

Reciclagem de materiais: estudo das propriedades mecânicas de policarbonato reciclado de discos compactos

Giovanella, J.¹; Janczkowski, R.¹; Soares, G.C.¹; Serafim, C.E.¹; Ramos, T.O.B.¹; Silva, C.W.da¹; Molinari, E.J.¹; Conti, D.S.¹

¹Sociedade Educacional de Santa Catarina - SOCIESC, Escola Técnica Tupy - ETT, Departamento de Materiais, Rua Albano Schmidt 3333, 89227-700, Boa Vista, Joinville, SC, Brasil
e-mail: jaquee@hotmail.com, rosane.zany@gmail.com, gisele_crys@yahoo.com.br,
cadu_serafin@hotmail.com, tami_obr@hotmail.com, cesar.silva@sociesc.com.br, molinari@sociesc.com.br
denise.santos@sociesc.com.br

RESUMO

O disco compacto (CD) e o disco de vídeo digital (DVD) são artefatos obtidos de um polímero termoplástico, o policarbonato, metalizado. Tais discos são produzidos e comercializados em milhões de unidades no mundo todo, e, desde o seu processamento até o uso pelo consumidor final, é estimado que aproximadamente 10% da produção de CD e DVD é descartada. O policarbonato pode ser separado das demais camadas destes discos, por vários métodos, recuperado e re-utilizado. Porém, na maioria das vezes, sua destinação são os lixões das grandes cidades, contribuindo para o agravamento da poluição ambiental. Este trabalho teve como objetivo estudar as propriedades mecânicas do policarbonato reciclado de CD e DVD através do método de abrasão mecânica, visando tornar viável o uso cotidiano deste material, sendo capaz de substituir polímeros de uso comum, como o poliestireno (PS), ou ser utilizado juntamente com o PC virgem em determinadas aplicações. Corpos de prova de PS e das misturas de PC-virgem/PC-reciclado (nas proporções de 100/0, 70/30, 50/50, 30/70 e 0/100 em %m/m) foram obtidos através de moldagem por injeção para a realização de ensaios de resistência à tração e ao impacto Izod além de dureza Shore. Foi observado que em até 70% de PC reciclado adicionado às blendas, houve diminuição da resistência ao impacto e da deformação enquanto a resistência à tração e a dureza superficial foram mantidas, em relação ao PC virgem. Verificou-se também que o PC reciclado conseguiu atingir 79,2% da tensão máxima de tração e 60,8% da resistência ao impacto do PC virgem. Quando comparado ao PS, o PC reciclado apresentou bom desempenho mecânico, sendo ambos similares quanto à resistência à tração, à deformação e à dureza, porém melhor resistência ao impacto.

Palavras-chaves: policarbonato reciclado, poliestireno, disco compacto, propriedades mecânicas.

Materials recycling: study of mechanical properties of the recycled polycarbonate from compact discs

ABSTRACT

The compact disc (CD) and digital video disc (DVD) are goods obtained from a thermoplastic polymer, the polycarbonate, metallized. Such discs are produced and commercialized in millions of units all over the world, and since their processing until their use by the final consumer, it is estimated that approximately that 10% of the production of CD and DVD is discarded. The polycarbonate can be separated from the other layers of these discs, through several methods, recovered and re-used, but in most of times, its destination is the landfill in the big cities, contributing to the increase of the environmental pollution. This work had as objective to study the mechanical properties of recycled polycarbonate from CD and DVD through the mechanical abrasion method, in order to make feasible its daily use, being able to substitute commodity polymers, as polystyrene (PS), or being used with the virgin PC in some applications. Specimens of PS and blends of virgin-PC/recycled-PC (in the ratios of 100/0, 70/30, 50/50, 30/70 and 0/100 in %w/w) were obtained by injection moulding for tests of tensile strength, Izod impact strength besides Shore hardness. It was observed that with the addition of up to 70% of recycled PC in the blends, there was a decrease of both the impact strength and the elongation while the tensile strength and surface hardness were

unchangeable, with respect to the virgin PC. It was also noticed that the recycled PC could reach 79.2% of the maximum tensile strength and 60.8% of the impact strength of the virgin PC. When compared to PS, the recycled PC showed good mechanical performance, being similar in tensile strength, elongation and hardness but presenting better impact strength.

