

ANÁLISES FÍSICAS E MECÂNICAS DA MATRIZ POLIMÉRICA MODIFICADA COM RESÍDUOS DE FIBRAS DE ALGODÃO

Jorge Felipe Piva da Silva¹, Ana Carolina Dias de Albuquerque², Lilian Keylla Berto³, Bianca Tamiozzo⁴, Luciana C. S. H. Rezende⁵.

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR. Bolsista PIBIC/CNPq-Unicesumar. Jorge-felipe3@hotmail.com

² Aluna da Programa de Pós Graduação em Tecnologias Limpas, Centro Universitario de Maringa – UNICESUMAR, Bolsista CAPES. acdalbuquerque@hotmail.com

³ Aluna da Programa de Pós Graduação em Tecnologias Limpas, Centro Universitario de Maringa – UNICESUMAR, Bolsista CAPES. lilianberto_engenharia@hotmail.com

⁴ Acadêmica do Curso de Engenharia Civil, Centro Universitario de Maringa – UNICESUMAR. biancatamiozzo@outlook.com

⁵ Professora doutora do Programa de Pós Graduação em Tecnologias Limpas UNICESUMAR. Pesquisadora do Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI. luciana.rezende@unicesumar.edu.br

RESUMO

Em virtude do forte crescimento social e industrial nos últimos tempos, há uma grande preocupação com a redução de descarte inadequado de resíduo. Este artigo teve por finalidade estudar as propriedades mecânicas de tração e de impacto do polipropileno composto de fibras de algodão processadas, por meio da confecção de corpos de prova. A análise físicas foram a gramatura e a análise granulométrica. As análises mecânicas foram por meio do ensaio de tração e teste de impacto Izod. A mistura do material foi processada por extrusão e injeção, onde o material composto foi aquecido e moldado em corpos de prova submetidos às análises mecânicas. Portanto, foi possível estudar as propriedades mecânicas para a reutilização do polipropileno com a adição de dois e cinco por cento de fibras de algodão processadas em atendimento as normativas: ASTM D638/2014 para o ensaio de tração e a norma ASTM D256/2010 para o ensaio de impacto Izod. Houve um aumento nas resistências mecânicas, sendo uma das possíveis explicações é o aumento na rigidez do material compósito.

Palavras-chave: polipropileno; resíduo têxtil; propriedades mecânicas.

1 INTRODUÇÃO

Em virtude do forte crescimento social e industrial nos últimos tempos, há uma grande preocupação com a redução de descarte inadequado de resíduos, buscando a conservação das fontes de energias para as futuras gerações, com a redução do impacto ambiental (BRAGA et al., 2005; LIU, LI, ZHOU, 2018).

Uma das maneiras de controlar o problema de geração de poluentes é possibilitar a criação de um material buscando uma destinação sustentável viável economicamente, por meio da utilização de materiais renováveis. Para que esse processo tenha eficácia se faz necessário o interesse no aumento de pesquisas na área de meios reutilizáveis como, por exemplo, as fibras de celulose em produtos industriais com ênfase para as preocupações ambientais (HOU, et al., 2017; BORSOI, et al., 2011).

Diversos materiais ou produtos com a junção de materiais reaproveitáveis originam em materiais compósitos, que em sua combinação possibilita características físicas e químicas em fases distintas e podem exibir propriedades mais interessantes do que os constituintes isoladamente. Normalmente existe uma fase contínua chamada de matriz e uma fase descontínua chamada de reforço (CALLISTER, 2008; SAHEB, JOG, 1999).

Os polímeros são produtos originados industrialmente, são formados de ligações intermoleculares, os mesmos apresentam desempenho mecânico muito desejável, alta durabilidade, resistente ao fogo, além de suas propriedades físicas tais como: plasticizantes, estabilizantes, agentes antiestéticos, entre outros (BERTOLINI, 2010).

Os polímeros são um dos materiais mais consumidos no setor da construção civil, com destaque para o polipropileno, classificado como termoplásticos. Matrizes

poliméricas de materiais termoplásticos são utilizadas para formar compósitos, exibindo vantagens e desvantagens. (BAUER, 2008).

Quando aquecidas amolecem, podendo ser moldável diversas vezes e quando são resfriados não perdem suas propriedades durante o processo. É fácil perceber que o produto mais explorado devido a estas vantagens são os compósitos baseados em polímeros termoplásticos. Além disso, apresentam baixo custo e a facilidade de processamento através de processos como extrusão e injeção desse tipo de polímero (BAUER, 2008; SAHEB, JOG, 1999).

