

Avaliação da biodegradação de polímeros por *Pleurotus djamor*

Evaluation of polymer biodegradation by *Pleurotus djamor*

RESUMO

Visando contribuir na busca de soluções para problemas ambientais, estudos estão sendo realizados a fim de avaliar a degradação de materiais poliméricos por fungos do gênero *Pleurotus*. Este trabalho avaliou a biodegradação de poli (tereftalato) de etileno (PET) e de polipropileno (PP) por *Pleurotus djamor* e a influência desta biodegradação prévia quando os polímeros foram expostos à intempérie. Para tanto, massas conhecidas de PET e PP foram pasteurizadas e colocadas, separadamente, em placas de Petri contendo micélio de *P. djamor*, crescido em meio TDA, e incubadas por 76, 150 e 180 dias. As amostras do tempo de incubação de 150 dias foram expostas à intempérie por 90 e 150 dias. Após 150 dias de biodegradação verificou-se perdas de massa em torno de 0,9 % para PET e 2,2 % para PP. Esta degradação prévia não promoveu perda de massa durante a exposição à intempérie.

PALAVRAS-CHAVE: Biodegradação, polímeros, *Pleurotus djamor*

ABSTRACT

Aiming to contribute to the solution of environmental problems, studies are being conducted to assess the degradation of polymeric materials by fungi of the *Pleurotus* genus. This work evaluated the biodegradation of poly (terephthalate) ethylene (PET) and polypropylene (PP) by *Pleurotus djamor* and the influence of this biodegradation when the polymers were exposed to climatological conditions. Known mass of PET and PP were pasteurized and placed, separately, in Petri dishes with the mycelium of *P. djamor*, grown in culture medium TDA, and incubated for 76, 150, and 180 days. Samples that had higher weight loss were exposed to climatological conditions for 90 and 150 days. After 150 days were checked weight loss around 0,9% for PET and 2,2% for PP. The first degradation did not presented weight loss during the period they were exposed to climatological conditions.

KEYWORDS: Biodegradation, polymers, *Pleurotus djamor*

Poliana Dambrós

Mestranda em Engenharia de Processos pela Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE
Joinville, SC, Brasil
polianadambros@gmail.com

Karoline Pignat Cappelari

Engenheira Ambiental pela Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE
Joinville, SC, Brasil
karoline_pignat@hotmail.com

Caroline Poffo

Acadêmica do curso de Engenharia Química e Bolsista de Iniciação Científica do Laboratório de Biotecnologia da Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE
Joinville, SC, Brasil
carol_poffo_@hotmail.com

Elisabeth Wisbeck

Doutora em Engenharia Química, docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária e do curso de Engenharia Química da UNIVILLE
Joinville, SC, Brasil
ewisbeck@univille.br

INTRODUÇÃO

Uma das razões que fazem os plásticos serem materiais de uso cada vez mais difundidos é a sua durabilidade, consequência de sua estabilidade estrutural, que lhes confere resistência aos diversos tipos de degradação como a fotodegradação, a quimiodegradação e a biodegradação (PIATTI e RODRIGUES, 2005). O uso e o descarte indevido de materiais plásticos, aliados a sua resistência à degradação acabam gerando sérios problemas ambientais (COSTA *et al.*, 2012; PRADO, 2007).

O polipropileno (PP) é a resina mais consumida no país, representando mais de ¼ do consumo nacional. O poli (tereftalato) de etileno PET é outra resina que vem aumentando sua participação no consumo nacional e estão entre os principais polímeros encontrados nos resíduos sólidos urbanos (ABIPLAST, 2012, COSTA *et al.*, 2012).

Polímeros são macromoléculas caracterizadas por seu tamanho, estrutura química e interações intra e intermoleculares (MANO e MENDES, 2004). Podem ser de origem natural, como celulose, proteínas e borracha natural, ou sintetizados, como polietileno, polipropileno, náilon e outros (ELIAS, 1984).

O poli (tereftalato) de etileno (PET) possui uma estrutura que corresponde a uma cadeia curta de duas unidades de CH₂ alternada com outra estrutura orgânica conhecida como ácido tereftálico. É um termoplástico que possui temperatura de transição vítrea acima da temperatura ambiente (T_g = 81°C). Assim, a energia térmica fornecida pelo meio ambiente em condições normais de temperatura e pH não é suficiente para que as cadeias sofram mobilidade molecular, apresentando comportamento rígido (ZANIN e MANCINI, 2004). Seu uso se dá em garrafas para bebidas e como

plástico reciclado em fibras de carpete (BAIRD e CARRERA, 2002).