Keywords: recycled polycarbonate, polystyrene, compact disc, mechanical properties.

1 INTRODUÇÃO

No início da década de 1980, as indústrias Phillips e Sony, européia e japonesa, respectivamente, apresentaram para o mundo o disco compacto de áudio (*compact disc* – CD). Desde então, o consumo de tais discos pela indústria fonográfica e a sua utilização em outros segmentos, como pelas indústrias de *software* e programação, gravação de dados, textos, imagens, vídeos, etc., vêm aumentando muito. Esses discos compactos têm se tornado cada vez mais populares, com capacidade para armazenar grandes volumes de informações [1].

Em 1991, a produção de CDs em todo o mundo chegou a 400 milhões de unidades [2] e tem aumentado cerca de 10% a cada ano [3]. A produção de discos compactos para gravação de dados (*compact disc read only memory*, o CD-ROM) foi de aproximadamente 5,2 bilhões de unidades no mundo inteiro em 2002, e em 2003, todos os DVDs (*digital video disc*) e CDs para áudio, vídeo e gravação de dados produzidos no mundo totalizaram cerca de 12 bilhões de unidades [2]. Quanto ao formato e a tecnologia de produção, um DVD é muito similar a um CD. Entretanto, os DVDs possuem maior capacidade de gravação de dados, cerca de sete vezes mais que um CD [4].

CDs e DVDs são artefatos feitos a partir do termoplástico policarbonato (PC), metalizado [3]. O policarbonato é o polímero utilizado na confecção de CDs e DVDs devido às suas propriedades, como excepcional transparência e transmitância, baixa absorção de umidade, rigidez, resistência térmica e altíssima resistência ao impacto [1, 5].

Desde o processo de manufatura até o uso pelo consumidor final, estima-se que aproximadamente 10% de todos os CDs e DVDs produzidos sejam descartados [6]. Somente nos Estados Unidos da América, mais de dois bilhões de CDs são produzidos todos os anos e cerca de 200 milhões são rejeitados, seja por defeitos de fabricação no momento da injeção do policarbonato ou erros durante o processo de gravação, e até mesmo desperdiçados na distribuição como material de divulgação comercial [3, 6].

Estes CDs e DVDs descartados podem ter o policarbonato separado das demais camadas, regranulado, reprocessado e reutilizado. Entretanto, na maioria das vezes, tais discos acabam mesmo nos lixões das grandes cidades. Por exemplo, os Estados Unidos despejam mais de 160 milhões de toneladas anuais de resíduos sólidos no meio ambiente, sendo que 4 a 7% (em peso) correspondem a materiais plásticos. Problemas decorrentes dessa poluição ambiental têm levado a comunidade científica a refletir sobre rotas alternativas para o problema, como a reciclagem, a incineração e o uso de polímeros biodegradáveis [7]. Com relação aos polímeros biodegradáveis, os mais estudados são o poli(3-hidroxitbutirato), P(3HB), e o poli(3-hidroxitbutirato-co-3-hidroxitvalerato), P(3HB-co-3HV) [8, 9, 10, 11]. Entretanto, tornar viável a utilização desses materiais em aplicações cotidianas ainda envolve processos que apresentam muitas dificuldades. Sendo assim, a reciclagem de materiais plásticos torna-se uma alternativa atrativa e viável [12].

O processo de produção de CDs e DVDs não permite que os mesmos sejam reciclados facilmente. Tais discos são constituídos por multicamadas: o policarbonato juntamente com três camadas de menor espessura (alumínio, verniz e a impressão). A camada de alumínio possui de 55 a 70 μm de espessura, enquanto que o verniz e a impressão totalizam cerca de 20 microns. Dessa forma, para a reciclagem do policarbonato de CDs e DVDs faz-se necessário a remoção dessas camadas extras [2].

