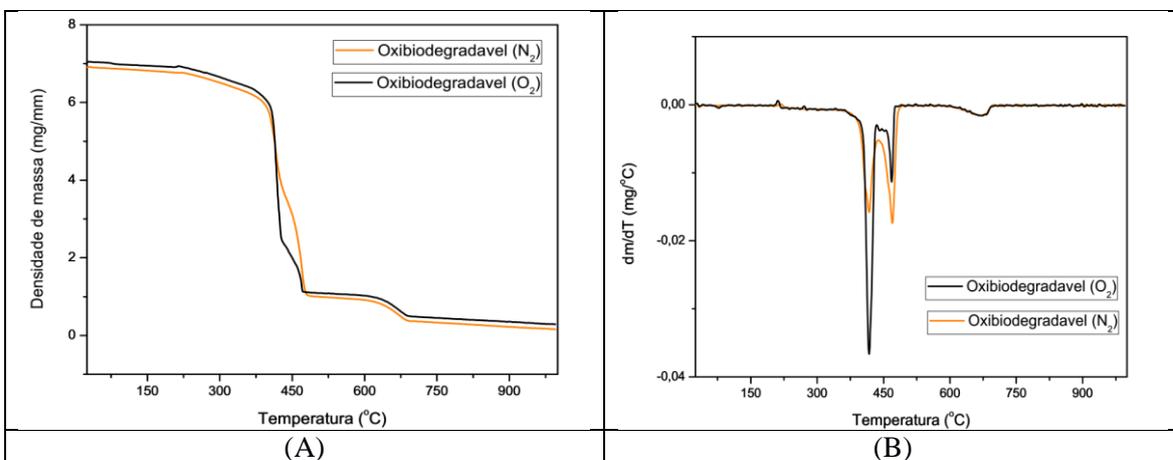


Figura 4- (A), (C) Termograma de perda de massa em função da temperatura para PEAD e PEBD; (B), (D) Derivada da perda de massa em função da temperatura para PEAD e PEBD.



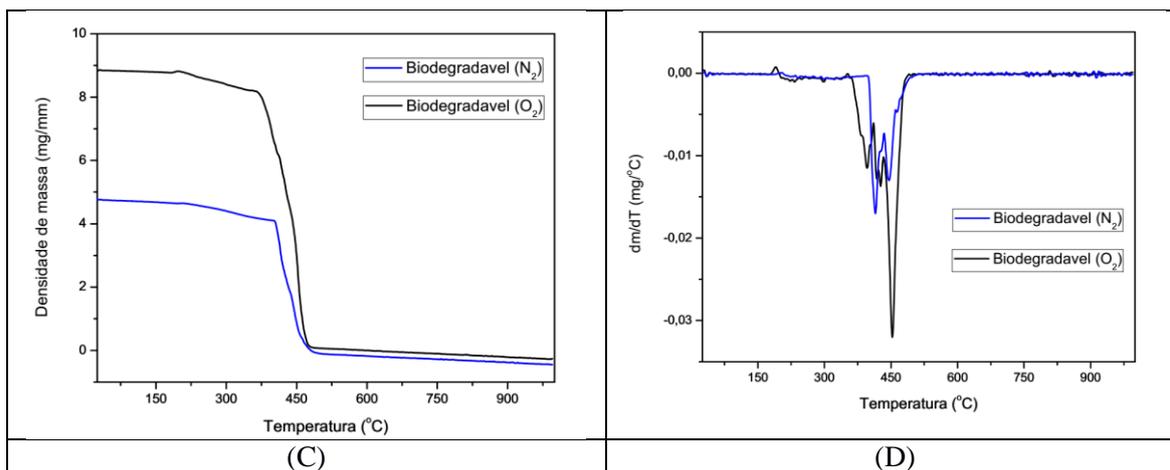


Figura 5- (A), (C) Termograma de perda de massa em função da temperatura para o filme plástico oxi e biodegradável; (B),(D) Derivada da perda de massa em função da temperatura para os respectivos filmes plásticos

É possível observar na Figura 4(A), (C) as curvas de degradação térmica do polietileno de alta e baixa densidade, respectivamente, cuja temperatura inicial de degradação para o polímero PEAD se inicia em 385°C(N₂) e 323°C(O₂) e para o polímero PEBD se inicia em 362°C(N₂) e 364°C(O₂). São nestas temperaturas que se começam as variações de massas.