O polipropileno ((C₃H₆)_x) (PP), possui baixa densidade, baixo custo e facilidade de moldagem podendo ser utilizado na indústria automobilística (MANO e MENDES, 2004). É definido como um termoplástico semicristalino da família das oleofinas, e sua produção se dá pela polimerização do monômero propileno (CALLISTER JÚNIOR, 2002).

A degradação polimérica é definida como um processo de natureza físico-química; que envolve fenômenos físicos e químicos, que provocam cisão de ligações primárias da cadeia principal do polímero e formação de outras, com consequente mudança da estrutura química e redução da massa molar (CANEVAROLO e BABETO, 2002). Pode ser causada por diferentes fatores ambientais, sendo os mais comuns: calor, luz solar (ultravioleta), oxigênio, água, poluição, ação mecânica, vento e chuva, microrganismos (bactérias, fungos, algas, etc.), entre outros (BACH *et al.*, 2012; INNOCENTINI-MEI e MARIANI, 2005).

A biodegradação de superfícies poliméricas é resultado das interações interfaciais com os microrganismos e depende de fatores como hidrofobicidade, umidade e nutrientes, para que ocorra a adesão de microrganismos, colonização e formação de biofilme sobre o material. As hifas de fungos podem penetrar no material polimérico e provocar diminuição de sua estabilidade mecânica (FLEMMING, 1998).

Atualmente, buscam-se alternativas para a diminuição do impacto ambiental proveniente de resíduos plásticos tais como: controle do consumo e reciclagem do material, aterramento e incineração dos resíduos e biodegradação (LIMA e JESUS, 2013; COSTA *et al.*, 2012; FARIA *et al.*, 2010; PIATTI e RODRIGUES, 2005, SPINACÉ e DE PAOLI, 2005). Estudos estão sendo realizados a fim de

avaliar a degradação de materiais poliméricos por fungos do gênero *Pleurotus* (ROMERO, 2009; CORDEIRO, 2008; FARIA, 2008; KLOSS, 2007; MONTEIRO, 2007; REYES, 2003; COSTA, 2001).

O gênero *Pleurotus*, da classe dos Basidiomicetos, por degradar material lignocelulósico, faz parte de um grupo denominado “fungos de podridão branca”. Este gênero é representado por espécies cosmopolitas, que ocorrem naturalmente em florestas tropicais, subtropicais e temperadas (ZADRAZIL e KURTZMAN, 1984) e possuem um complexo enzimático lignocelulolítico único que os habilita a decompor diversos resíduos agroindustriais (RAJARATHNAM *et al.*, 1992).

Costa (2001) observou a habilidade fúngica de linhagens do gênero *Pleurotus* para produção de enzimas celulolíticas e ligninolíticas tais como avicelase, xilanase, carboximetilcelulase, manganês peroxidase, lignina peroxidase, álcool veratrílico oxidase e lacase, assim como de biosurfactantes, revelando o potencial destes organismos para processos benignos ao meio ambiente como a biodegradação. Segundo Reyes (2003), Monteiro (2007), Cordeiro (2008), Faria (2008) e Souza (2009) diferentes espécies de *Pleurotus* apresentaram potencial de biodegradação de PET e PP. Já Kloss (2007), utilizando *P. sajor-caju* para a biodegradação de poliuretano (PU), verificou perdas de massa de 1,8 a 2,0%, após 30 dias de incubação.

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar a biodegradação de PET e PP por *Pleurotus djamor* UNIVILLE 001 um microrganismo isolado na região de Joinville/SC, colaborando assim com a comunidade científica sobre a reflexão de possíveis alternativas para os problemas decorrentes da poluição ambiental gerada pelo lixo plástico.

MATERIAL E MÉTODOS

Microrganismo e manutenção

O microrganismo utilizado foi a espécie fúngica *Pleurotus djamor* UNIVILLE 001, isolada no Campus Joinville da UNIVILLE, SC. As culturas foram mantidas em meio de cultivo TDA (FURLAN *et al.*, 1997), a 4°C e os repiques foram feitos a cada três meses.

Meio de cultivo

O meio de cultivo TDA era composto por 1L de extrato de trigo, 20g de dextrose e 15g de ágar, previamente esterilizados por 20 minutos, a 120°C. O extrato de trigo foi obtido através do cozimento de grãos de trigo em água destilada por 10 minutos, na proporção 1:2 (grãos de trigo: água) (m/v).

Polímeros utilizados

Os polímeros utilizados foram o poli(tereftalato) de etileno (PET) e o polipropileno (PP), na forma de “pellets”, não processados. Na Figura 1 pode-se observar a forma dos polímeros utilizados.

