

ANÁLISE DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DE POLIPROPILENO E A INFLUÊNCIA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Almeida, Rosemeire dos Santos, rmalmeida.rs@feq.unicamp.br¹

Campos, João Sinézio de Carvalho, sinezio@feq.unicamp.br²

Departamento de Tecnologia de Polímeros

Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, Campinas, S.P., Brasil

C.P.: 6066, CEP.: 13083-970

Resumo: É bem conhecido o largo uso de materiais poliméricos e o proporcional impacto negativo que especialmente os polímeros de "comodites" (PP, PE, PVC, PET, etc) causam quando são descartados no meio ambiente. Isso tem preocupado os cientistas, que cada vez mais desenvolvem tecnologias para o reaproveitamento desses materiais. Uma das técnicas consiste no reprocessamento por meio de extrusoras e injetoras, cujos processos, no entanto, tendem a degradar o material, levando a alterações em suas propriedades mecânicas e reológicas. Neste trabalho, avalia-se a influência da velocidade de rotação da rosca no processo de extrusão do polipropileno (PP) virgem e reciclado sob quatro diferentes rotações, a saber: 40, 80, 120 e 160 rpm e mesmo perfil de temperatura ao longo de uma extrusora monorosca. Após o processo de extrusão, injetaram-se corpos de prova para análises de propriedades mecânicas em ensaios de tração, flexão, impacto, índice de fluidez e temperatura de amolecimento VICAT. Para os materiais utilizados neste trabalho, os resultados mostram que: (i) para ensaios de tração, o valor médio do módulo de elasticidade para o PP virgem resultou em 660 MPa e para o reciclado em 415 MPa independentemente da velocidade de rotação da rosca; (ii) para os ensaios de máxima flexão (antes da ruptura), o PP virgem tem valor médio de 38,5 MPa e o PP reciclado, de 26,5 MPa, independentemente da velocidade de rotação; na ruptura, tem-se o valor médio do módulo de elasticidade na flexão em 1150 MPa e 820 MPa, respectivamente para o PP virgem e o reciclado; (iii) a resistência ao impacto izod para o PP virgem foi de 46 J/m e para reciclado, 103 J/m; (iv) para a taxa de fluidez, obteve-se 39 (g/10min) para o PP virgem e 10 (g/10 min) para o reciclado; (v) a temperatura de amolecimento Vicat foi igual a 144 °C para o PP virgem e 116 °C para o reciclado. Cabe ressaltar que, no presente estudo, a velocidade de rotação da rosca no processo de extrusão pouco influenciou as propriedades mecânicas dos polímeros (reciclado e virgem).

Palavras-chave: Extrusão; Reciclagem; Polipropileno.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da aplicação de polímeros em produtos finais tem levado à obtenção de maiores lucros pelas indústrias de transformação. Devido a isso, tem-se incentivado diversos estudos que visam a garantir a qualidade do polímero durante o processo de extrusão (Canevarolo e Babetto, 2000; Wortbeg, Rahal e Michels, 2009).

O polipropileno, desde sua introdução em 1954, tornou-se uma das mais importantes resinas termoplásticas da atualidade, tanto que em 1995, já foi o segundo termoplástico mais consumido no país. No ano de 2006, a demanda por esse material teve um crescimento quase duas vezes maior em comparação ao que foi alcançado pelas outras resinas, o que é justificado pelo fato de o polipropileno ser um material versátil, reciclável e fácil de incinerar. Além disso, ele já começou a ser aplicado em não tecidos, devido às suas características estruturais e suas propriedades mecânicas, o que o faz gradualmente suplantando outros materiais na produção de embalagens, componentes para montagem de automóveis, produção de celulares, DVDs e eletrodomésticos de pequeno porte. Tal cenário permite compreender como em 2008, no Brasil, foram consumidas 1.227 milhões de toneladas de polipropileno (ABINT, 2009).