A extrusão é um processo no qual o material é empurrado através de uma matriz para adquirir a sua forma. A máquina extrusora pode ser dividida em cinco partes principais, um mecanismo alimentador, um cilindro/canhão dotado de resistências que controlam a temperatura do processo, a matriz que modela o produto na forma desejada e um mecanismo de corte do produto (ASSUMPÇÃO, 2016). Entre os parâmetros críticos do processo estão: a rotação da rosca, a temperatura do cilindro, a umidade do material processado, e temperatura da matriz.

No processo de extrusão de termoplásticos o material granulado é forçado contra a matriz através de um cilindro aquecido por roscas que transportam, misturam, cisalham e aquecem o material. O processo é utilizado para obtenção de tubos, chapas, perfis. Assim como no processo extrusão o material granulado é fundido e homogeneizado por uma rosca dentro de cilindro aquecido (ABIPLAST, 2014).

Entre a extremidade da rosca e bico de injeção há um espaço de dosagem, o material é transportado e acumula-se nesse espaço antes de ser empurrado contra o bico para preencher o molde. Alguns segundos depois de preencher o molde ele pode ser aberto e peça extraída (ABIPLAST, 2014). Além dos parâmetros já citados que influenciam na extrusão, na injeção ainda são importantes também: a dosagem do material, a velocidade de enchimento, a temperatura do molde, a pressão aplicada e o tempo de resfriamento e a refrigeração do molde.

Os materiais que podem ser utilizados como reforços em compósitos de matriz polimérica são fibras sintéticas e fibras naturais como casca de arroz, fibra de algodão, reforços particulados minerais como talco e a sílica. Vale ressaltar que, a quantidade de reforço adicionado à matriz é o que influencia nas propriedades do material de reforço e interação entre o reforço e matriz, que são determinantes para as propriedades do compósito (DONG, et al, 2016).

As fibras de celulose naturais possuem propriedades de exigências para materiais reforçados em compósitos e têm vantagens de baixo custo e abundância, peso leve, biodegradabilidade e capacidade de renovação, estas possuem potencial para serem modificadas com o intuito de obter-se um melhor desempenho ou novas funções (DONG, et al., 2016, 2018).

O polipropileno reforçado com material proveniente de fibras de algodão pode apresentar um desempenho fundamental na transferência de tensão para as fibras. Após faz-se o uso de um agente compatibilizante que tem por função acoplar a matriz a fibra, tendo em vista que as uniões das mesmas possuem uma baixa aderência em sua interface (BORSOI, et al., 2011).

Com base em ensaios de flexão e tração observa-se que a adição de uma porcentagem de compatibilizantes faz com que essas propriedades aumentem, sendo esse efeito intensificado em presença de fibra de algodão, entretanto, os compósitos com compatibilizante apresentaram resultados inferiores por possuírem aumentos na rigidez e nos módulos de armazenamento (BORSOI, et al., 2011).

As propriedades resultantes de um compósito são funções de uma série de parâmetros como: as propriedades individuais dos materiais constituintes; interação superficial entre os materiais; do tamanho, da forma, da proporção, da distribuição e da orientação do reforço. Um grande número de teorias e modelos foi desenvolvido para

descrever a influência desses parâmetros no comportamento dos compósitos (AHMED, JONES, 1990).

Os materiais poliméricos estão entre os mais utilizados com matrizes para materiais compósitos devido a principalmente dois motivos: O primeiro se dá pela baixa densidade dos polímeros, eles geralmente possuem resistência mecânica inferior a materiais metálicos e cerâmicos, por isso existe o interesse de melhorar a resistência mecânica desses materiais através da adição de reforços; facilidade de processamento desses materiais, que podem ser conformados a baixas temperaturas e pressões (OTA, 2004).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo o estudo das propriedades mecânicas de tração e de impacto do polipropileno composto de fibras de algodão processadas, por meio da confecção de corpos de prova, a fim de estimular a incorporação de polímero recicláveis com a adição de resíduos industriais para novos produtos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O polipropileno reciclado (PPR) proveniente de uma indústria de reciclagem de plástico de Maringá-PR, no qual apresentou já na formato de flocos e triturado. O material de fibra de algodão originado de resíduos de fabricas têxtil tem como percentual de algodão de 100%. Após a coleta das amostras da fibra de algodão, o material foi avaliado, selecionado e triturado.

Em seguida, para a fibra de algodão foi determinada a gramatura, segundo a ABNT NBR 10591/2008 utilizando três amostras de tecido com dimensão 10x10cm isentas de defeitos.