Biodegradação de polímeros por *Pleurotus djamor*

O experimento de degradação dos polímeros PET e PP por *Pleurotus djamor* foi realizado em placas de Petri contendo micélio fúngico crescido durante 7 dias sobre o meio TDA. Uma massa de cerca de 4,5 g de PET e de PP foram previamente pasteurizadas em vapor d’ água por 1h e colocadas sobre o micélio. As placas foram, então, incubadas a 30 °C por 76, 150

e 180 dias.

A cada 60 dias o material contido em cada placa foi suplementado com 5 mL de extrato de trigo, previamente esterilizado a 120°C por 20 minutos, para suprir a deficiência de nitrogênio no processo. Após cada período de incubação, o material foi lavado e seco, conforme descrito no item 2.6 e a perda de massa calculada. O experimento foi realizado em duplicata.

Exposição ao intemperismo natural

Os polímeros PET e PP, biodegradados durante 150 dias por *Pleurotus djamor*, foram submetidos ao intemperismo natural durante 90 e 150 dias. Amostras dos polímeros sem a degradação prévia por *P. djamor*, também foram expostos pelo mesmo período, sendo considerados como controle. O experimento foi conduzido sobre peneiras de plástico a fim de permitir uma exposição uniforme da radiação solar sobre a superfície dos “pellets”. Após cada período de exposição, o material foi lavado e seco, conforme descrito no item 2.6 e a perda de massa calculada. O experimento foi realizado em duplicata.

Tratamento das amostras

Todas as amostras foram previamente pasteurizadas em vapor d’ água por 1h. As amostras de PET e de PP, após os tempos de incubação, foram colocadas em

solução de NaOH 5M por 8h e em seguida por 8h em água destilada, em temperatura ambiente (ASTM, 1992). Posteriormente as amostras foram secas a 50 °C até massa constante, cerca de 48h (REYES, 2003).

No experimento de exposição ao intemperismo natural, as amostras após a exposição e as dos tempos iniciais, também passaram pelo mesmo procedimento.

Cálculo da perda de massa

A perda de massa foi calculada conforme a Equação (1) e foi verificada quando a massa dos polímeros após os tempos de biodegradação por *Pleurotus djamor* e após a exposição á intempérie de 90 e 150 dias, for menor que a massa do polímero no tempo inicial.

$$\text{Perda de massa (\%)} = \frac{m_0 - m_f}{m_0} * 100 \quad (1)$$

Onde m_0 é a massa inicial de polímeros após a pasteurização e m_f a massa de polímeros após os tempos de incubação ou exposição ao intemperismo natural.

Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

As amostras, após o tratamento conforme o item 2.6, contendo aproximadamente 20 miligramas foram adicionadas em cadinhos de alumínio e aquecidas a 350°C, com taxa de aquecimento de 10°C min⁻¹ e mantidas nesta

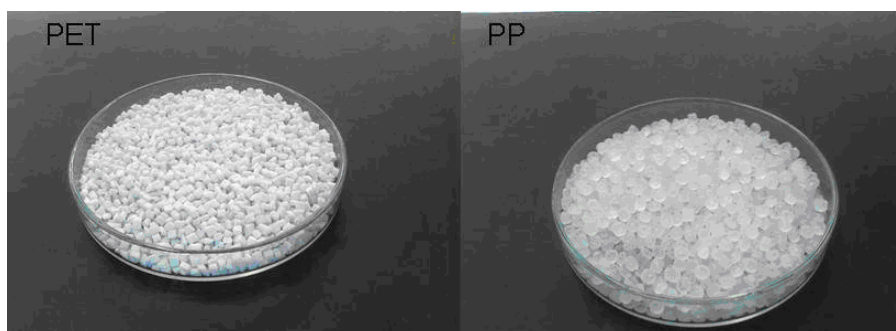


Figura 1 – Poli(tereftalato de etileno) (PET) e polipropileno (PP) na forma de pellets utilizados nos experimentos