O polipropileno apresenta excepcional resistência a rupturas por flexão e fadiga, excelente resistência química, boa resistência a impactos acima de 15°C, estabilidade térmica, baixo peso e custo reduzido. As resinas termoplásticas de polipropileno são produzidas a partir do gás propileno, um subproduto do refinamento do petróleo. Em seu estado natural, a resina é semi translúcida e leitosa (Albuquerque, 1999). Do ponto de vista tecnológico, os materiais poliméricos devem apresentar resistência mecânica satisfatória (Activas, 2009). Sabe-se que a cristalinidade está diretamente relacionada à densidade, rigidez e resistência mecânica, térmica e química do polímero, e inversamente à sua transparência. As regiões não-cristalinas do polímero contribuem para reduzir sua dureza e aumentar sua flexibilidade, de modo que se deve buscar um balanço adequado dessas características para atingir uma larga faixa de aplicações práticas do material (Mano, Mendes, 2004). Importante salientar uma desvantagem dos resíduos plásticos: o impacto negativo que podem causar no meio ambiente. Devido à sua baixa degradação, esses materiais formam um grande volume, o que agrava os problemas dos aterros sanitários ou, quando não são corretamente descartados,

contribuem para a poluição das cidades e se tornam, inclusive, foco de doenças por acumularem água em seu interior. A grande intensidade da poluição ambiental foi sentida pela sociedade desde o início dos anos 1970, quando o imenso volume de objetos plásticos utilizados e descartados inadequadamente ultrapassou limites perigosos.

Esses fatores ambientais explicam por que a reciclagem e o reuso de produtos plásticos tornaram-se um assunto de grande importância, alvo de preocupação de muitos cientistas, que cada vez mais, buscam desenvolver tecnologias para o reaproveitamento desses materiais. A reciclagem se apresenta como uma forma de reutilizar esse resíduo descartado, transformando-o em matéria prima e reintegrando-o ao processo produtivo. Uma das técnicas de reciclagem utilizada relaciona-se ao reprocessamento, no qual se verifica a degradação do polímero, que sofre alterações em suas propriedades mecânicas e reológicas. (Strong, 1996).

A extrusão é o processo mais utilizado na sua conformação. A função básica da extrusora é transportar, plastificar, misturar e entregar à matriz um fluxo constante de material, formando uma massa homogênea. O material passa por uma rosca sem fim, é compactado e fundido. Ao sair da matriz em forma de espaguete ou perfil, é resfriado e cortado.

No processo de extrusão, o ponto crítico está na velocidade de rotação da rosca, que age sobre as propriedades mecânicas do material. (Callister, 2002, Marchini, 2004). Por essa razão, o presente trabalho analisa qual é a influência dessa velocidade de rotação sobre as propriedades mecânicas do polipropileno (PP) virgem e reciclado. Os ensaios de tração, flexão, impacto, índice de fluidez e temperatura de amolecimento VICAT foram realizados sob quatro diferentes rotações de processamento de extrusão.

2. MATERIAIS, MÉTODOS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAIS

Os experimentos foram realizados em uma extrusora monorosca, com diâmetro da rosca 30 mm / LD=32 da marca Wortex, modelo WEX 30. A potência máxima da rosca foi de 180 rpm com perfil de temperatura nas zonas de aquecimento 180, 198, 198, 200, 208°C e com velocidades de rotações de 40, 80, 120 e 160 rpm. Utilizou-se também uma Injetora Arburg 221K para injeção dos corpos de prova para ensaios de tração, flexão, impacto. A temperatura de amolecimento Vicat do polipropileno PP virgem e do homopolímero granulado do tipo WS-6100K foi fornecida pela empresa Polibrasil, conforme indicação para aplicações de moldagem de peças com paredes finas e fabricação de não tecidos. O polipropileno PP reciclado granulado é proveniente de fralda descartável e absorvente, o qual foi fornecido pela empresa Mescoplas.

A tabela 2.1 mostra as propriedades do polipropileno virgem fornecidas pelo fabricante.

Tabela 2.1 Propriedades do polipropileno virgem (Polibrasil, 2009).

Propriedade	Método ASTM	Valor
Índice de fluidez	D-1238 (230 °C; 2,13 Kg)	26,0 a 32,0 g/10 min
Densidade	D-792	0,905 g/cm ³
Resistência à tração	D-638 (50 mm/min)	32,0 MPa
Módulo de flexão	D-790 (Método I/A)	1150 MPa
Resistência ao impacto IZOD 23 °C	D-256	25,0 J/m
Temperatura de amolecimento VICAT	D-1525	152 °C

Os corpos de prova obtidos na injeção foram submetidos a testes de caracterização, dentre os quais a análise das propriedades térmicas, em que se utilizou um plastômetro capilar modelo MI3 da DSM para índice de fluidez. O polímero fundido foi forçado a passar por uma matriz com condições pré-determinadas, conforme a norma ASTM D1238-01. Os ensaios foram realizados na condição L, sendo a temperatura do cilindro igual a 230 °C e a carga de 2,16Kg. As amostras extrudadas foram cortadas em intervalos de tempo constantes, sendo posteriormente pesadas com a grandeza expressa em g/10min. Uma máquina TINIUS TOLSEN, modelo HDT 6 VICAT, foi empregada no ensaio de temperatura de amolecimento Vicat. Para obter a transferência de calor realizou-se um banho de óleo de silicone, conforme solicitação do fabricante e especificação da norma ASTM, ou seja, com penetração da agulha de Ø 1mm x 1mm; taxa de aquecimento de 120 °C ±10 °C/h; amostras com 3,5 mm de espessura e 12.5 x 25 mm de área conforme norma ASTM D 1525-00; temperatura ambiente de acondicionamento durante o ensaio de 23 °C; e 27°C de umidade relativa.