Existem muitos métodos para a remoção das camadas extras do policarbonato de CDs e DVDs, desde procedimentos totalmente químicos até físico-mecânicos [4]. Entretanto, as técnicas mais comuns são: a) a separação química, que envolve o uso de agentes químicos agressivos, como soluções alcalinas e sais inorgânicos em elevadas temperaturas para remover as camadas extras do policarbonato [4]; b) a filtração durante a fusão, onde os discos são moídos e o material é secado e regranulado numa extrusora equipada com uma série de filtros que remove os contaminantes sólidos que não fundem durante a fusão do policarbonato, o qual consegue passar pelos filtros e é separado dos metais [4, 13]; c) o processo mecânico, que consiste na remoção das camadas do policarbonato através de abrasão [2].

O processo mecânico tem sido considerado a melhor maneira de recuperar o policarbonato de CDs e DVDs, uma vez que é um método seguro, simples e eficaz. Equipamentos específicos possuem uma escova de alta rotação, que remove as camadas extras que estão sobre o policarbonato, e uma esteira transportadora que move os discos continuamente (Figura 1). A escova remove as camadas metálicas, cujas partículas são conduzidas para um filtro onde ocorre a recuperação do alumínio. Ar comprimido, gás inerte ou água pulverizada podem ser aplicados na interface do disco com a escova para garantir resfriamento e evitar a

fusão prematura do policarbonato. Os discos com o policarbonato separado são regranulados em extrusora e o termoplástico pode então ser reutilizado [2]. As vantagens dessa técnica são: facilidade de adaptação ao ambiente de manufatura, o equipamento é de simples operação, o custo é relativamente baixo e o processo não envolve produtos químicos perigosos [4].

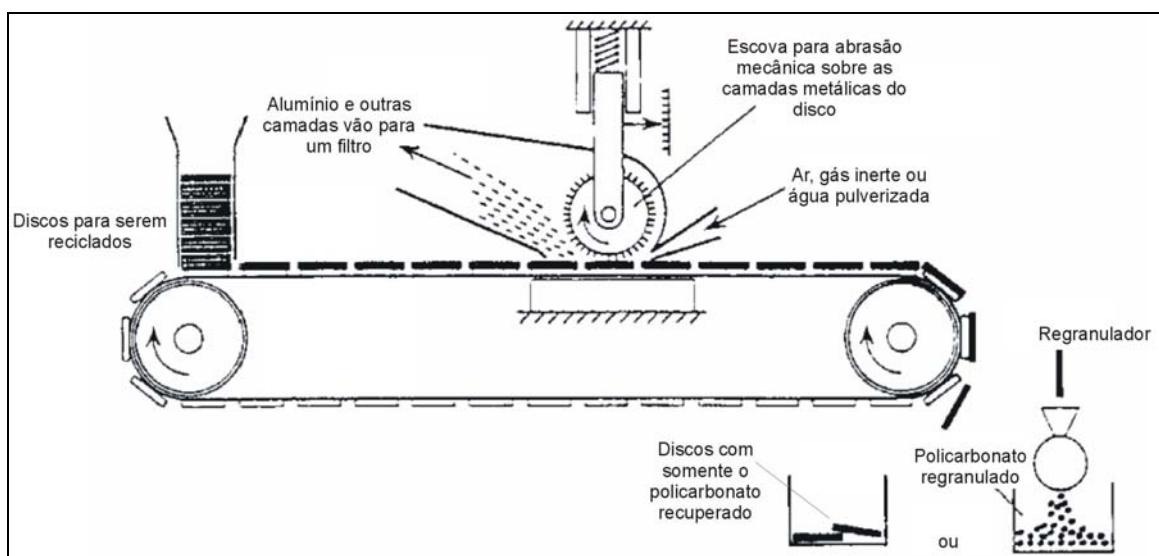


Figura 1: Esquema de um processo de reciclagem de discos compactos por abrasão mecânica [2].

Estudos têm verificado [4, 13, 14, 15] que a qualidade do policarbonato reciclado de CDs e DVDs é pouco inferior em relação ao policarbonato virgem. Entre algumas propriedades mecânicas, o módulo de elasticidade do policarbonato reciclado de discos compactos via abrasão mecânica (1602 MPa) pode chegar a 77% em relação ao módulo do policarbonato virgem (2080 MPa).