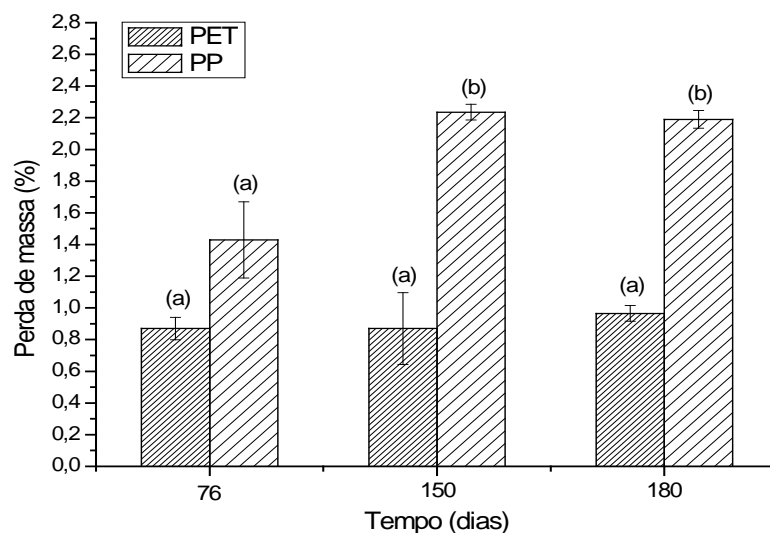


Figura 2 – Perda de massa (%) de PET e PP após 76, 150 e 180 dias de biodegradação por *Pleurotus djamor*. As barras indicam a média \pm desvio padrão. Letras iguais indicam médias sem diferença significativa pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5%.

temperatura por 2 minutos. Em seguida, foram submetidas a um resfriamento, de 350 a -100°C , com uma taxa de $15^{\circ}\text{C min}^{-1}$ e mantidas nesta temperatura por mais 2 minutos. O segundo aquecimento foi realizado no intervalo de temperatura entre 100 a 350°C com taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$. No entanto, os valores de ΔH_m foram calculados no primeiro período de aquecimento.

O grau de cristalinidade (α_c) dos polímeros foi determinado segundo a equação (2).

$$\alpha_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} * 100 \quad (2)$$

Onde ΔH_m é a entalpia de fusão (J.g^{-1}) e ΔH_m^0 é a entalpia de fusão supondo a amostra 100% cristalina (J.g^{-1}), tendo sido consideradas as entalpias de fusão para o polímero 100% cristalino (ΔH_m^0) de 140 J/g para o PET e de 190 J/g para o PP isotático (MONTEIRO, 2007).

Análise estatística

Os dados de perda de massa e grau de cristalinidade foram analisados através do teste estatístico para rejeição de valores desviantes (Teste Q de Dixon), sendo

aceitos ou não (RORABACHER, 1991). Foram também submetidos a análise de variância dos valores médios das amostras, através do Teste de Tukey com nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 estão apresentados os resultados de biodegradação obtidos após 76, 150 e 180 dias de incubação de PET e PP com *P. djamor* em placas de Petri.

Observando-se a Figura 2 e comparando-se as perdas de massa de PET entre 76, 150 e 180 dias de biodegradação verifica-se que não houve diferença significativa, permanecendo em torno de 0,90%. Já para o PP, houve um aumento de 0,8% de perda de massa de 76 para 150 dias de biodegradação e de 150 para 180 dias a perda de massa permaneceu em 2,2%.

Avaliando-se o tempo de biodegradação de 76 dias, verifica-se que PET e PP sofreram a mesma perda de massa, pois as médias não apresentaram diferença significativa. Para o tempo de 150 dias observa-se que PP obteve maior perda de massa, 2,23 %. O mesmo comportamento foi verificado para o tempo de 180 dias. Estas perdas de massa podem representar um

indício de degradação do polímero por ação do fungo.

Reyes (2003), avaliando as espécies *Pleurotus* 001, *P. sajor-caju*, *P. tailandia*, *P. chrysosporium*, *Pleurotus sp.* (P1) e *Pleurotus sp.* (PSC 94/03) num estudo de 30, 60, 90 e 120 dias de cultivo em meio líquido contendo PET, verificou que as espécies que mais promoveram perda de massa polimérica foram *P.* 001 (5,79%) e *P. sajor-caju* (4,82%) em 30 dias, *P. chrysosporium* (6,72%) em 90 dias e PSC 94/03 (4,13%) em 120 dias.

No trabalho de Faria (2008) em cultivo sólido foi verificado 3,3% de perda de massa de PET reciclado por *Pleurotus ostreatus* em 45 dias de biodegradação. No presente trabalho, utilizando-se PET virgem em cultivo onde a principal fonte de carbono era o polímero, foi verificada perda de massa inferior (em torno de 0,9%) entre 76 e 150 dias de biodegradação (Figura 2).

Em relação ao PP, no trabalho de Faria (2008) foi observado 0,3% de perda de massa de PP reciclado em 45 dias de biodegradação em cultivo sólido de *P. ostreatus*. Neste trabalho (Figura 2), uma significativa perda de massa (cerca de 2,0%) foi verificada quando PP virgem foi utilizado como principal fonte de carbono em 150

Tabela 1 – Dados de temperatura de fusão (T_m), entalpia de fusão (ΔH_m) e grau de cristalinidade (α_c) obtidos por DSC para as amostras de PET e PP incubadas com *P. djamor* por 76, 150 e 180 dias. Letras iguais significam médias de α_c entre os tempos de biodegradação de cada polímero, sem diferença significativa pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5%, entre amostra inicial (t_0) e demais amostras.