Para analisar as propriedades mecânicas, utilizaram-se uma máquina de tração da marca EMIC, modelo DL 2000 série 066, e um programa para captação dos dados MTesc com software Virmaq de capacidade máxima de 2000 kgf nos sentidos de tração e compressão. A faixa de velocidade foi de 0,02 a 500mm/min, a faixa de aberturas (sem garras) foi de 100 a 1375 mm, com transdutores de medição de força com células de cargas de 500 ou 5000 N para os ensaios de tensão à tração e flexão. Os corpos de prova foram armazenados em uma sala climatizada por 48 horas. Para a execução dos ensaios, aplicou-se uma célula de carga de 5000 N com velocidade de ensaio a 50 mm/min conforme norma ASTM-D638-02a. Para o teste de resistência ao impacto, utilizou-se uma máquina para teste de Impacto Izod da marca EMIC, com pendulo de 2,7 J, energia máxima de 2,7 J e ângulo de 150°.

3. Resultados e Discussão

A caracterização do comportamento de materiais poliméricos é muito importante para que se projetem peças plásticas com comprometimento estrutural. Os ensaios de tração são adequados para comparar diferentes tipos de polímeros por meio da análise da sensibilidade deles às taxas de deformação, do efeito do tempo na resposta do material e da fluência que, sob determinado carregamento, deve ser usada no projeto do produto. Na maioria dos plásticos de engenharia, o alongamento varia desde baixas porcentagens até mais de 100%. (Machado, 2002).

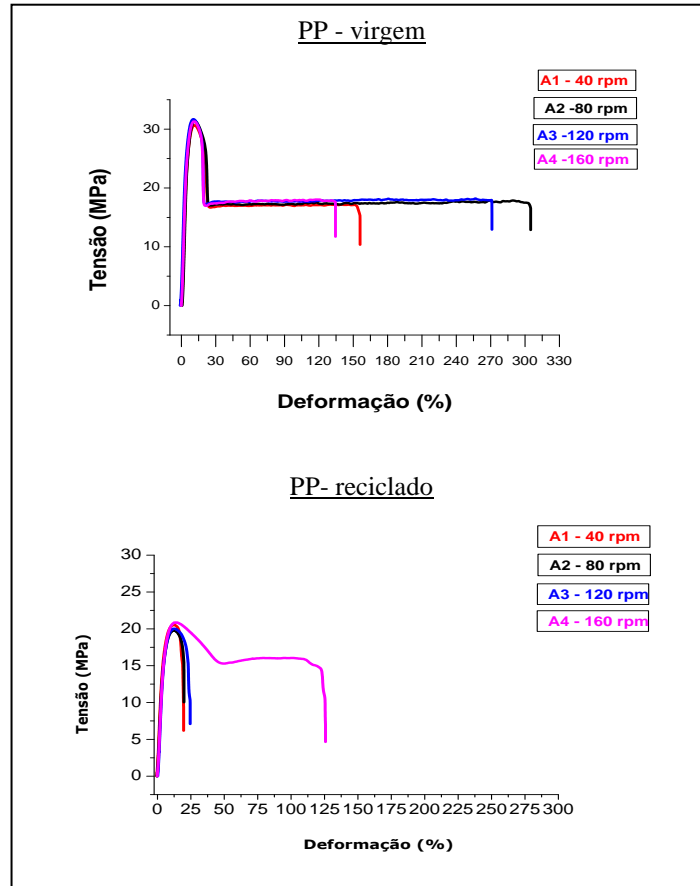


Figura 2.1. Comparação das curvas tensão versus deformação do ensaio de tração.

A figura 2.1 apresenta a comparação das curvas tensão versus deformação com quatro rotações de processamento durante o teste de tração do Polipropileno PP virgem e reciclado. Observa-se que a velocidade de extrusão não influenciou significativamente na tensão do material. Os dois materiais obtiveram valores bem próximos quanto à tensão máxima na ruptura. Há, no entanto, algumas particularidades, já que ao aplicar uma tensão, eles suportam uma deformação de alongamento distinta.