Além disso, acredita-se que a resistência ao impacto do policarbonato reciclado de CDs e DVDs seja pouco diminuída em relação à do policarbonato virgem. Tal característica poderia favorecer a utilização desse material onde se necessita de rigidez, transparência, resistência ao impacto e menor custo. Dessa forma, o PC reciclado a partir de CDs e DVDs poderia substituir, por exemplo, o poliestireno (PS) em algumas aplicações. O poliestireno é um plástico estirênico de uso comum (de menor custo) que apresenta algumas propriedades semelhantes ao policarbonato, como transparência e rigidez. Entretanto, sua resistência ao impacto (temperatura de transição vítrea $\cong 100^{\circ}\text{C}$) é muito inferior à do policarbonato (cujas temperaturas de transição secundárias encontram-se entre -200°C e 0°C) [5, 16, 17], o qual é um plástico de engenharia de elevado custo.

Portanto, o objetivo desse trabalho foi estudar as propriedades mecânicas do policarbonato reciclado a partir de CDs e DVDs, visando tornar viável o uso desse material no cotidiano, podendo substituir plásticos de uso comum, como o poliestireno, ou ser utilizado junto com o PC virgem em determinadas aplicações.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais Empregados

Foram utilizados três tipos de materiais plásticos no presente estudo: poliestireno virgem (PS NR 2560) fornecido pela Innova, policarbonato virgem (PC Makrolon® PMR 39611 641-L) fornecido pela Bayer e policarbonato reciclado obtido através dos CDs e DVDs doados pela comunidade.

2.2 Obtenção do PC Reciclado

Cerca de 500 CDs e DVDs tiveram as camadas metálicas retiradas por abrasão mecânica. Tal processo foi realizado inicialmente em esmeril e depois em lixadeira automática, até que os discos atingissem uma espessura entre 0,8 a 1,0 mm, o que garantia a obtenção do PC isento das camadas metálicas. Os discos de PC foram então triturados em moinho Primotécnica e esse PC reciclado foi condicionado em estufa de circulação de ar Fanem 320-SE por 6 horas à 90°C .

2.3 Obtenção dos Corpos de Prova

Corpos de prova de tração (norma ISO 527) e impacto Izod (norma ISO 180) de PS e blendas PC-*virgem*/PC-*reciclado* foram obtidos através de injeção. O PC *virgem* e o PC *reciclado* foram previamente misturados manualmente nas proporções (%m/m) 100/0, 70/30, 50/50, 30/70 e 0/100. Essas misturas foram condicionadas em desumidificador Piován à 90°C por 6 horas e posteriormente injetadas em máquina injetora Sandretto (força de fechamento de 65 toneladas, capacidade de injeção de 138 g de PS, capacidade de plastificação de 16,8 g.s⁻¹, diâmetro da rosca 32 mm, pressão máxima de injeção de 1930 bar, velocidade máxima de injeção de 76 cm³.s⁻¹ e curso máximo de dosagem de 160 mm). Os parâmetros de processo foram regulados conforme recomendações do fornecedor e ajustados de acordo com os valores mínimos necessários para obtenção de corpos de prova que atendessem as especificações técnicas dos ensaios mecânicos. Os corpos de prova obtidos foram condicionados a 23°C (± 2°C) e 50% (± 5°C) de umidade relativa pelo menos 48 horas antes dos ensaios, conforme recomenda a norma ASTM D618.

2.4 Ensaios mecânicos

Para caracterizar o comportamento mecânico do PS e das blendas PC-*virgem*/PC-*reciclado* quanto às propriedades de tensão e deformação, empregou-se o ensaio de resistência à tração. Tal ensaio foi realizado de acordo com a norma ISO 527 em máquina Universal de Ensaios Kratos, com célula de carga de 500 kgf, velocidade de ensaio de 50 mm.min⁻¹ e comprimento útil dos corpos de prova de 50 mm.

Para determinar a resistência ao impacto do PS e das blendas PC-*virgem*/PC-*reciclado*, os corpos de prova foram entalhados e ensaiados em equipamento Microtest de acordo com a norma ISO 180/A. A base e o pêndulo (2,0 Joules) utilizados seguiram o método Izod.