	Tempo (dias)	T_m (°C)	ΔH_m (J.g ⁻¹)	α_c (%)
Biodegradação do PET	0	239,8 e 249,3	78,1	55,8 ± 6,2 a
	76	246,3	35,2	25,2 ± 2,9 b
	150	243,0 e 249,27	54,3	38,8 ± 8,7 a
	180	239,1 e 248,9	67,8	48,4 ± 17,5 a
Biodegradação do PP	0	157,6	83,3	43,8 ± 1,3 a
	76	160,4	67,3	35,4 ± 3,3 b
	150	160,3	77,4	40,7 ± 1,2 c
	180	159,6	71,4	37,6 ± 6,7 c

dias de biodegradação por *P. djamor*.

Na Tabela 1 podem ser vistos os dados de T_m (°C), ΔH_m (J.g⁻¹) e α_c (%) obtidos a partir das curvas de DSC. Não se observa grandes variações nas temperaturas de fusão tanto para PET quanto para PP.

Pode-se observar pela Tabela 1 que o grau de cristalinidade do PET diminuiu de 55,8 para 25,2 %, após 76 dias de biodegradação. Segundo Gan *et al.* (1997) e Gan *et al.* (1999), isto pode estar relacionado com a degradação da fase amorfa e também da fase cristalina. Já, para os tempos de 150

e 180 dias, observa-se que os graus de cristalinidade não apresentaram diferença significativa com o inicial.

Ao compararmos estes dados com os da Figura 2, observa-se que apesar de não haver diferença significativa entre os tempos de biodegradação para o PET, permanecendo a perda de massa em torno de 0,90%, pode-se propor que houve um indício de degradação, principalmente da fase amorfa, em 76 dias de biodegradação.

Para o PP, observa-se na Tabela 1 que o grau de cristalinidade também diminuiu do tempo inicial

(43,8%) para o tempo de 76 dias de biodegradação (35,4%), ou seja, parece que, tanto a fase amorfa quanto a fase cristalina do polímero, foram afetadas pelo fungo (Gan *et al.*, 1997; Gan *et al.*, 1999). Verifica-se, ainda, que os tempos de 150 e 180 dias apresentaram grau de cristalinidade superiores ao tempo de 76 dias, sem diferença significativa entre si. Este fato pode estar relacionado com os dados da Figura 2 para o PP, onde houve um aumento de 0,8% de perda de massa de 76 para 150 dias de biodegradação.

Os resultados obtidos no

Tabela 2 – Valores médios de perdas de massa (%) ± desvio padrão das amostras de polímeros expostas ao intemperismo natural. Amostra controle é a amostra sem degradação prévia por *P. djamor*. Amostra teste é a amostra previamente degradada durante 150 dias por *P. djamor*. Letras iguais, entre amostras controle e teste, indicam médias sem diferença significativa, entre as amostras controle e teste, pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%.

Amostras	Tempo (dias)	Perda de massa (%) ± desvio padrão
Amostra controle PET	90	0,47 ± 0,05 a
Amostra teste PET	90	0,48 ± 0,03 a
Amostra controle PET	150	0,48 ± 0,06 a
Amostra teste PET	150	0,48 ± 0,02 a
Amostra controle PP	90	0,0 a
Amostra teste PP	90	0,0 a
Amostra controle PP	150	0,068 ± 0,03 a
Amostra teste PP	150	0,098 ± 0,05 a

tempo de 150 dias mostram um indício de biodegradação dos polímeros pelo fungo, no entanto, como não foi verificado aumento na perda de massa dos polímeros, de 150 para 180 dias de biodegradação, tanto para o PET quanto para o PP, as amostras do tempo de 150 dias foram expostas ao intemperismo natural para avaliar a influência da biodegradação promovida por *P. djamor*.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados obtidos em termos de perda de massa (%) de PET e PP expostos ao intemperismo natural por 150 dias.

Observando-se os dados da Tabela 2 para PET e PP verifica-se que não houve perda de massa significativa entre amostras controle e teste. Segundo Lima (2004) o fator determinante da degradação de polímeros por fotodegradação é a ação da luz e, mais particularmente, dos raios ultravioletas. Todos os polímeros são sensíveis à luz em graus diferentes. Por esta razão, eles possuem aditivos para retardar ou acelerar esse efeito. No entanto, as ações dos raios ultravioletas são somente uma foto-fragmentação onde as macromoléculas não são

transformadas, mas sim cortadas pela fragilização dos aditivos.