Para os filmes plásticos oxi e biodegradável estas temperaturas iniciais de degradação ocorrem respectivamente em 382°C (para ambas atmosferas) e 406°C(N₂) e 366°C(O₂) aproximadamente. Pode-se notar que sendo o filme plástico oxibiodegradável feito em geral de polietileno de baixa densidade ou outro polímero convencional (SANTOS, 2012), mas com a adição de metais em sua composição para acelerar sua

degradação, apresentou uma temperatura inicial de degradação muito próxima ao PEBD.

Os picos de perda de massa (Figuras 4, 5(B),(D)) verificam quantas zonas de degradação existem para as amostras. No caso dos filmes de PEAD, PEBD e oxibiodegradável observam-se três zonas principais de degradação e que à exceção do PEBD que apresentou além destes 3 picos uma zona mais pronunciada no princípio da curva que se refere possivelmente à perda de água da estrutura polimérica.

Para o filme biodegradável foi verificado apenas duas zonas principais de degradação e mais, que em comparação ao filme oxibiodegradável a temperatura inicial de degradação do filme biodegradável é maior em atmosfera de oxigênio, ou seja, apesar do filme oxibiodegradável possuir ineficiente perda de massa ele tem sua

degradação máxima antes do filme biodegradável.

Para uma análise mais detalhada de perda de massa, temperatura inicial de

degradação e resíduo dos 4 filmes poliméricos, observa-se a Tabela 2.

Tabela 2- Comparativo de temperatura inicial de degradação (TDi), perda de massa em porcentagem e resíduo em porcentagem para os filmes poliméricos nas duas atmosferas.

Atmosfera		PEAD	PEBD	Oxibiodegradável	Biodegradável
N ₂	T _{Di}	385°C±1°	362°C±1°	382°C±1°	406°C±1°
	Perda de massa (%)	92,30	98,93	97,71	90,65
	Resíduo (%)	7,70	1,07	2,29	9,35
O ₂	T _{Di}	323°C±1°	364°C±1°	382°C±1°	366°C±1°
	Perda de massa (%)	92	98,91	95,87	97,08
	Resíduo (%)	8	1,09	4,13	2,92

De acordo com os valores observados na Tabela 2, é possível notar que as temperaturas iniciais de degradação estão numa média de 300°C a 400°C para todos os filmes e, que não houve diferenças significativas quando a atmosfera de degradação era nitrogênio ou oxigênio.

Com relação a perda de massa, o filme que apresentou perda mais eficiente foi o polietileno de baixa densidade com aproximadamente 98% de degradação mássica em ambas as atmosferas. O filme plástico biodegradável apresentou a menor perda de massa em atmosfera de nitrogênio e a segunda melhor perda de massa em atmosfera de oxigênio, isto pode ser explicado pelo ambiente oxidante ser

mais favorável à degradação do filme do que em presença de nitrogênio.

O filme de polietileno de alta densidade foi o que apresentou uma ineficiente perda de massa se comparada aos demais filmes plásticos. Isto pode ser explicado pelo filme apresentar níveis de densidade mais elevados e uma estrutura linear sem nenhuma ramificação tornando uma estrutura com ligações intermoleculares mais fortes que os demais filmes (MOTHÉ, et.al., 2009).

Os filmes de PEBD e biodegradável apresentaram estabilidade térmica acima dos 300°C, o que não foi visto para os outros dois filmes. Isto se deve possivelmente aos outros filmes possuírem outras perdas além das perdas de componentes comuns entre os filmes.