Com o objetivo de determinar a resistência superficial à penetração do PS e das blendas PC-*virgem*/PC-*reciclado*, foi realizado ensaio de Dureza Shore D de acordo com a norma ASTM D2240. Utilizou-se a superfície plana dos corpos de prova de tração, equipamento Woltest SD300, peso de 5 kg e tempo de penetração de 10 segundos.

Para obtenção dos valores médios e desvio-padrão das propriedades mecânicas foram empregados cinco corpos de prova para o ensaio de tração e dez para os ensaios de impacto e dureza, para cada composição de material.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para as propriedades mecânicas do PS e das blendas PC-*virgem*/PC-*reciclado* são apresentados nas Figuras 2 e 3.

A tensão máxima de tração obtida para o PS está de acordo com o valor apresentado por BRYDSON [5] (40 à 48 MPa), e a resistência ao impacto Izod e a dureza Shore D foram similares aos valores citados por VAN KREVELEN [16], 28 J.m⁻¹ e 78 unidades Shore D, respectivamente.

Com relação ao PC *virgem* (100/0) verificou-se que a tensão máxima de tração obtida concordou com os valores citados por BRYDSON [5] (65 MPa) e BOUDREAU *et al.* [13] (60,1 MPa), que o valor de deformação na ruptura foi similar aos apresentados por BRYDSON [5] (110 à 120%) e CALLISTER JR. [16] (110 à 150%), e que a resistência ao impacto Izod concordou com os resultados citados por BRYDSON [5] (640 à 850 J.m⁻¹) e VAN KREVELEN [16] (800 J.m⁻¹).

O PC *reciclado* (0/100) apresentou a tensão máxima de tração similar aos valores apresentados por BOUDREAU *et al.* [13] (45,5 MPa) e JONES [16] (46,3 MPa).

As blendas 70/30, 50/50 e 30/70 revelaram valores de resistência à tração praticamente constantes em relação ao PC *virgem* (100/0), com desvios não superiores à 5,7% (Figura 2). O PC totalmente reciclado (0/100) apresentou a resistência à tração apenas 20,8% inferior ao PC *virgem* (100/0), ou seja, 79,2% da resistência à tração do PC *virgem* foram mantidas pelo PC totalmente reciclado de discos compactos (Figura 2). Esse resultado concorda com os estudos [4, 13, 14, 15] que têm verificado que a qualidade do policarbonato reciclado de CDs e DVDs é pouco inferior em relação ao policarbonato *virgem*.

Esse bom desempenho de resistência à tração do PC *reciclado* em relação ao PC *virgem* ocorre devido à estrutura molecular do polímero. Devido aos grupos benzênicos estarem diretamente na cadeia principal, juntamente com os grupos carbonato altamente polares, a macromolécula do policarbonato é muito rígida e resistente, a qual suporta elevada tensão máxima de tração, apesar dos ciclos de reciclagem [5, 19].

