

3.01.99 - Engenharia Civil.

## **ANÁLISES MECÂNICAS EM POLIPROPILENO RECICLADO EXTRUDADO PARA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Lilian K. Berto<sup>1\*</sup>, Jorge F. P. da Silva<sup>2</sup>, Ana C. D. de Albuquerque<sup>3</sup>, Raphael L. Bulla<sup>4</sup>, Silvia L. Fávaro<sup>5</sup>, Luciana C. S. H. Rezende<sup>6</sup>

1. Mestranda em Tecnologias Limpas, UNICESUMAR. Bolsista do PIBIC/UniCesumar.
2. Acadêmico de Engenharia Civil, UNICESUMAR. Bolsista do PIBIC/UniCesumar.
3. Mestranda em Tecnologias Limpas, UNICESUMAR, Maringá-PR.
4. Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica, UEM, Maringá-PR.
5. Co-Orientadora, Doutora, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá-PR.
6. Orientadora, Doutora, Pesquisadora, ICETI, UNICESUMAR, Maringá-PR.

### **Resumo**

Atualmente, a construção civil atinge o meio ambiente devido ao alto consumo de recursos naturais e geração de resíduos sólidos. As tendências do mercado mundial são produtos mais eficientes para reduzir a quantidade de resíduos e fomentar a sustentabilidade. Este artigo teve por finalidade a avaliação mecânica da matriz polimérica de polipropileno reciclado. Os corpos de prova foram moldados pelo processo de extrusão-injeção e avaliados quanto à resistência à tração (ASTM D638/2014) e ao impacto Izod (ASTM D256/201). Conforme os resultados, no que tange à resistência à tração, o material apresentou similaridade com o estudo de Rosário, et al., 2011. A energia absorvida no impacto Izod do polipropileno reciclado foi superior ao dobro do resultado encontrado na pesquisa de Rosário, et al., 2011. O material apresentou propriedades mecânicas aceitáveis, de acordo com as normas aplicadas à produção de novos materiais na construção civil, trazendo ao mercado um produto mais sustentável.

**Palavras-chave:** Ensaio de Impacto Izod; Polímeros; Resistência à Tração.

**Apoio financeiro:** PIBIC/UniCesumar

**Trabalho selecionado para a JNIC:** UNICESUMAR

### **Introdução**

A Construção Civil traz melhorias na economia e expansão da infraestrutura à sociedade moderna. Por outro lado, atinge o meio ambiente devido ao alto consumo de recursos naturais e geração de resíduos sólidos. O Brasil mostra-se pouco preocupado com este impacto ambiental negativo em relação aos países europeus. Por exemplo, a Dinamarca e a Bélgica apresentam um índice de reciclagem de resíduos superior a 80%. Enquanto no Brasil, aproximadamente 1% das construtoras fazem o gerenciamento de resíduos sólidos de construção e demolição (MARQUES et al., 2016).

A produção mundial de produtos plásticos em 2016 foi em torno de 335 milhões de toneladas, considerando que a degradação de polímero derivado de petróleo leva mais de 200 anos, é fundamental a reciclagem de polímeros (FARIA et al., 2015; WANG et al., 2018).

A tendência do mercado mundial são produtos mais eficientes para reduzir a quantidade de resíduos e fomentar a sustentabilidade. Nas últimas décadas, a consciência ambiental, por meio de novos acordos globais, aumentou o interesse na reciclagem de polímeros. O fato se dá por estes serem mais leves que cerâmicas e metais, devido à baixa densidade e possuírem ótimas propriedades de durabilidade, além de ter baixo custo (OLIVEIRA et al., 2016; TAMBOURA et al., 2018; WANG et al., 2018).

Essa tendência vem, aos poucos, sendo praticada no Brasil; por exemplo, algumas empresas para fabricação de telhas e caixa d'água utilizam materiais alternativos, como o polipropileno, para a substituição do amianto (considerado um produto cancerígeno). Essa substituição possui outras vantagens, como a diminuição da toxicidade humana e do consumo de água e de energia (MARQUES et al., 2016).

Atualmente, os materiais compósitos a base de polipropileno na construção civil é uma das alternativas viáveis em virtude das excelentes propriedades mecânicas, mostra-se um produto de reforço para aumentar a resistência à tração, à flexão e à compressão (KUMAR; SHARMA, 2018).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo o estudo das propriedades mecânicas de tração e de impacto do polipropileno reciclado, por meio da confecção de corpos de prova de matriz polimérica, a fim de viabilizar a reutilização do polímero para ser aplicado na fabricação de materiais da construção civil.