Foi realizada a análise granulométrica para o polipropileno reciclado e para a fibra de algodão processada por meio do agitador de peneiras (agitador de peneiras eletromecânico com timer analógico – SoloCap), utilizando as peneiras de acordo com a NBR NM – ISO 3310-1/2010 e os resultados conforme a DNER-ME 080/94.

Ao material polipropileno reciclado foram definidas as proporções para cada material, sendo elas: 98% de polipropileno reciclado e dois por cento de fibra de algodão processada (PPR2) e 95 % de polipropileno e cinco por cento de fibra de algodão processada (PPR5).

Realizadas as misturas, o material foi extrudado e injetado. 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 65rpm. 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 650 bar, tempo de injeção de 15s, pressão e recalque de 300 bar e tempo de recalque de 30s.

As análises mecânicas foram realizadas por meio do ensaio de tração de acordo com a norma ASTM D638/2014, a qual estabelece os critérios para os materiais plásticos, com o equipamento de máquina universal de ensaios EMIC DL10000, submetido a uma célula de carga de 1 kN com velocidade de 10 mm/min.

A outra análise mecânica foi por meio do teste de Impacto Izod foi de acordo com a norma ASTM D256/2010, a qual determina os requisitos para materiais plásticos. Foi utilizado o equipamento CEAST modelo Resil Impactor Junior com um pêndulo de 2,75J. A norma também exige que as amostras estejam fresadas para concentração de esforços e minimizar a deformação plástica e direcionar a fratura para parte de trás do entalhe. O entalhe utilizado para essa pesquisa foi de 1,4mm para cada corpo de prova de impacto.

A Figura 1 apresenta as etapas realizadas na metodologia utilizada neste trabalho.

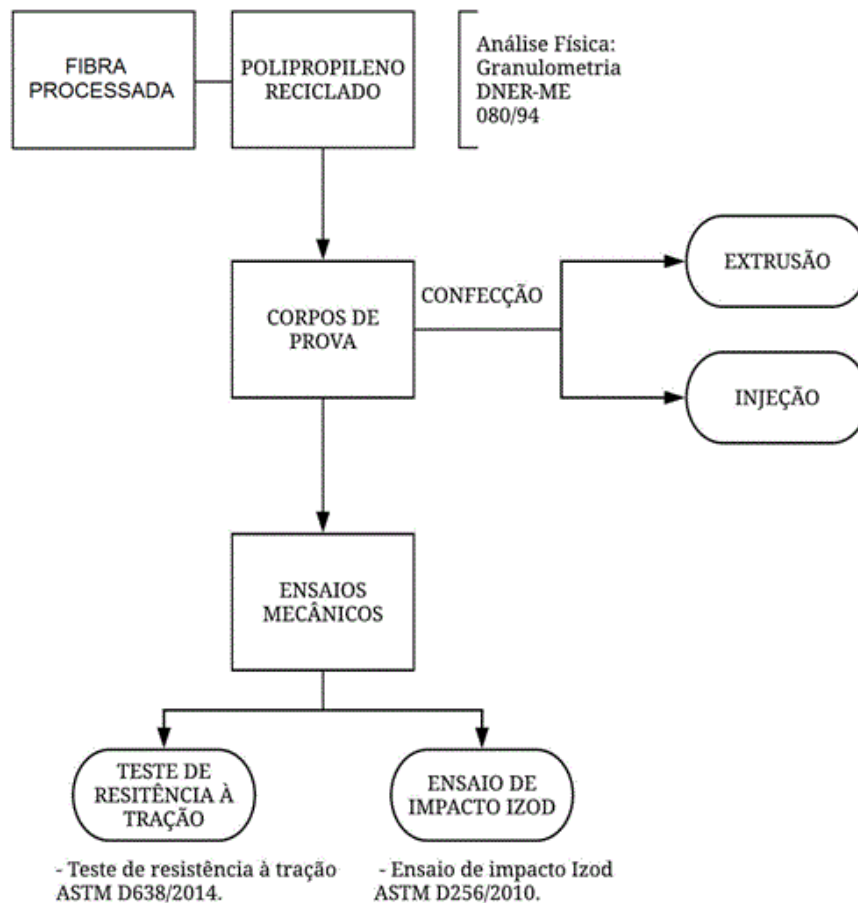


Figura 1 – Etapas realizadas na metodologia para determinação das propriedades mecânicas.
Fonte: Autores (2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o PPR moído, foi utilizada a série de peneiras: 9,5 mm (3/8"); 4,75 mm (nº4); 2,36mm (nº8); 2 mm (nº10); 1,18 mm (nº16) e o fundo. Para a fibra de algodão processada, foi se utilizado a série de peneiras: 12,5 mm (nº1/2); 9,5 mm (3/8"); 4,75 mm (nº4); 2,36mm (nº8); 2 mm (nº10); 1,18 mm (nº16) e o fundo. Os cálculos e resultados estão de acordo com os previstos na DNER 080/94, dispostos na Figura 2.