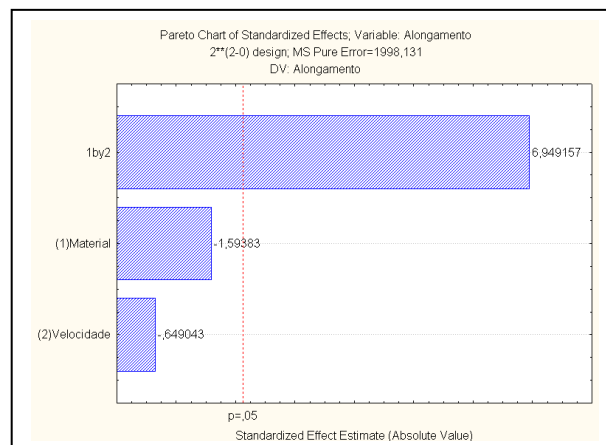


Figura 2.2. Gráfico de pareto do alongamento máximo de tração.

Através do gráfico da figura 2.2, observa-se que a velocidade de rotação não influencia nas propriedades mecânicas. Por outro lado, o tipo de material apresenta-se como um fator relevante para a análise.

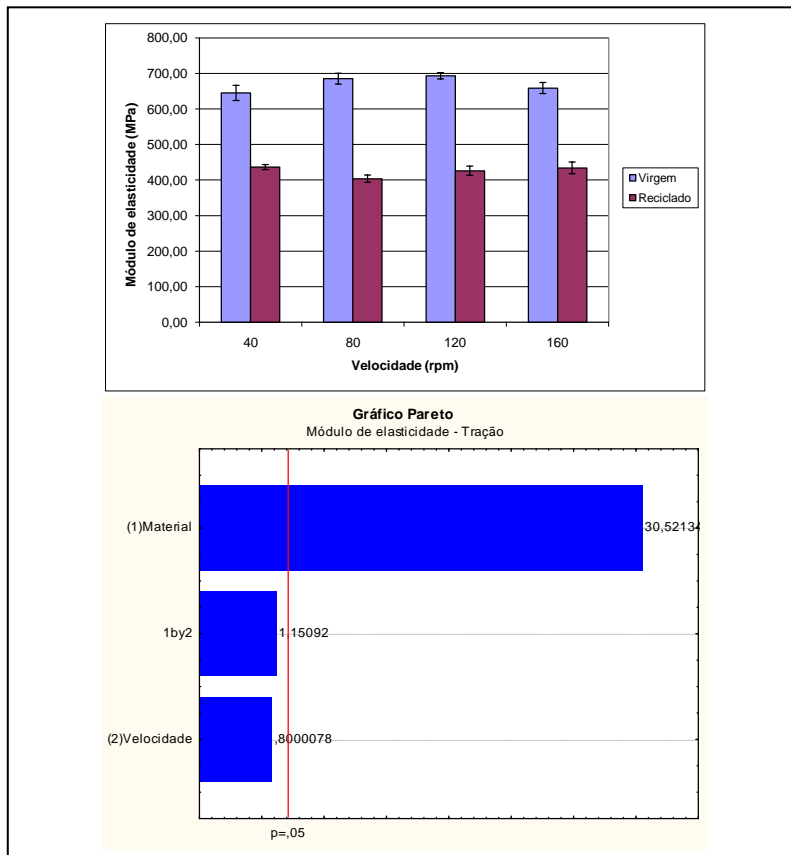


Figura 2.3. Módulo de elasticidade de Tração.

Ao se considerar os valores extraídos e o desvio para cada rotação, nota-se na figura 2.3 que os valores médios obtidos no módulo de elasticidade de tração foram bem próximos. No gráfico de Pareto, observa-se que o material, e não as diferentes velocidades de rotação, foi um fator que influenciou significativamente no módulo de elasticidade.