Durante a exposição ao intemperismo natural, o material fica exposto a ciclos de claro e escuro, variações cíclicas de temperatura e outros efeitos sazonais. Muitas reações iniciadas na presença da luz se propagarão no escuro produzindo grupos absorvedores de luz (cromóforos) que irão acelerar o processo no próximo ciclo de iluminação. Durante os períodos de escuro e/ou de temperaturas mais baixas as reações químicas de degradação não são interrompidas, elas são apenas mais lentas (DE PAOLI, 2009).

Ainda, conforme Fechine *et al.* (2006) o polipropileno (PP) não absorve radiação UV em valores superiores a ~250 nm. Como a radiação solar, que alcança a superfície terrestre, possui comprimentos de onda superiores a 290 nm, a iniciação da fotodegradação desse polímero é atribuída à absorção de radiação UV por impurezas cromóforas como resíduos de catalisadores e hidroperóxidos gerados durante o processamento. A absorção da radiação UV por esses cromóforos

inicia uma série de reações químicas fotoxidativas, que geram grupos químicos como carbonila e hidroperóxidos e provocam reações de cisão de cadeia e/ou de reticulação. Os autores verificaram, quando expuseram amostras de PP ao intemperismo natural que os processos degradativos no polipropileno tinham predomínio de reações de cisão de cadeia.

No trabalho de Santos *et al.* (2010), que avaliaram a fotodegradação de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) durante 120 dias ao intemperismo natural, os autores sugerem que a degradação é um fenômeno heterogêneo que ocorre essencialmente à superfície e que tende a propagar-se para o interior do co-polímero.

De acordo com a literatura, verifica-se que a exposição ao intemperismo natural do PET e do PP, previamente degradados por *P. djamor*, não promoveu diferenças, em relação ao controle, mesmo sofrendo variações de temperatura, efeitos sazonais, ação da luz e da radiação UV. Isto pode estar relacionado com o fato de as amostras utilizadas de PET e de PP

Tabela 3 – Dados de temperatura de fusão (T_m), entalpia de fusão (ΔH_m) e grau de cristalinidade (α_c) obtidos por DSC para as amostras de PET e PP colocadas na intempérie por 90 e 150 dias. Amostra controle é a amostra sem degradação prévia por *P. djamor*. Amostra teste é a amostra previamente degradada durante 150 dias por *P. djamor*. Letras iguais significam médias de α_c sem diferença significativa, entre amostras controle e teste, pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5%, entre amostras controle e teste nos mesmos tempos

Amostra	Tempo (dias)	T_m (°C)	ΔH_m (J.g ⁻¹)	α_c (%)
Controle PET	0	239,8 e 249,4	77,9	55,6 ± 6,4 <i>a</i>
Teste PET	0	243,0 e 248,8	54,2	38,7 ± 8,8 <i>a</i>
Controle PET	90	246,1	37,0	26,4 ± 0,5 <i>b</i>
Teste PET	90	243,1 e 249,0	57,0	40,7 ± 21,6 <i>b</i>
Controle PET	150	236,8 e 249,0	60,58	43,3 ± 0,6 <i>c</i>
Teste PET	150	242,1 e 251,1	48,1	34,3 ± 10,9 <i>c</i>
Controle PP	0	157,6	81,5	42,9 ± 0,0 <i>a</i>
Teste PP	0	160,2	75,7	39,8 ± 5,5 <i>a</i>
Controle PP	90	158,2	74,8	39,4 ± 1,4 <i>b</i>
Teste PP	90	158,7	77,5	40,8 ± 4,3 <i>b</i>
Controle PP	150	158,3	81,23	42,7 ± 0,0 <i>c</i>
Teste PP	150	160,4	79,7	42,0 ± 0,0 <i>d</i>

não serem processadas, não contendo aditivos que desencadeiam os diferentes processos de degradação (DE PAOLI, 2009).

Na Tabela 3 estão os dados de T_m ($^{\circ}\text{C}$), ΔH_m (J.g^{-1}) e α_c (%) obtidos a partir das curvas de DSC e observa-se que tanto as amostras teste (previamente biodegradadas durante 150 dias por *P. djamor*) quanto as amostras controle (sem degradação prévia), apresentam temperatura de fusão (T_m) semelhantes para PET e PP.

Analisando-se os graus de cristalinidade das amostras controle e teste de PET (Tabela 3), verifica-se que em todos os tempo testados a amostras apresentaram um grau de cristalinidade sem diferença significativa. Estes resultados estão de acordo com os apresentados na Tabela 2, que mostram que após 90 ou 150 dias na intemperie, não houve diferença significativa em termos de perda de massa entre as amostras controle e teste. O mesmo comportamento pode ser observado para as amostras de PP (Tabela 3).