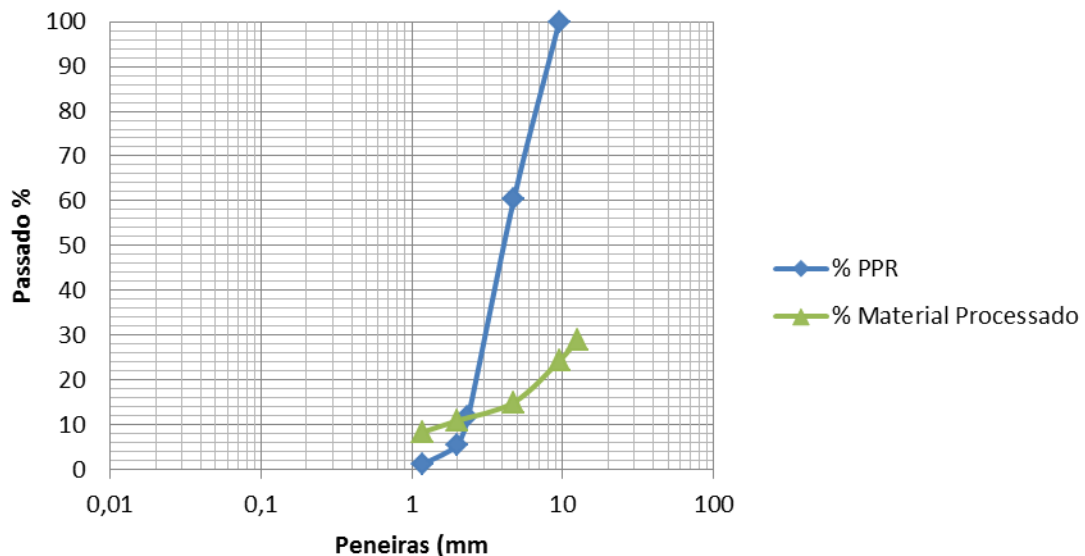


Figura 2: Análise granulométrica para a amostra de PPR e o material processado

Fonte: Autores (2019).

A partir dos resultados da análise granulométrica, foi possível identificar a variação geométrica do PPR moído, no qual as maiores partes do material ficaram retidas na peneira N°4 e N°8, conforme a Figura 2 acima, ou seja, a variação média do material foi em torno de 2,36mm a 4,75mm.

Esse dado foi importante para viabilizar o processo de extrusão, pois, se a variação média do PPR moído apresentasse valores muito superiores do que os determinados, o material deveria ser triturado novamente antes de iniciar o processo de extrusão – por consequência da escala de laboratório, que pode gerar uma complicação com o entupimento do material no bocal da extrusora.

O processamento mecânico das fibras de algodão demonstra ser menos densos e mais leves que o PPR moído. O que pode explicar a diferença de comportamento na curva granulométrica.

O material processado, após o ensaio mecânico apresentou alongamento nos fios principalmente por tração. Foi possível visualizar fios do tecido pequenos entrelaçados com flocos de fibra de algodão. A análise granulométrica mostrou ter grande variação do diâmetro, ou seja, mais heterogênea.

A fibra de algodão é proveniente da semente do algodoeiro que possui estrutura unicelular que se constitui basicamente de celulose. Principalmente após o processo de lixamento mecânico, foi possível identificar a formação de flocos de fibra de algodão com o tecido jeans que mostrou semelhança com sua origem natural, devido ao alongamento das fibras por abrasão. (GUIMARÃES, 2014).

A gramatura resultou em 347,9 g/m². Dessa forma, foi possível classificar o material por meio da gramatura que apresentou um valor maior que 220 g/m², sendo classificado como tecido pesado.

A Figura 3 apresenta a análise do teste de impacto Izod para o PPR2 e PPR5, estes foram submetidos à carga hidráulica que analisa a resistência ao cisalhamento de cada material, onde o material é submetido a uma força cisalhante que mede seu grau de resistência.