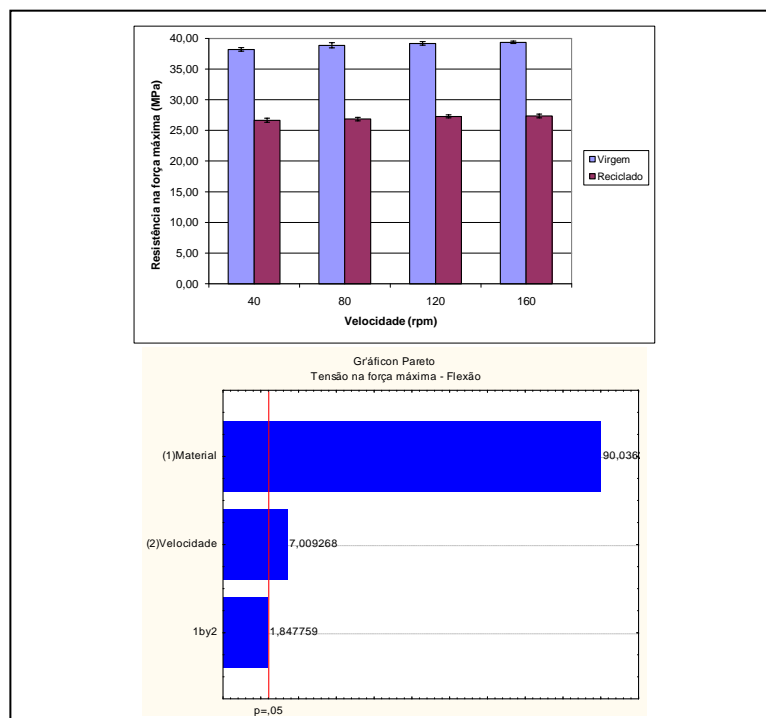


Figura 2.4. Resistência na força máxima de flexão.

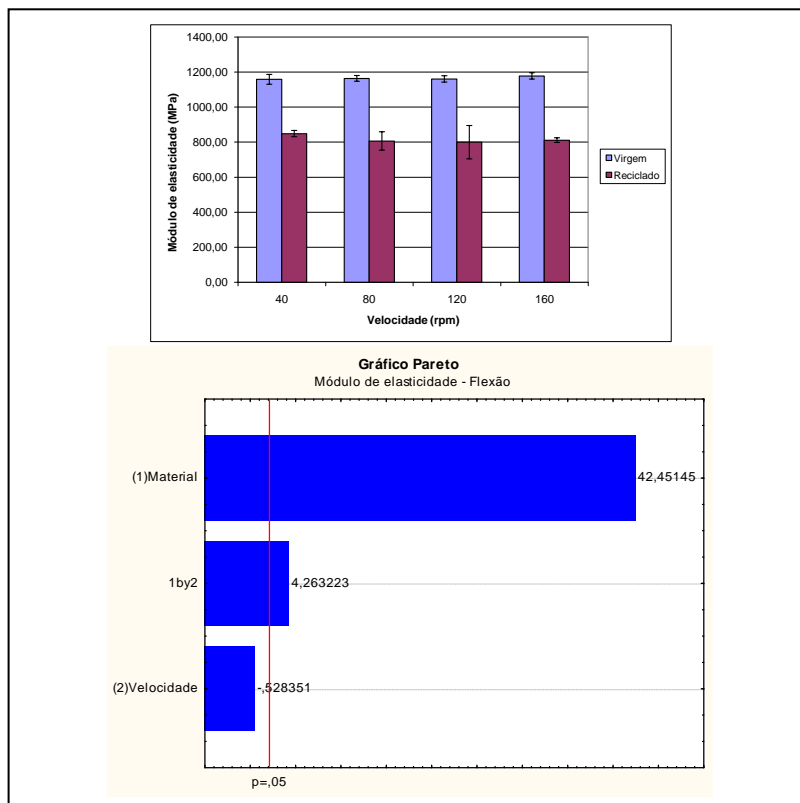


Figura 2.5. Módulo de elasticidade na flexão.

As figuras 2.4 e 2.5 mostram os valores médios obtidos na Tensão máxima de flexão e no módulo de elasticidade. Os valores obtidos foram bem próximos para o PP virgem e para o reciclado. Observa-se pelo gráfico de pareto que ocorreu uma interação entre o tipo de material e a velocidade de rotação, sendo que o primeiro se revelou como fator predominante.