## Metodologia

O PPR foi doado por uma indústria de reciclagem de plástico da cidade de Maringá, onde estes se encontravam na forma de flocos triturados. Levados ao laboratório foram passados em uma peneira vibratória para separar em tamanhos e que apresentam a variação média em torno de 2,36mm a 4,75mm. O material foi levado ao Laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Maringá – UEM para o processo de extrusão.

O processo foi iniciado na extrusora de dupla rosca Thermo Scientific MiniLab II HAAKE Rhemex CTW 5, com temperatura de molde de 190°C e com velocidade de 65 rpm. A extrusora foi acoplada à uma injetora Thermo Scientific HAAKE MiniJet II, com a temperatura do canhão de 210°C, temperatura de molde de 40°C, pressão de injeção de 610 bar, tempo de injeção de 15s, pressão e recalque de 300 bar e tempo de recalque de 30s.

Foram confeccionados quatorze corpos de provas para as análises mecânicas, sendo oito para o teste de resistência à tração, seis para o teste de impacto Izod. Os corpos de prova para o ensaio de tração tiveram comprimento de 6,28cm, espessura de 3mm e largura de 9mm. Com pescoço de 16,15mm de comprimento com seção quadrada de 3,2mm.

Inicialmente, foram realizados três corpos de prova para o ensaio de impacto de Izod, os quais tiveram o perfil de formato retangular e dimensões de 8,4 cm x 12,8mm x 3mm. Após, os mesmos foram divididos ao meio, resultando em seis corpos de prova de 4,2 cm x 12,8mm x 3mm.

Os corpos de prova antes da realização do teste de impacto de Izod tiveram uma abertura centralizada (entalhe) de 1,4 mm, por meio da máquina de entalhar (CEAST Manual Notching Machine - Model no: 6897.000) operada manualmente com movimento linear da faca de corte.

O teste de Impacto Izod foi realizado segundo a norma ASTM D256/2010, a qual estabelece os requisitos para materiais plásticos, com o equipamento CEAST modelo Resil Impactor Junior, com um pêndulo de 2,75 J. O ensaio de tração foi conforme a norma ASTM D638/2014, utilizando o equipamento de máquina universal de ensaios EMIC DL10000, submetido a uma célula de carga de 1 kN,ee com velocidade de 10 mm/min.

## Resultados e Discussão

No teste de tração, o corpo de prova foi submetido à carga hidráulica, a qual provoca um alongado até a sua ruptura. O resultado da resistência máxima está disposto na Figura 1.

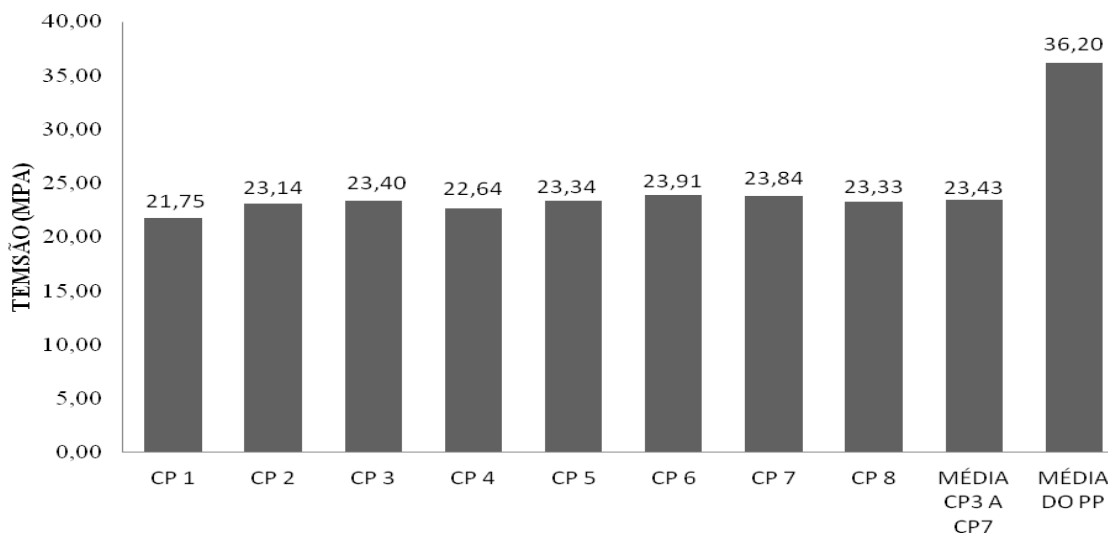


Figura 1 – Resultados do ensaio resistência à tração  
Fonte: Autor, 2018.