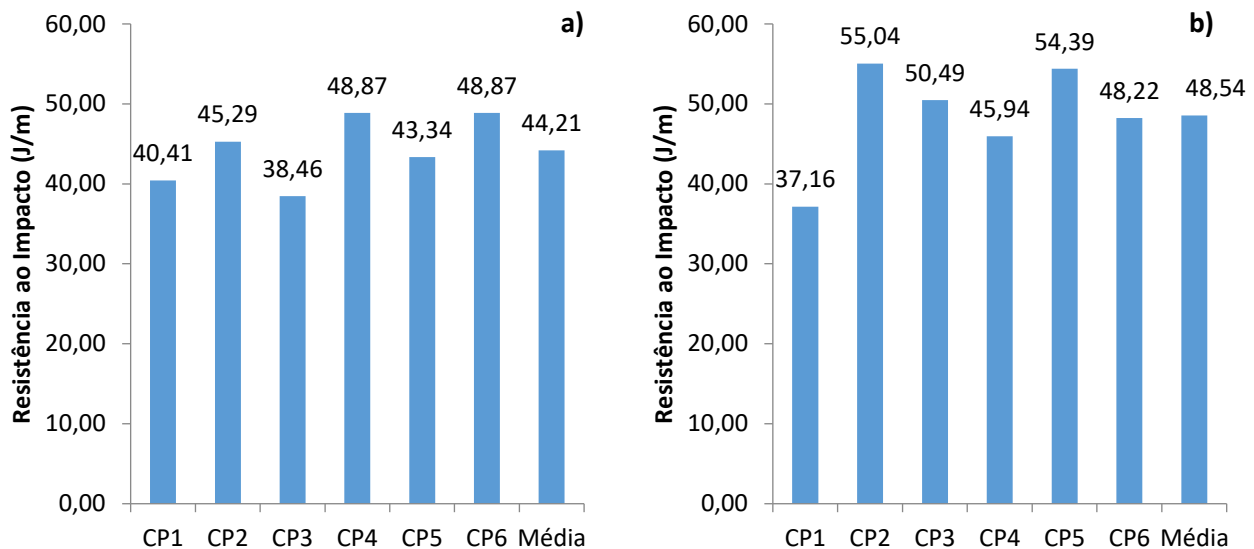


Figura 3 – Resultados referentes à resistência ao impacto Izod. a) PPR2; b) PPR5

Fonte: Autores (2019).

O teste de Impacto de Izod foi realizado conforme a norma ASTM D256/2010 e estabelece, sendo a temperatura de 23°C, com tolerância de 2°C para mais ou para menos, e umidade relativa de 50%, com tolerância de cinco por cento a mais ou a menos.

O entalhe, conforme especificado na referida normativa, serviu para induzir a fratura do material. Durante o teste, todos os corpos de provas foram partidos em duas partes; esta quebra classifica o material na categoria C, segundo a norma ASTM D256/2010.

A Figura 3 exhibe os resultados perante os corpos de prova ensaiados para o teste de Impacto Izod. A norma ASTM D256/2010 estabelece que sejam ensaiados pelo menos cinco Corpos de Prova (CP). Na pesquisa utilizou seis CP; portanto, atendeu a normativa.

Ao analisar o PPR2, a média resultante foi de 44,21 J/m e a média para o PPR5 foi de 48,54 J/m. Houve um aumento na resistência de impacto Izod em comparação a adição de dois e cinco por cento de fibra de algodão de 9,80%. Dessa forma, foi possível observar que o aumento da resistência ao impacto de Izod está diretamente relacionado com o aumento na proporção de adição de fibras.

No teste de tração, os corpos de prova, compostos de dois e cinco por cento de fibra processada, foram submetidos à carga hidráulica, a qual provoca um alongamento até a sua ruptura. O resultado da resistência máxima está disposto na Figura 4.