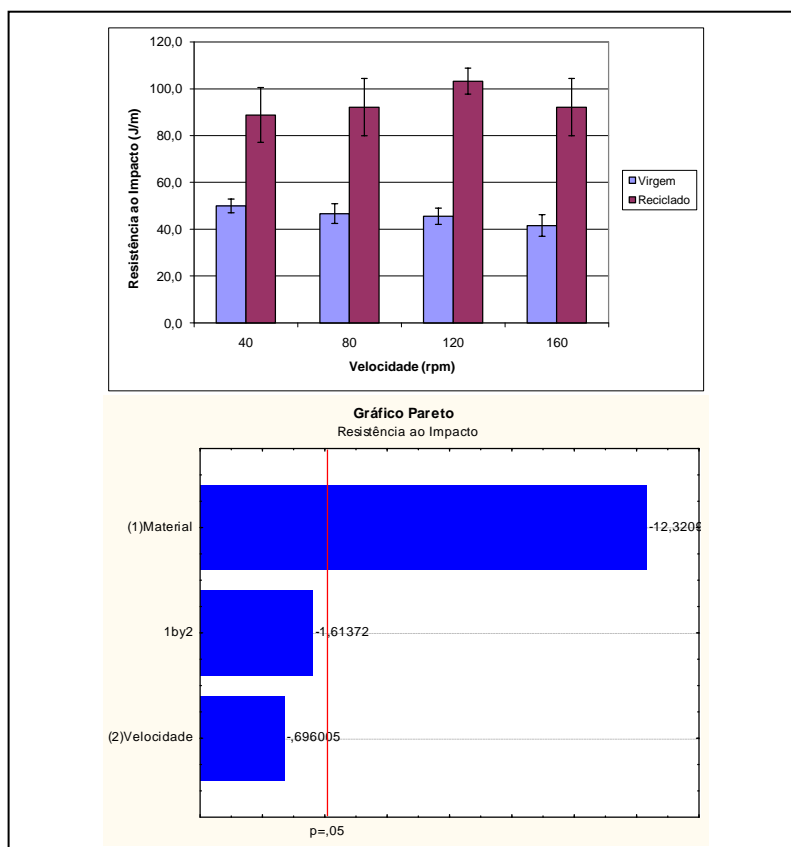


Figura 2.6. Resistência ao impacto izod

A figura 2.6 indica que a velocidade de rotação não influenciou significativamente nas propriedades mecânicas do polímero e que o material é um fator de influência relevante para polipropileno virgem e reciclado. Para o polipropileno reciclado obteve-se maior resistência ao impacto, o que se deve ao fato de que quanto maior o módulo de elasticidade maior é a rigidez do material. Os valores para o módulo de elasticidade do polímero virgem foram maiores que os do reciclado. Observa-se também que para o polímero virgem, o peso molecular é constante e as cadeias tornam-se restritas, enquanto no polímero reciclado, não há uma constante na distribuição molecular e geralmente a resistência ao impacto aumenta com o peso molecular. (Machado, 2002)

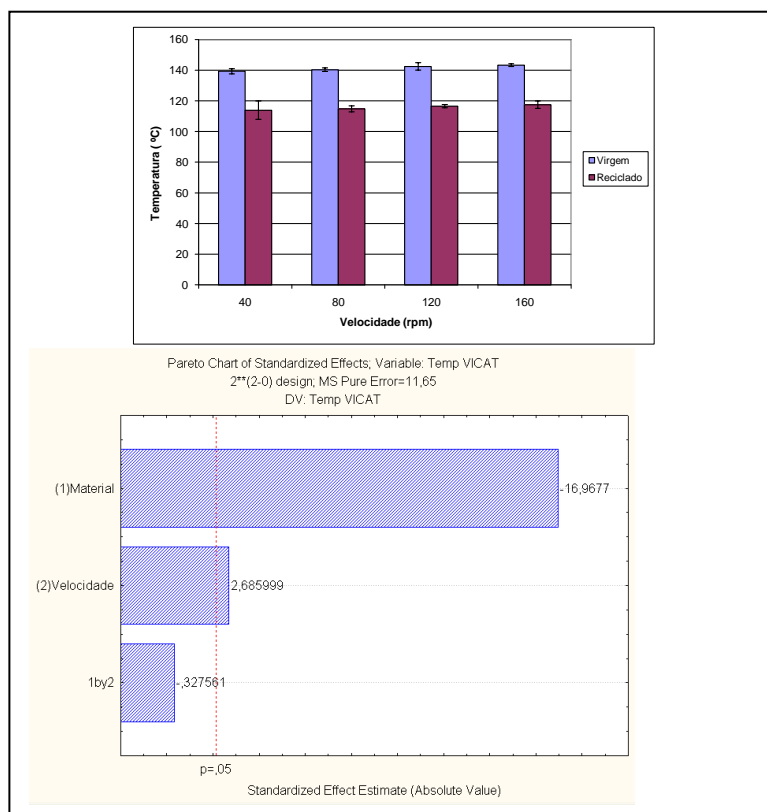


Figura 2.7. Temperatura de amolecimento Vicat

O polipropileno apresenta resistência limitada ao calor, mas há alguns termoestabilizados destinados a aplicações que exigem uso prolongado em temperaturas elevadas, as quais podem atingir até cinco anos a 120°C, dez anos a 110°C e vinte anos a 99°C (Albuquerque, 1999). A figura 2.7 ilustra uma das propriedades de temperatura térmica do polímero. No ensaio da temperatura de amolecimento Vicat, pôde-se observar pelo gráfico de pareto que há uma interação entre a velocidade e o tipo de material, sendo que, no entanto, o tipo de material foi que o que efetivamente influenciou a temperatura de amolecimento.