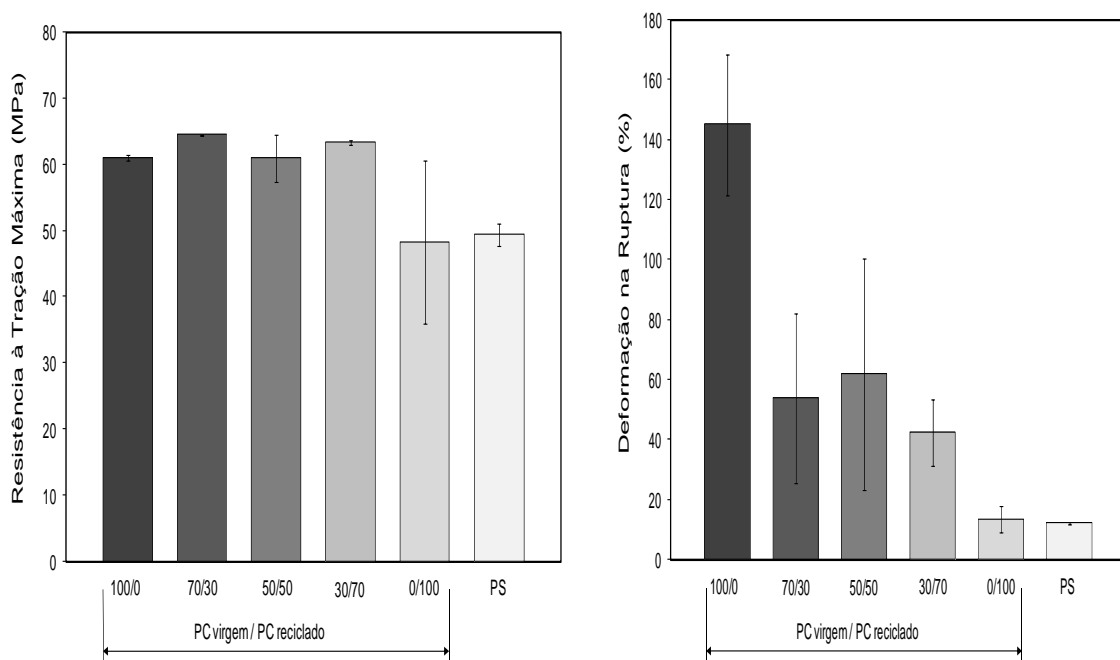


Figura 2: Resistência à tração e deformação na ruptura do PS e das blendas PC virgem/PC reciclado.

Comparando-se a resistência à tração entre o PC reciclado (0/100) e o PS (Figura 2), verifica-se que esses materiais mostraram-se muito similares (o PC reciclado foi apenas 2,4% inferior ao PS). Tal resultado revela o bom desempenho mecânico do PC reciclado de discos compactos e de suas blendas com PC virgem, podendo esses materiais virem a substituir artigos confeccionados em PS que necessitem de resistência à tração e ao impacto. Entretanto, ressalta-se aqui que o PC reciclado (0/100) apresentou um maior desvio padrão, provavelmente devido à condição de estar 100% reciclado, o que é comum em plásticos de engenharia reciclados [5, 19].

A boa resistência à tração do PS está associada com a estrutura molecular do polímero, pois o grupo lateral benzênico presente no PS restringe a mobilidade molecular e eleva a temperatura de transição vítrea ($\cong 100^{\circ}\text{C}$) [5, 19] fazendo necessário alta carga de tração para provocar a ruptura do material.

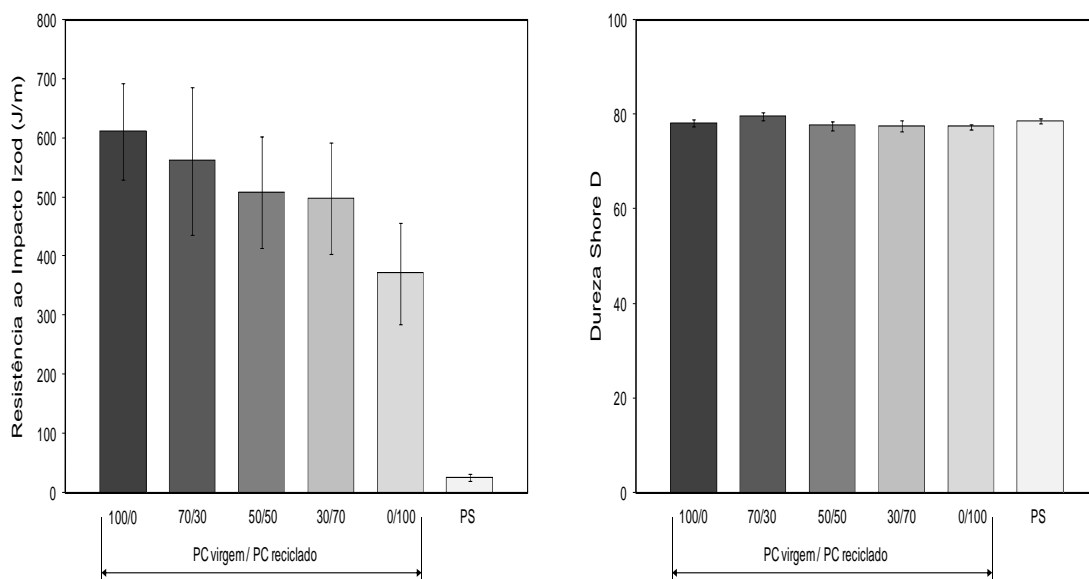


Figura 3: Resistência ao impacto e dureza superficial do PS e das blendas PC virgem/PC reciclado.