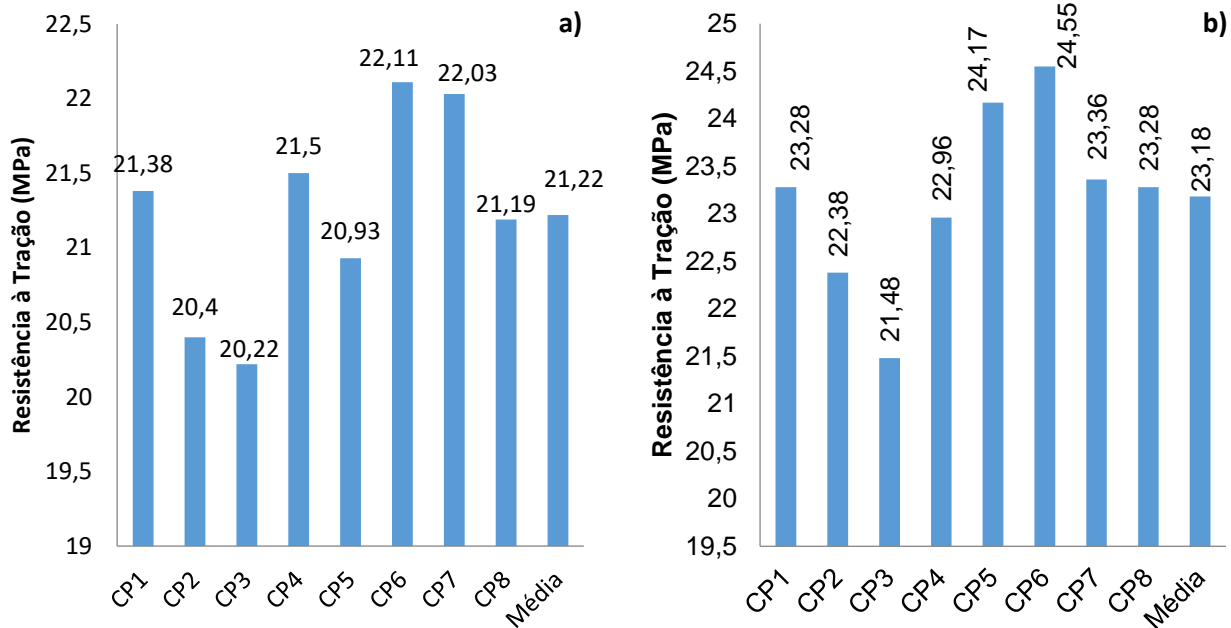


Figura 4 – Resultados referentes à resistência à tração. a) PPR2; b) PPR5
 Fonte: Autores (2019).

Conforme estabelece a ASTM D256/2010, devem ser ensaiados pelo menos cinco corpos de prova; portanto, atendeu a normativa pois foram testados 8 corpos de prova. A Figura 4 acima apresenta os resultados encontrados dos CP, de 1 a 8 que foram para os cálculos da tensão média do material, apresentando uma média de 21,22 Mpa para o PPR2 e a média de 23,18 Mpa para o PPR5.

Baseado nos resultados apresentados, pode se observar que ao adicionar certa quantidade de material processado, sendo que esta pesquisa acrescentou dois e cinco por cento de fibras de algodão ao polipropileno, sofreu alterações em sua resistência a tração. Foi possível verificar o aumento na resistência à tração devido a adição de fibra de algodão de 9,24% em comparação PPR2 e PPR5.

A Figura 5 apresenta os resultado referentes ao módulo de elasticidade.

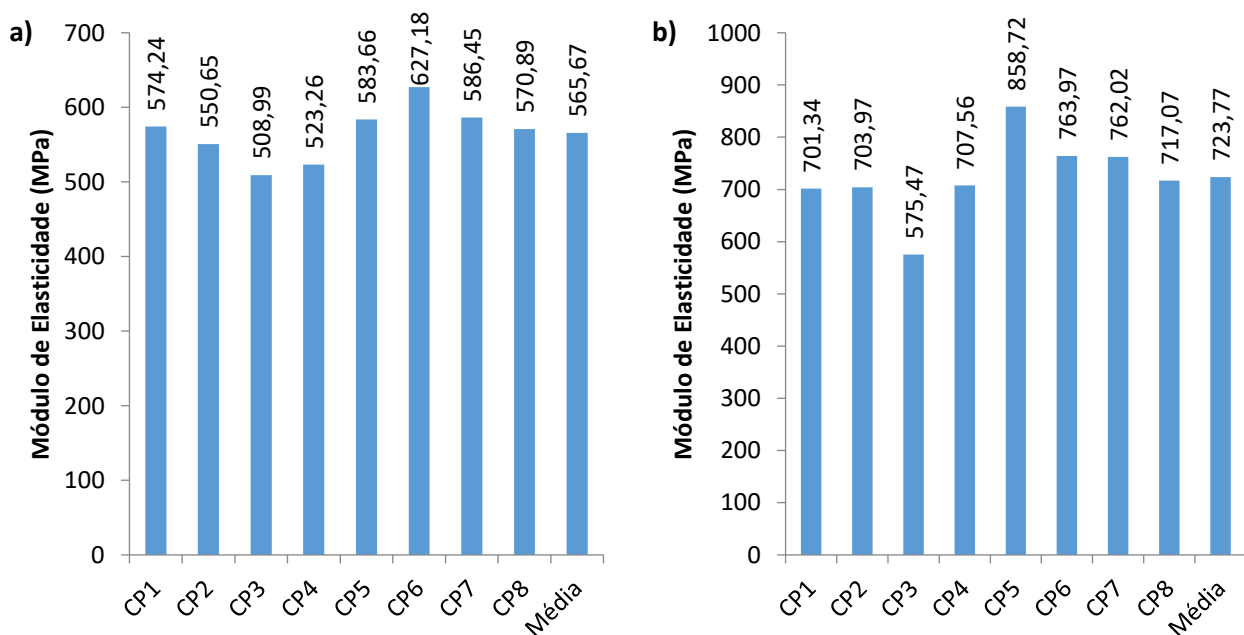


Figura 5 – Resultados referentes ao módulo de elasticidade. a) PPR2; b) PPR5
 Fonte: Autores (2019).