As tabelas 2.2 e 2.3 apresentam os valores médios de cada rotação, obtidos pelos ensaios realizados para o polipropileno virgem e reciclado.

Tabela 2.2. Resultados do polipropileno PP - virgem.

Velocidade (rpm)	Tração ¹ (MPa)	Alongamento (%)	Módulo de elasticidade ² (Mpa)	Tensão na Ruptura (MPa)	Flexão ³ (MPa)	Módulo de elasticidade ⁴ (MPa)	Resistência ao Impacto (J/m)	Taxa de Fluidez (g/10min)	Temperatura ^a VICAT (°C)
40	30,51 (±0,24)	193,06 (±53,37)	645,65 (±21,11)	15,04 (±1,63)	38,24 (±0,29)	1159,45 (±28,06)	50,0 (±3,0)	44,5 (±2,3)	139 (±2)
80	31,43 (±0,21)	296,21 (±33,81)	685,60 (±15,19)	16,03 (±1,21)	38,88 (±0,42)	1165,10 (±16,76)	46,7 (±4,2)	49,2 (±1,3)	140 (±1)
120	31,56 (±0,25)	315,23 (±113,40)	693,62 (±9,22)	17,96 (±1,44)	39,21 (±0,31)	1161,84 (±17,97)	45,6 (±3,4)	49,4 (±1,1)	143 (±2)
160	30,71 (±0,37)	117,32 (±94,64)	659,51 (±15,52)	21,77 (±8,33)	39,40 (±0,21)	1178,98 (±18,36)	41,7 (±4,6)	46,6 (±1,9)	143 (±1)

NOTAS: * Cada valor corresponde à média de cinco repetições, exceto para os valores de Resistência ao impacto que corresponde à média de seis repetições

Cada valor corresponde à média de seis repetições

¹ Resistência à tração na força máxima - ² Módulo de elasticidade na tração

³ Resistência à flexão na força máxima - ⁴ Módulo de elasticidade na flexão

Tabela 2.3. Resultados do polipropileno PP - reciclado.

Velocidade (rpm)	Tração ¹ (MPa)	Alongamento (%)	Módulo de elasticidade ² (Mpa)	Tensão de Ruptura (MPa)	Flexão ³ (MPa)	Módulo de elasticidade ⁴ (MPa)	Resistência ao Impacto (J/m)	Taxa de Fluidez (g/10min)	Temperatura VICAT (°C)
40	20,76 (±0,35)	22,28 (±2,42)	436,94 (±7,12)	13,56 (±2,76)	26,69 (±0,33)	849,69 (±18,21)	88,9 (±11,7)	40,7 (±0,3)	114 (±6)
80	19,45 (±0,24)	17,43 (±2,86)	404,37 (±10,09)	14,40 (±1,23)	26,87 (±0,29)	806,86 (±52,47)	92,2 (±12,2)	39,3 (±0,1)	115 (±2)
120	19,63 (±0,36)	29,09 (±20,56)	426,51 (±13,20)	12,50 (±1,77)	27,30 (±0,24)	800,06 (±94,98)	103,3 (±5,6)	43,4 (±0,4)	117 (±1)
160	21,10 (±0,22)	148,22 (±60,77)	434,45 (±16,51)	13,55 (±3,84)	27,36 (±0,33)	812,06 (±13,60)	92,2 (±12,2)	46,2 (±0,2)	118 (±2)

NOTAS: * Cada valor corresponde à média de cinco repetições, exceto para os valores de Resistência ao impacto que corresponde à média de seis repetições

¹ Resistência à tração na força máxima - ² Módulo de elasticidade na tração

³ Resistência à flexão na força máxima - ⁴ Módulo de elasticidade na flexão

Esta seção, se houver, deve ser colocada antes da lista de referências.