A norma ASTM D638/2014 exige, pelo menos, cinco corpos de prova para cada amostra. Os resultados dos corpos de prova (CP) 3 a 7 foram para os cálculos da tensão média, pois atenderam à norma ASTM D638/2014 no parâmetro de velocidade de teste de 10mm/min, sendo os valores para o tempo de teste: 2,83 min; 1,91 min; 3,53min; 3,25 min e 4,29 min, respectivamente.

O PP, devido ao caráter viscoelástico nos ensaios de tração com a velocidade de teste inferior ou igual a 5 mm/min, normalmente não produz fratura nas condições do ensaio. Geralmente, os corpos de prova atendem a ASTM D638/2014 tracionadas, velocidade de teste entre 5, 25 e 50 mm/min. Sendo assim, demonstra que o PPR apresentou similaridade nas condições de teste (STRAPASSON, 2004).

A tensão de resistência máxima à tração do PPR entre os CP 3 a CP 7 resultou em 23,43 MPa. Nos estudos Pires (2017), o teste de tração também utilizou a norma ASTM D638/2014, e obteve-se a média de 16,62 MPa para uma amostra de PPR. Já no trabalho de Rosário et al., 2011, a média de tensão de ruptura foi de 22,78 MPa, ficando bem próximo aos resultados obtidos.

O PP virgem apresenta resultado de limite de resistência à tração entre 31 a 41,4 MPa, revelando que o PPR exibe uma perda de característica mecânica (CALLISTER, 2002).

A Figura 2 exibe os resultados perante todos os corpos de prova ensaiados para o teste de Impacto Izod. A norma ASTM D256/2010 estabelece pelo menos 5 corpos de prova; portanto, a média resultou em 65,36 J/m, já que foi descartado o CP 4, devido à alta variação em relação aos demais. Nos estudos de Rosário et al. (2011), houve significativa diferença no resultado, sendo que a média para ensaio de impacto Izod, utilizando a norma ASTM D256/2010 para o PPR, foi de 26,25 J/m.

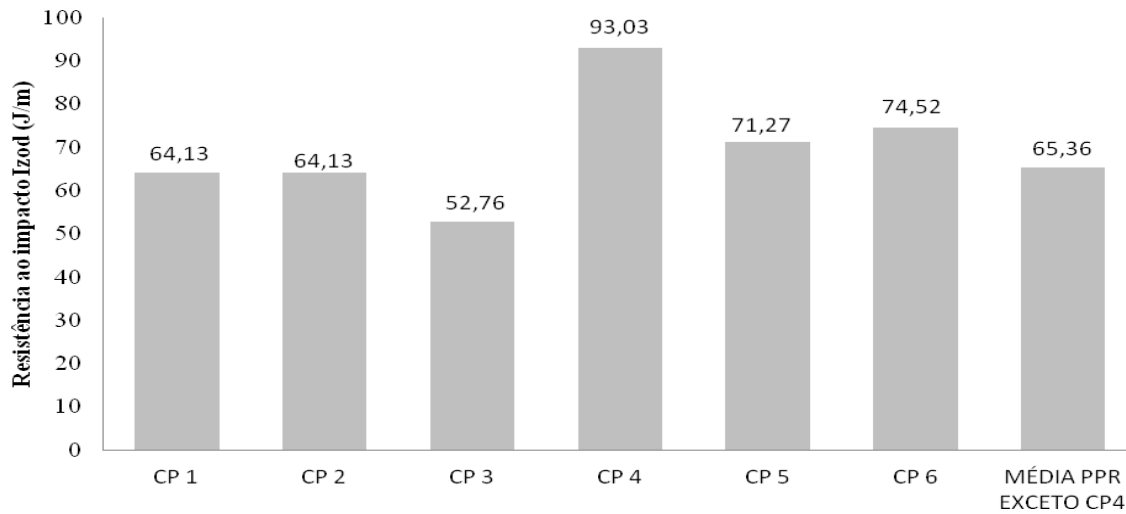


Figura 2 – Resultados do ensaio de Impacto de Izod  
Fonte: Autor, 2018.

Uma possível explicação para essa divergência na média dos resultados são os fatores que influenciam a fratura na resistência de impacto de Izod, que consistem na composição e no processamento do corpo de prova. A adição de outros materiais ao polipropileno e o aumento de temperatura de injeção podem aumentar a resistência ao impacto (STRAPASSON, 2004).

De acordo com os resultados obtidos de resistência à tração e de impacto, torna-se viável a reutilização do PP para a confecção de materiais da construção civil que exijam menores esforços mecânicos, como exemplos: pallets, placas de fechamento e telhas, desde que esses produtos sejam testados de acordo com as exigências das normas antes da produção em escala industrial.