O módulo de elasticidade é o resultado de uma relação linear, sendo que a constante de proporcionalidade E é o próprio módulo de elasticidade. Nessa situação de segmento linear ocorre a deformação elástica. “Quanto maior for esse módulo, mais rígido será o material ou menor será a deformação elástica que resultará da aplicação de uma dada tensão” (CALLISTER, 2008).

A média calculada para o módulo de elasticidade dos oito corpos de prova foi de 565,67 MPa para o PPR2 e para o material PPR5 a média foi de 723,77 MPa. O aumento do módulo de elasticidade foi de 27,95% em relação as médias do PPR2 e o PPR5.

A Figura 6 apresenta os resultados em relação ao alongamento na fratura.

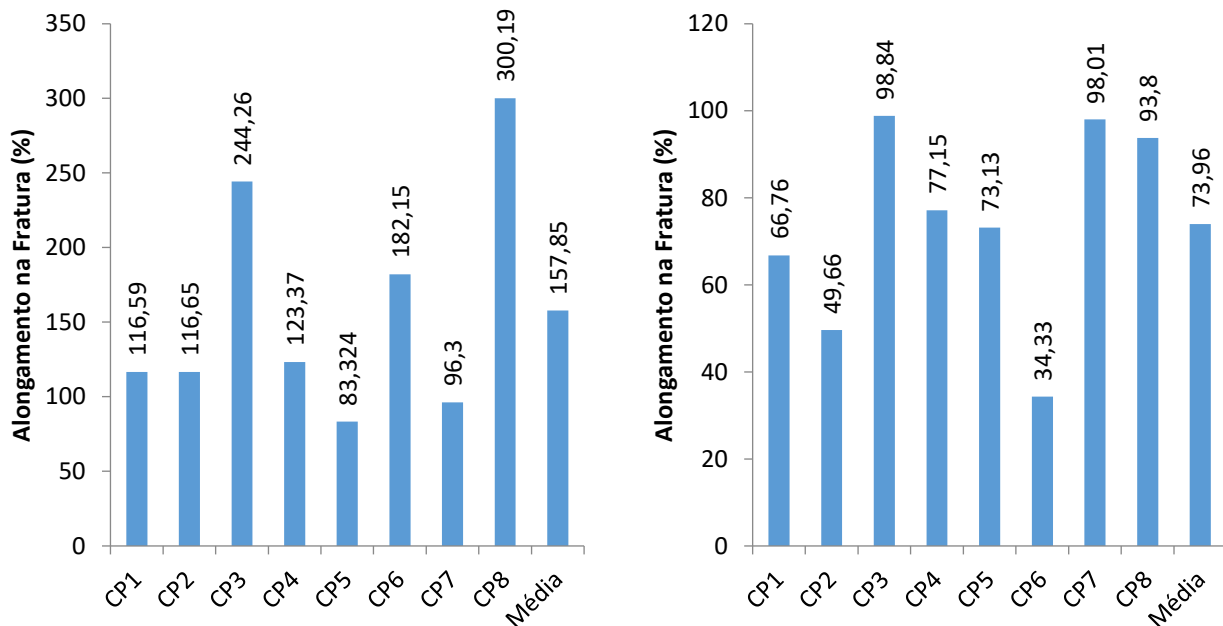


Figura 6 – Resultados referentes ao alongamento na fratura. a) PPR2; b) PPR5
Fonte: Autores (2019).

Em geral, o comportamento mecânico do composto de fibras de algodão com polipropileno, pode ser classificado como dúctil, pois o material submetido ao esforço de tração sofreu deformação até a sua ruptura. A ductilidade representa uma medida do grau de deformação plástica que foi suportado quando a fratura ocorre, o termo pode ser definida como alongamento percentual e a porcentagem de deformação (CALLISTER, 2008).

A média do alongamento na fratura para o PPR2 foi de 157,85% e para o PPR5 foi de 73,96, apresentando uma diminuição de 83,89% em comparação com as duas proporções de fibras de algodão. Uma das possíveis explicações para esse diminuição do alongamento da fratura e o aumento do módulo de elasticidade em relação ao PPR2 e PPR5 é o material compósito ter se tornado mais rígido quando se aumentou a proporção de fibras de algodão. Esse característica perda de ductilidade e ganho de rigidez pode explicar também o aumento de resistência mecânica.