4. CONCLUSÕES

As propriedades mecânicas e térmicas do polipropileno virgem e reciclado foram comparadas com velocidades de rotação de 40, 80, 120 e 160 rpm. De acordo com os resultados apresentados no ensaio de tração, constatou-se que o material reciclado é frágil em comparação com o virgem, o que diminui sua deformação na ruptura. Em relação à tensão de tração, os dois materiais apresentaram valores próximos até a tensão de tração atingida. A partir desse ponto, os comportamentos do virgem e do reciclado foram bem distintos quanto à deformação na ruptura. O ensaio de impacto evidenciou a maior resistência ao impacto no PP reciclado

Pôde-se concluir que o estudo das caracterizações revelou que a velocidade de rotação não influencia as propriedades mecânicas e térmicas do PP virgem e reciclado utilizados neste estudo. Assim, a utilização do virgem ou do reciclado dependerá essencialmente da finalidade de sua aplicação.

5. AGRADECIMENTOS

Faculdade de Engenharia Química da Unicamp e ao CNPq.

6. REFERÊNCIAS

- Manrich, S. Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e molde, - São Paulo: Artiliber Editora, 2005.
- Callister, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução Materiais, 5 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC S.A., 2002.
- Mano, E. B.; Mendes, L. C. Introdução a Polímeros, 2 ed. - São Paulo: Editora Edgard Bluncher, 1999.
- Mano, E. B.; Pacheco, E. B.A.V.; Bonelli, C. M. C. Meio ambiente, Poluição e Reciclagem, 1 ed. - São Paulo: Editora Edgard Bluncher, 2005.
- Canevarolo, S. V. Técnicas de Caracterização de Polímeros, 1ed. - São Paulo: Artiliber Editora, 2004.
- Albuquerque, J. O Plástico na Prática, 1ed. - São Paulo: Editora Sangra Luzzatto, 1999.
- Strong, A. B. Plastics - Materials and Processing - New Jersey: Prentice - Hall, 1996.
- Yong, R. J.; LOVELL, P. A. Introduction to Polymers, 2ed. - New York: Prentice - Chapman & Hall, 1996.
- Machado, J. C. V., Reologia e Escoamento de Fluidos - ênfase na indústria do petróleo, 1ed - Engenho Novo: Editora Interciência, 2002.
- Spinace, W. F., DE PAOLI, M. A Tecnologia da Reciclagem de Polímeros, Campinas, Química Nova, vol28, 65-72, 2005.
- Rauwendal, C. Polymer Extrusion, Hanser Publisher, Munique, 1986

Marinho, J. R.D., Macromoléculas e Polímeros, São Paulo: Editora , 2005

(http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/polipr2a.pdf, Acesso em maio 2009

<http://www.plasticomoderno.com.br/revista/pm340/resinas3.htm> Acesso em maio 2009

ASTM D 638 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.

ASTM D 1525-00, Standard Test Method for Vicat Softening Temperature of Plastics

ASTM D 256-02, Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics.

ASTM D 4101-03 Standard Specification for Polypropylene Injection and Extrusion Materials 1

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

Analysis of rotational speed in the extrusion process of polypropylene and its influence on mechanical properties.

Abstract. *It is well known the broad use of polymeric materials and the negative impact when commodity polymers such as PP, PE, PVC, PET, etc., are disposed in the environment. This has concerned scientists, and a number of technologies to reuse these materials are being developed. One of the techniques is related to reprocessing by means of extruders and injection molding machines; however, these processes tend to degrade the material, producing changes in its mechanical and rheological properties. In this paper, the influence of the screw rotational speed in the extrusion process of pure and recycled polypropylene is evaluated at four different rotational speed, namely: 40, 80, 20 and 160 rpm; for the same temperature profile throughout a single screw extruder. Following the extrusion process, test specimens were injected in order to analyze their mechanical properties in tensile, flexural, impact, melt flow index and VICAT softening temperature tests. For the materials used in this study, the results show that: (i) for the tensile tests the average value of the elasticity module for the pure PP was 660MPa and 415MPa for the recycled PP, regardless of the screw rotational speed; (ii) for the flexural tests (before rupture), the pure PP resulted in an average value of 38.5 MPa and recycled PP in 26.5 MPa, regardless of rotational speed, and when at rupture, 1150 MPa and 820 MPa, respectively. (iii) izod impact resistance for the pure PP: 46 J/m and 103 J/m for recycled PP; (iv) the melt flow rate for pure PP was 39(g/10min) and 10 (g/10min) for the recycled PP; (v) the vicat softening temperature was 144°C for the pure PP and 116°C for the recycled. It should be noted that, in this study, the screw rotational speed in the extrusion process influenced very little the mechanical properties of the polymers (both recycled and pure).*

Keywords: *extrusion, recycled, polypropylene*