Com relação à deformação na ruptura, obteve-se que as quantidades de 30%, 50% e 70% de PC reciclado adicionadas ao PC virgem reduziram significativamente tal propriedade (Figura 2). As blendas 70/30, 50/50 e 30/70 apresentaram redução de 91,2% , 83,2% e 102,7% , respectivamente. O PC totalmente reciclado (0/100) mostrou redução de 131,6% comparado ao PC virgem (100/0). O PC reciclado diminuiu muito a sua capacidade deformar-se plasticamente durante ensaio de resistência à tração. Além disso, percebe-se através dos valores de desvio padrão obtidos que as misturas de PC reciclado com PC virgem demonstraram-se um pouco instáveis. Tal fenômeno é comum em plásticos de engenharia reciclados, e geralmente está associado à redução de massa molar promovida durante os processos os processos de moagem, regranulação e reprocessamento [5, 19].

Porém, comparando-se os resultados de deformação na ruptura do PC reciclado (0/100) e do PS, percebe-se que esses valores foram muito similares, sendo que o PC reciclado foi cerca de 1,2% superior ao PS (Figura 2).

A resistência ao impacto das blendas foi diminuída de acordo com as quantidades de PC reciclado adicionadas. Em relação ao PC virgem (100/0) as blendas 70/30, 50/50, 30/70 e 0/100 apresentaram diminuição de 8,2%, 16,9%, 18,5% e 39,2%, respectivamente (Figura 3). Vale ressaltar que 60,8% da resistência ao impacto do PC virgem foi mantida pelo PC totalmente reciclado de discos compactos, concordando assim com a literatura [4, 13, 14, 15].

Essa boa performance de resistência ao impacto do PC reciclado ocorre devido às características da estrutura molecular do polímero. Os grupos fenileno, isopropilideno e carbonatos possuem movimentos internos que originam transições secundárias em -200°C e 0°C. Esses movimentos internos, associados ao elevado volume livre da estrutura molecular do PC, absorvem as tensões de impacto aplicadas [5, 19], apesar do material ter sofrido um processo abrasivo de reciclagem.

Obteve-se que a resistência ao impacto do PC totalmente reciclado (0/100) foi muito superior à do PS (o PS mostrou apenas 7% da resistência ao impacto apresentada pelo PC totalmente reciclado – Figura 3). Tal resultado indica o bom desempenho com relação ao impacto do PC reciclado de discos compactos e de suas blendas com PC virgem, podendo esses materiais substituir artigos confeccionados em PS sem perda de resistência ao impacto, o que é comum em aplicações que utilizem o PS.

Com relação à dureza superficial, obteve-se que as quantidades de PC reciclado de discos compactos incorporadas ao PC virgem não influenciaram essa propriedade, e que mesmo o PC totalmente reciclado apresentou dureza similar ao PC virgem e ao PS (Figura 3).

4 CONCLUSÃO

Blendas de PC-*virgem*/PC-*reciclado* de discos compactos e PS *virgem* tiveram as propriedades mecânicas de resistência à tração, deformação na ruptura, resistência ao impacto Izod e dureza Shore D estudadas nesse trabalho. Para quantidades de até 70% de PC reciclado de discos compactos adicionadas às blendas PC-*virgem*/PC-*reciclado*, obteve-se diminuição na resistência ao impacto e na deformação, e manutenção da resistência à tração e da dureza superficial, em relação ao PC *virgem*. Verificou-se que o PC totalmente reciclado conseguiu manter 79,2% da tensão máxima de tração e 60,8% da resistência ao impacto, em relação ao *virgem*. O PC totalmente reciclado apresentou propriedades de resistência à tração, deformação na ruptura e na dureza superficial similares ao PS, porém resistência ao impacto muito superior, o que poderia favorecer a utilização de PC reciclado em substituição ao PS.

5 AGRADECIMENTOS

À Innova, pelo fornecimento do Poliestireno, à Bayer, pelo fornecimento do Policarbonato Makrolon® e à Sociesc, pela infra-estrutura dos laboratórios.