4 CONCLUSÃO

Portanto, foi possível estudar as propriedades mecânicas para a reutilização do polipropileno com a adição de dois e cinco por cento de fibras de algodão processadas em atendimento as normativas: ASTM D638/2014 para o ensaio de tração e a norma ASTM D256/2010 para o ensaio de impacto Izod. Houve um aumento nas resistências

mecânicas, sendo uma das possíveis explicações é o aumento na rigidez do material compósito.

Recomenda-se que sejam feitas diferentes proporções de incorporações de fibras de algodão, adicionadas à matriz polimérica de polipropileno ou outros polímeros em futuras pesquisas, bem como a adição de outros resíduos com a matriz polimérica.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST. **Processos de Transformação para Materiais Plásticos**. São Paulo, 2014. Disponível

em:<http://file.abiplast.org.br/download/links/links%202014/apresentacao_sobre_transformacao_vf.pdf>. Acesso em: 23/04/2018.

AHMED, S.; JONES, F. R. A Review of Particulate Reinforcement Theories for Polymer Composites. **Journal of Materials Science**, [s.l.], v. 25, p. 4933–4942, Dez. 1990. Springer. <https://doi.org/10.1007/BF00580110>

ASSUMPCÃO, Rafael Coelho de. **Projeto preliminar de uma mini injetora/extrusora híbrida de baixo custo para processamento de polímeros com finalidade acadêmica**. 2016. 99f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Pato Branco, 2016.

BAUER, L. A. Falção. **Materiais de construção**, 2. 5. ed. revisada. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. v.2. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

BORSOI, Cleide; SCIENZA, Lisete C.; ZATTERA, Ademir J.; ANGRIZANI, Clarissa C. Obtenção e Caracterização de Compósitos Utilizando Poliestireno como Matriz e Resíduos de Fibras de Algodão da Indústria Têxtil como Reforço. **Polímeros**, [s.l.], vol. 21, nº 4, p. 271-279, Out. 2011. Scielo. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282011005000055>

BRAGA, Benedito; HESPANHOL, Ivanildo; CONEJO, João, G. L.; MIERZWA, José, C.; BARROS, Mário, T. L.; SPENCER, Milton.; PORTO, Monica.; NUCCI, Nelson.; JULIANO, Neuza.; EIGER, Sérgio. **Introdução à engenharia ambiental**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CALLISTER Jr., W. D. **Ciência e engenharia de materiais**. Rio de Janeiro: LTC. Editora, 2008.

DONG, A.; WU, H.; FAN, X.; WANG, Q.; YU, Y.; CAVACO-PAULO, A. Enzymatic hydrophobization of jute fabrics and its effect on the mechanical and interfacial properties of jute/PP composites. **Express Polymer Letters**, [s.l.], Vol.10, No.5, 420–429, 2016. Express Polym. Lett. <http://dx.doi.org/10.3144/expresspolymlett.2016.39>

DONG, Aixue; LI, Fan; FAN, Xuerong; WANG, Qiang; YU, Yuanyuan; WANG, Ping; YUAN, Jiugang; CAVACO-PAULO, Artur. Enzymatic modification of jute fabrics for enhancing the reinforcement in jute/PP composites. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, [s.l.], v.31(4), p. 483–499, mai. 2018. Sage Journals. <http://dx.doi.org/10.1177/0892705717706538>

HOU, Xiuliang; ZHANG, Li; WIZI, Jakpa; LIAO, Xiangru; MA, Bomou; YANG, Yiqi. Preparation and properties of cotton stalk bark fibers using combined steam explosion and laccase treatment. **Jornal of Applied Polymer SCIENCE**, [s.l.], v. 134, pages 45058, fev. 2017. Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1002/app.45058>

LIU, Jianguo; LI, Xiaohui; ZHOU, Chunhua. Mechanical and thermal properties of modified red mud-reinforced phenolic foams. **Polymer International**, [s.l.], v. 67. p. 528–534, mar. 2018. Wiley Online Library. <https://dx.doi.org/10.1002/pi.5540>

OTA, W. N.; **Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional**. 2004. 104f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia)- Universidade Federal do Paraná, PR. Curitiba, 2004.

SAHEB, D. N.; JOG, J. P. Natural fiber polymer composites: A review. **Advances in Polymer Technology**. [s.l.], v. 18, p. 351-363, Out. 1999. Wiley Online Library. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2329\(199924\)18:4<351::AID-ADV6>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2329(199924)18:4<351::AID-ADV6>3.0.CO;2-X)