CONCLUSÃO

As sacolas ecológicas tiveram um desempenho considerável frente as sacolas convencionais, visto que apresentaram resultados satisfatórios para cumprir com a função de carregar e acondicionar objetos. Porém, as sacolas ecológicas necessitam de uma atmosfera controlada para que a biodegradação seja eficiente. Apesar disso, elas podem degradar-se em tempo muito curto no ambiente desde que seja descartada de forma correta.

Apesar da sacola de polietileno oxibiodegradável apresentar alguns resultados não satisfatórios frente às sacolas convencionais de PEBD, ela tem propriedades promissoras em comparação às sacolas de PEAD, como o limite de escoamento, módulo de elasticidade e a uma baixa taxa percentual de resíduo de degradação, tornando assim uma opção promissora e mais ecológica que às sacolas de PEAD.

A que possui melhor propriedade ainda é a sacola de PEBD, sendo muito resistente à tração e apresentado pouca massa residual após teste térmico de degradação.

A sacola biodegradável apresentou excelentes resultados mecânicos, na análise térmica ela apresentou a menor perda de massa em atmosfera de

nitrogênio e a segunda melhor perda de massa em atmosfera de oxigênio. A sacola de PEAD apresentou os piores resultados térmicos, tendo a maior taxa de resíduo entre as sacolas analisadas.

Esses resultados evidenciam que as sacolas ecológicas podem substituir as sacolas convencionais sem causar nenhum transtorno aos usuários. Aliás, as sacolas ecológicas se mostraram mais promissoras que às sacolas de PEAD frente aos resultados obtidos. Este é um mercado promissor, porém é preciso investir em mais pesquisa e criação de novas leis para o incentivo de fabricação e uso de novos materiais. Como a preocupação em usar os recursos naturais do meio ambiente de forma sustentável têm se tornado urgente para a nova geração, o uso de sacolas ecológicas vêm se apresentando uma alternativa “verde” para substituir as sacolas e embalagens convencionais no futuro próximo.

REFERÊNCIAS

ASTM D – 882 – 2, Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting.

BRITO, G. F., AGRAWAL, P., ARAÚJO, E. M., MÉLO, T. J. A. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes.

Revista eletrônica de materiais e processos. v.6, n. 2, p. 127-139, 2011.

CALLISTER, W. D. **Ciência dos Materiais.** 5ª ed. Salt Lake City: LTC, 574 p. 1999.

CANEVAROLO, S. V. **Ciência dos Polímeros.** 2ª ed. Brasil: Artliber, 280 p., 2006.

LORENZETT, J. B., RIZZATTI, C. B., LORENZETT, D. B., GODOY, L. P. **Sacolas plásticas: Uma questão de mudança de hábitos. Monografias Ambientais.** v.11, n. 11, p. 2446-2454, 2013.

MOTHÉ, L. M. C. Q. **Formulação e caracterização de materiais alternativos a partir do polipropileno pós-consumo modificado e fibra de coco.** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais)- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes, 76 p. 2009.

DA SILVA MIRANDA, Caio; SEO, Emília Satoshi Miyamaru. **Degradação de Embalagens Plásticas Oxi-Biodegradáveis e Comuns. Holo Environment,** v.15, n.2, p. 171-179, 2015.

SANTOS, Amélia SF, et al. **Sacolas plásticas: destinações sustentáveis e alternativas de substituição. Polímeros,** v.22, n.3, p. 228-237, 2012.

FOLLMANN, Andrise Janaina, et al. **Degradação de sacolas plásticas convencionais oxibiodegradáveis. Ciência e Natura,** v.39, n.1, p. 186-192, 2017.

ZANELLA, F. et al. **Sacolas oxibiodegradáveis: degradação em decorrência da condição de descarte.** *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v.5, n.9, p. 133-140, 2018.

DE FARIA, V. I. G. L., et al. **Análise e avaliação comparativa da degradação das sacolas tradicionais e oxibiodegradáveis.** *Revista Científica Doctum Multidisciplinar*, 2019.

LI, W. C.; TSE, H. F.; FOK, L. **Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. Science of the Total Environment.** v.566, p. 333-349, 2016.