6 REFERÊNCIAS

- [1] VALLENS, A., “Optical discs reduce data-storage needs to a matter of inches”, *Modern Plastics*, v. 70, n. 6, pp. 45, 1993.
- [2] BOUDREAU, K.A., MALLOY, R.A., “A method for the recovery and recycling of polycarbonate from optical media disc application”, *Polymeric Materials Science and Engineering*, Proceedings of the ACS Division of Polymeric Materials Science and Engineering, v. 67, pp. 401-403, 1992.
- [3] RIIHIMÄKI, J., *CD - scrap recycling*, In: Internal Report Helsinki University of Technology, Energy Engineering and Environmental Protection, Helsinki, 2001.

- [4] SCHEIRS, J., *Polymer Recycling*, Chichester UK, New York, John Wiley & Sons, 1998.
- [5] BRYDSON, J.A., *Plastics Materials*, 7 ed. Oxford, Butterworth Heinemann, 2000.
- [6] POHIMANN, K.C., *The Compact Disc: A Handbook of Theory and Use*, Madison, Wisc., AR Editions, 1989.
- [7] ROSA, D.S., PANTANO FILHO, R., *Biodegradação: um ensaio com polímeros*, Itatiba, São Paulo, Editora Universidade São Francisco e Moara Editora, 2003.
- [8] CONTI, D.S., YOSHIDA, M.I., PEZZIN, S.H., et al., “Miscibility and crystallinity of poly(3-hydroxybutyrate) / poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) blends”, *Thermochimica Acta*, v. 450, pp. 61-66, 2006.
- [9] CONTI, D.S., *Estudo da miscibilidade, morfologia e propriedades mecânicas de blendas P(3HB)/P(3HB-co-3HV) e equilíbrio de fases em altas pressões de P(3HB) e P(3HB-co-3HV) em gases densos*, Dissertação de M.Sc, CCT/UDESC, Joinville, SC, Brasil, 2006.
- [10] CONTI, D.S., PEZZIN, S.H., COELHO, L.A.F., “Mechanical and morphological properties of P(3HB)/P(3HB-co-3HV) blends”, In: *World Polymer Congress - Macro 2006*, ID-1777, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, pp.16-21, July 2006.
- [11] CONTI, D.S., YOSHIDA, M.I., PEZZIN, S.H., et al., “On the miscibility of biopolymers and their interactions”, In: *2nd International Symposium on Calorimetry and Chemical Thermodynamics*, P27, São Pedro, SP, Brasil, pp. 9-13, April 2006.
- [12] RAGHAVAN, D., “Characterization of biodegradable plastics”, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, v. 34, n. 1, pp. 41-63, 1995.
- [13] BOUDREAU, K., MALLOY, R., TAYEBI, A., “A method for the recovery of polycarbonate from compact audio discs”, In: *SPE Annual Technical Conference (ANTEC): Conference Proceedings*, pp.869-874, New Orleans, USA, May, 1993.
- [14] LIANG, R., GUPTA, R.K., “Rheological and mechanical properties of recycled polycarbonate”, In: *SPE Annual Technical Conference (ANTEC): Conference Proceedings*, pp.2903-2907, Orlando, USA, May 2000.
- [15] ZEVENHOVEN, R., SAEED, L., *Automotive shredder residue (ASR) and compact disc (CD) waste: options for recovery of materials and energy*, In: Report TKK-ENY-14 Helsinki University of Technology, Energy Engineering and Environmental Protection, Espoo, Finland, April 2003.
- [16] VAN KREVELEN, D.W., *Properties of Polymers*, Amsterdam, Elsevier Science, 1997.
- [17] CALLISTER JR., W.D., *Materials Science and Engineering: An Introduction*, Utah, John Wiley & Sons, 2000.
- [18] JONES, J., “Polymer blends based on compact disc scrap”, In: *SPE Annual Technical Conference (ANTEC): Conference Proceedings*, pp. 2865-2867, San Francisco, USA, 1-5 May, 1994.
- [19] WIEBECK, H., HARADA, J., *Plásticos de Engenharia: tecnologia e aplicações*, São Paulo, Artliber, 2005.