## Conclusões

O polipropileno reciclado apresentou propriedades mecânicas aceitáveis que exijam menores esforços mecânicos para a produção de novos materiais no setor da construção civil. Obteve-se eficiência no processamento do material, sendo que os resultados dos testes mecânicos apresentaram atendimento a norma ASTM D638/2014 para o ensaio de tração e a norma ASTM D256/2010 para o teste de impacto Izod.

É importante o desenvolvimento de processos eficientes de injeção-extrusão, utilizando parâmetros adequados de temperatura de molde e velocidade da extrusão. Para injeção é necessário estabelecer valores apropriados para a temperatura de canhão e de molde, pressão de injeção e recalque, tempo de injeção e recalque.

Recomenda-se, por fim, pesquisas envolvendo testes de maior profundidade acerca da produção de materiais no setor da Construção Civil envolvendo a matriz polimérica, sendo possível adicionar porcentagens de outros materiais e aditivos; ou, também, a incorporação de outros resíduos, trazendo um produto mais econômico para o mercado, de baixo impacto ambiental e que seja aplicável para as indústrias, mantendo ou aumentando suas características e propriedade mecânica.

## Referências bibliográficas

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D256**: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. West Conshohocken, PA, 2010.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D638**: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. West Conshohocken, PA, 2014.

CALLISTER Jr., W. D. **Ciência e engenharia de materiais**: Uma Introdução. Rio de Janeiro: LTC. Editora, 5ª Edição, 2002.

FARIA, P. C.; WISBECK, E.; DIAS, L. P.. Biodegradação de polipropileno reciclado (PPR) e de poli (tereftalato de etileno) reciclado (PETR) por *Pleurotus ostreatus*. **Revista Matéria**, [s.l.], v.20, n.2, pp. 452 – 459, fev. 2015. Scielo. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-707620150002.0045>

KUMAR, J. S.; SHARMA, P. Geotechnical Properties of Pond Ash Mixed with Cement Kiln Dust and Polypropylene Fiber.

- Jornal of Materials**, [s.l.], v. 30, 04018154 pages 8, may. 2018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002334](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002334)
- MARQUES, V. M.; GOMES, L. P.; KERN, A. P.. Avaliação ambiental do ciclo de vida de telhas de fibrocimento com fibras de amianto ou com fibras de polipropileno. **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 16, n. 1, p. 187-201, jan./mar. 2016. Scielo. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000100068>
- OLIVEIRA, A.C.; LEMOS, V.V.; LUPIANEZ, C.M.; SIQUEIRA, A.S.F.; LEAL JR, A.C.; GRILLO, R. H. F.; MAESTRELLI, S. C. Concretos da construção civil com adições de termofixos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2016, Águas de Lindóia, São Paulo; **Anais eletrônicos...** São Paulo: Metallum, 2016. Disponível em: <<http://metallum.com.br/60cbc/anais/PDF/13-018TT.pdf>>. Acesso em: 20/05/2018.
- PIRES, P. G. P.. **Adição de resíduo termofixo em matriz de polipropileno reciclado: análise de propriedades térmicas e mecânicas**. 2017. 98f. Dissertação (mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2017.
- ROSÁRIO, F.; PACHEKOSKI, W. M.; SILVEIRA, A. P. J.; SANTOS, S. F.; JÚNIOR, H. S.; CASARIN, Suzan Aline. Resíduos de Sisal como Reforço em Compósitos de Polipropileno Virgem e Reciclado. **Polímeros**, [s.l.], vol. 21, nº 2, p. 90-97, 2011. Scielo. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282011005000021>
- STRAPASSON, R. **Valorização do polipropileno através de sua mistura e reciclagem**. 2004. 94f. Mestrado (Dissertação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- TAMBOURA, S.; MEFTAH, H.; FITOUSSI, J.; BENDALY, H.; TCHARKHTCHI, A. Thermal aging kinetic and effects on mechanical behavior of fully recycled composite based on polypropylene/polyethylene blend. **Jornal Applied Polymer Science**, [s.l.], v.135, 46640 p.1 -10, may. 2018. Wiley online library. <https://doi.org/10.1002/app.46640>
- WANG, G.; ZHAO, G.; ZHANG, L.; MU, Y.; PARK, C. B. Lightweight and tough nanocellular PP/PTFE nanocomposite foams with defect-free surfaces obtained using *in situ* nanofibrillation and nanocellular injection molding. **Chemical Engineering Journal**, [s.l.], v.350, p. 1-11, oct. 2018. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.05.161>