Os resultados obtidos neste experimento sugerem que, em 150 dias de exposição ao intemperismo, a provável degradação prévia de PET e PP por *Pleurotus djamor* não promoveu qualquer alteração nestes polímeros. Deve-se levar em consideração, que no presente trabalho os polímeros PET e PP eram na forma de "pellets" e não haviam sido processados. Este fato pode ter dificultado o ataque das enzimas e a penetração das hifas fúngicas, que poderiam haver facilitado a biodegradação.

CONCLUSÕES

Utilizando os polímeros como principal fonte de carbono, verificou-se que as perdas de massa de PET entre 76, 150 e 180 dias de biodegradação não tiveram diferença significativa, permanecendo em torno de 0,90 %.

Já para o PP, houve um aumento de 0,8 % de perda de massa de 76 para 150 dias de biodegradação e de 150 para 180 dias a perda de massa permaneceu em 2,2 %.

Observou-se uma variação no grau de cristalinidade do PET utilizado como principal fonte de carbono, durante 76 e 150 dias de biodegradação, provavelmente relacionada à competição dos mecanismos de degradação. Já, para o PP o grau de cristalinidade diminuiu do tempo inicial para o tempo de 76 dias de biodegradação os tempos de 76 e 150 dias, parecendo que tanto a fase amorfa quanto a fase cristalina do polímero foram afetadas pelo fungo.

Quando os polímeros PET e PP, previamente degradados durante 150 dias por *P. djamor*, foram expostos ao intemperismo natural, verificou-se que não houve perda de massa significativa entre amostras controle e as previamente degradadas (teste).

Estes resultados podem contribuir na busca por soluções para problemas ambientais envolvendo PET e PP lembrando que a reciclagem destes polímeros consome grandes quantidades de água e energia e gera resíduos sólidos, emissões atmosféricas e efluentes líquidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Fundo de Apoio à Pesquisa (FAP) da UNIVILLE pelo apoio financeiro e à Escola Técnica Tupy (Joinville - SC) pelos polímeros utilizados neste trabalho

REFERÊNCIAS

ABIPLAST. Os Plásticos, 2012. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/site/os-plasticos>>. Acesso em 10 de março de 2013.

ASTM:D5247. American Society for testing and materials. Standard Test Method for Determining the Aerobic Biodegradability of Degradable Plastics by Specific Microorganisms, 1992.

BACH, C.; DAUCHY, X.; CHAGNON, M.C.; ETIENNE, S. Chemical compounds and toxicological assessments of drinking water stored in polyethylene terephthalate (PET) bottles: A source of controversy reviewed. **Water Research**, v.46, p.571–583, 2012. BAIRD, C.; CARRERA L.C.M. **Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002, 622 p.

CALLISTER JÚNIOR, W.D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro:LTC, 2002, 589p.

CANEVAROLO, S.V.; BABETO, A.C. Effect of the screw element type in the degradation of polypropylene upon multiple extrusions. **Advances in Polymer Technology**, v. 21, n. 4, p. 1-7, 2002.

CORDEIRO, J. **Biodegradação de polipropileno (PP) e poli(tereftalato) de etileno (PET) reciclados utilizando *Pleurotus sajor-caju* CCB 019 em cultivo sólido**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Química Industrial, Universidade da Região de Joinville, 2008, 48p.

COSTA, K.C.F. **Estudo da degradação de polímeros sintéticos de importância industrial por linhagens fúngicas**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2001, 98p.

COSTA, L.T.; MAGALHÃES, F.; CARMO, D.F.; NASSAR, C.C.P.; GONÇALVES, C.S.; MENEZES, A.G.T.; WILKER, W.; OLIVEIRA, A.; MARIANO, F.L.; NASCIMENTO, L.V.; VENEROSO, F.; CAIS, T.; SERVIDONE, L.E.; BATISTA, C.; ROJAS, K.

Caracterização e percepção ambiental dos resíduos sólidos urbanos nas diferentes classes sociais no município de Alfenas – MG. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.5; p. 25-49, 2012.

DE PAOLI, M.A. **Degradação e Estabilização de Polímeros**, São Paulo: Editora Artliber, 2009, 221p.

ELIAS, H.G. **Macromoleculas – Structure and Properties**. New York: Plenum Press, 1984, 521p.

FARIA, P.C. **Biodegradação de polipropileno (PP) e poli(tereftalato) de etileno (PET) reciclados por *Pleurotus ostreatus* DSM 1833 em cultivo sólido**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Química Industrial, Universidade da Região de Joinville, 2008, 42p.

FARIA, A.U.; MARTINS-FRANCHETTI, S.M. Biodegradação de filmes de polipropileno (PP), poli(3-hidroxibutirato) (PHB) e blenda de PP/PHB por microrganismos das águas do Rio Atibaia. **Polímeros**, v. 20, n.2, p. 141-147, 2010.

FECHINE, G.J.M.; SANTOS, J.A.B.; RABELLO, M.S. Avaliação da fotodegradação de poliolefinas através de exposição natural e artificial. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 674-680, 2006.

FLEMMING, H.C. Relevance of biofilms for the biodeterioration of surfaces of polymeric materials. **Polymer Degradation and Stability**, v. 59, n. 1, p. 309-315, 1998.

FURLAN, S.A.; VIRMOND, L.J.; MIERS, D.A.; BONATTI, M.; GERN, R.M.M.; JONAS, R. Mushroom strains able to grow at high temperatures and low pH values. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 13, p. 689-692, 1997.

GAN, Z.; QIZHI, L.; ZHANG, J.; JING, X. Enzymatic degradation of poly(ϵ -caprolactone) film in phosphate

buffer solution containing lipases. **Polymer Degradation and Stability**, v. 56, p. 209-213, 1997.

GAN, Z.; YU, D.; ZHONG, Z.; QIZHI, L.; JING, X. Enzymatic degradation of poly(ϵ -caprolactone)/poly(dl-lactide) blends in phosphate buffer solution. **Polymer**, v. 40, p. 2859–2862, 1999.

INNOCENTINI-MEI, L.H.; MARIANI, P.D.S.C. **Visão geral sobre polímeros ou plásticos ambientalmente biodegradáveis (PADs)**. Campinas: Editora UNICAMP, 2005, 27p.

KLOSS, J. **Síntese e caracterização de poliuretanos biodegradáveis à base de poli(ϵ -caprolactona)**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Paraná, 2007, 203p.

LIMA, S.L.T. Reciclagem e biodegradação de plásticos. **Revista Científica do IMAPES**, v. 2, n. 2, p. 28-34, 2004.

LIMA, G.F.C.A.; JESUS, E.L. Contribuição do Centro de Compostagem e Reciclagem na formação do Técnico em Ambiente e na educação ambiental. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n.27, p. 34-44, 2013.

MANO, E.B.; MENDES, L.C. **Introdução a polímeros**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004, 191p.

MONTEIRO, A.M.C. **Biodegradação de polipropileno(PP) e poli(tereftalato de etileno)(PET) reciclados utilizando *Pleurotus ostreatus* DSM 1833 em cultivo submerso**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Química Industrial, Universidade da Região de Joinville, 2007, 57p.

PIATTI, T.M.; RODRIGUES, R.A.F. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais**. Maceió: EDUFAL, 51p., 2005.

PRADO, M.R. **Análise do inventário do ciclo de vida de embalagens de**

vidro, alumínio e PET utilizadas em uma indústria de refrigerantes no Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos, UFPR, Curitiba, 2007.

RAJARATHNAM, S.; SHASHIREKA, M.N.; BANO, Z. Biopotentialities of the Basidiomycetes. *Advances in Applied Microbiology*, v. 37, p. 233-361, 1992.

REYES, L.J. **Estudo da biodegradação de polietileno-tereftalato de etileno (PET) por fungos basidiomicetos ligninolíticos**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2003, 104p.

ROMERO, T. Descoberto fungo que faz biodegradação de garrafas PET. *Inovação Tecnológica*, 2009. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=descoberto-fungo-que-faz-biodegracao-de-garrafas-pet&id=#.UyMAI380qho>>. Acesso em 10 de março de 2013.

RORABACHER, D.B. (1991). Statistical treatment for rejection of deviant values: critical values of Dixon's "Q" parameter and related subrange ratios at the 95% confidence level. **Analytical Chemistry**, v.63, n.2, p.139-146.

SANTOS, R.M.; BOTELHO, G.; MACHADO, A.V. Avaliação da fotodegradação de ABS exposto a condições naturais. **Ciência e Tecnologia dos Materiais**, v. 22, n. 1/2, p. 87-90, 2010.

SPINACÉ, M.A.S.; DE PAOLI, M.A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, v.28, n. 1, p.65-72, 2005.

SOUZA, T.B. **Biodegradação de poli(tereftalato de etileno) (PET) e polipropileno (PP) por *Pleurotus djamor* UNIVILLE 001**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Ambiental,

Universidade da Região de Joinville,
2009, 52p.

ZADRAZIL, F.; KURTZMAN, J.R.H. **The biology of *Pleurotus* cultivation in the tropics**. In: CHANG, S.T., QUIMIO, T.H. Tropical Mushrooms. Hong Kong: The Chinese Univ. Press. 493p., p. 277-278, 1984.

ZANIN, M.; MANCINI, S.D. **Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia**. São Carlos:UFSCAR, 2004, 143p.

Recebido em: mar/2012
Aprovado em: mar/2014