

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

AValiação DA ABSORÇÃO DE ENERGIA EM COMPÓSITOS COM MATRIZ DE PTFE E CARGA MINERAL

Salete Kerimma Pegado de Medeiros, salete.kerimma@gmail.com¹

José Magdiel da Silva, silva.josemagdiel@gmail.com¹

Juliana Ricardo de Souza, julianars.materiais@gmail.com¹

João Telésforo Nóbrega de Medeiros, jtelesforo@yahoo.com¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Av. Senador Salgado Filho, S/N - Campus Universitário – Lagoa Nova, CEP 59072-970, Natal – RN, Brasil

Resumo: O Politetrafluoretileno (PTFE) vem se destacando em aplicações relacionadas a engenharia com base em seu baixo coeficiente de atrito, que pode variar de 0,01 à 0,1. Contudo este polímero apresenta um alto nível de desgaste, ocasionando a busca por um mineral como aditivo para diminuir este desgaste. O rejeito de Scheelita (RS) foi o mineral escolhido para se estudar a adição, pois além de possuir diversos minerais em sua composição, como por exemplo, o Tungstênio, não possui destino eficaz pelas mineradoras instaladas no estado do Rio Grande do Norte (RN). Neste estudo será analisado a absorção de energia nos compósitos em questão, levando-se em consideração a pressão de hertz envolvida. Oito tipos de composições foram desenvolvidas para este estudo, as massas foram distribuídas de forma logarítmica, com peso: PTFE + RS (99:1; 98:2; 97:3; 95:5; 90:10; 80:20; 70:30; 50:50). Um equipamento experimental foi desenvolvido com o intuito de quantificar a energia de absorção através da energia potencial gravitacional, utilizando dois tipos de esfera, metálica e metálica revestida possuindo 25,4 mm e 22,1 mm de diâmetro, respectivamente. As esferas são liberadas de uma altura fixa em queda livre sobre o corpo de prova, e com o auxílio de uma câmera e uma régua é possível observar qual será sua altura de rebote. Com os resultados obtidos, foi possível observar que para a esfera metálica todas as composições suportavam, no máximo, três ensaios antes da fratura causada por trincas extremamente visíveis, entretanto, para a esfera revestida de borracha foi possível a realização de no mínimo sete ensaios. A partir disto, observou-se que a composição com carga de 5% de rejeito de Scheelita, apresentou o maior valor médio de altura de rebote, para ambas as esferas. Sendo esta então a composição com maior capacidade elástica dentre as ensaiadas.

Palavras-chave: Tribologia, Compósito, PTFE, Rejeito de Scheelita, Absorção de impacto, Pressão de Hertz.

1. INTRODUÇÃO

O Politetrafluoretileno (PTFE) se destaca em aplicações industriais devido, por exemplo, ao seu baixo coeficiente de atrito, que flutua entre valores inferiores de 0,1 μ . Entretanto esse material apresenta baixa resistência ao desgaste, na ordem de 5×10^{-14} m²/N (Biswas, 1992), é possível observar este fato em vários trabalhos (Khedkar, 2002; Li, 2002; Ashby, 2005) que apresentam as limitações da utilização desse polímero em alguns setores industriais, por meio de falhas prematuras dos componentes desenvolvidos com esse material. Souza 2015 tenta melhorar a eficiência da resistência ao desgaste do PTFE adicionando cargas minerais, como rejeito de Scheelita, formando assim um compósito polimérico.

No Brasil, o Seridó nordestino foi, durante anos, o maior produtor de concentrado de minério de Tungstênio, tendo se destacado as grandes minerações scheelitíferas, como as minas Brejuí, de propriedade da Mineração Tomaz Salustino S/A, localizada em Currais Novos, e Bodó no município homônimo, propriedade da Metais do Seridó S/A (METASA), ambas no Rio Grande do Norte. Desde o início da exploração, métodos e equipamentos rudimentares produziram resíduos ou rejeitos em quantidades significativas de minérios acumulados e depositados a "céu aberto", decorrentes do processo de beneficiamento. Desta forma, estudou-se a viabilidade da reutilização do Rejeito de Scheelita, proveniente dos beneficiamentos de scheelita, obtido das Minas Brejuí, em aplicações tribológicas, atuando na forma de carga em compósitos poliméricos.

Este trabalho toma como base as cartas de Ashby (2005), que consiste em mapear os materiais de acordo com a relação de duas ou mais propriedades. No caso do compósito de matriz PTFE com a adição de RS, buscou-se a tentativa

de manter as propriedades que são vantagens em aplicações industriais, como o baixo coeficiente de atrito e baixa aderência, enquanto outras propriedades, ditas desvantajosas, como a taxa de desgaste e baixa resistência à tração, são amenizadas.

Observa-se que o grupo do PTFE é apresentado com um módulo de Young (E) variando entre 300MPa e 500MPa, $2,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 < U < 2,3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ e $300 \text{ m/s} < (E/U)^{1/2} < 400 \text{ m/s}$. Um luthier não hesitaria em descartá-lo como matéria-prima ao seu conjunto de soluções triviais. Um projetista de guias de deslizamento para um sistema mecatrônico ou um eletrodoméstico, por outro lado, certamente o incluiria entre suas possíveis soluções de projeto. Tais soluções são possíveis mas não necessariamente prováveis. Após considerar a taxa de desgaste do PTFE com e sem carga mineral, Fig. 1, esse projetista de guias demandaria estudos adicionais, científicos, para assegurar a confiabilidade da sua solução estrutural.

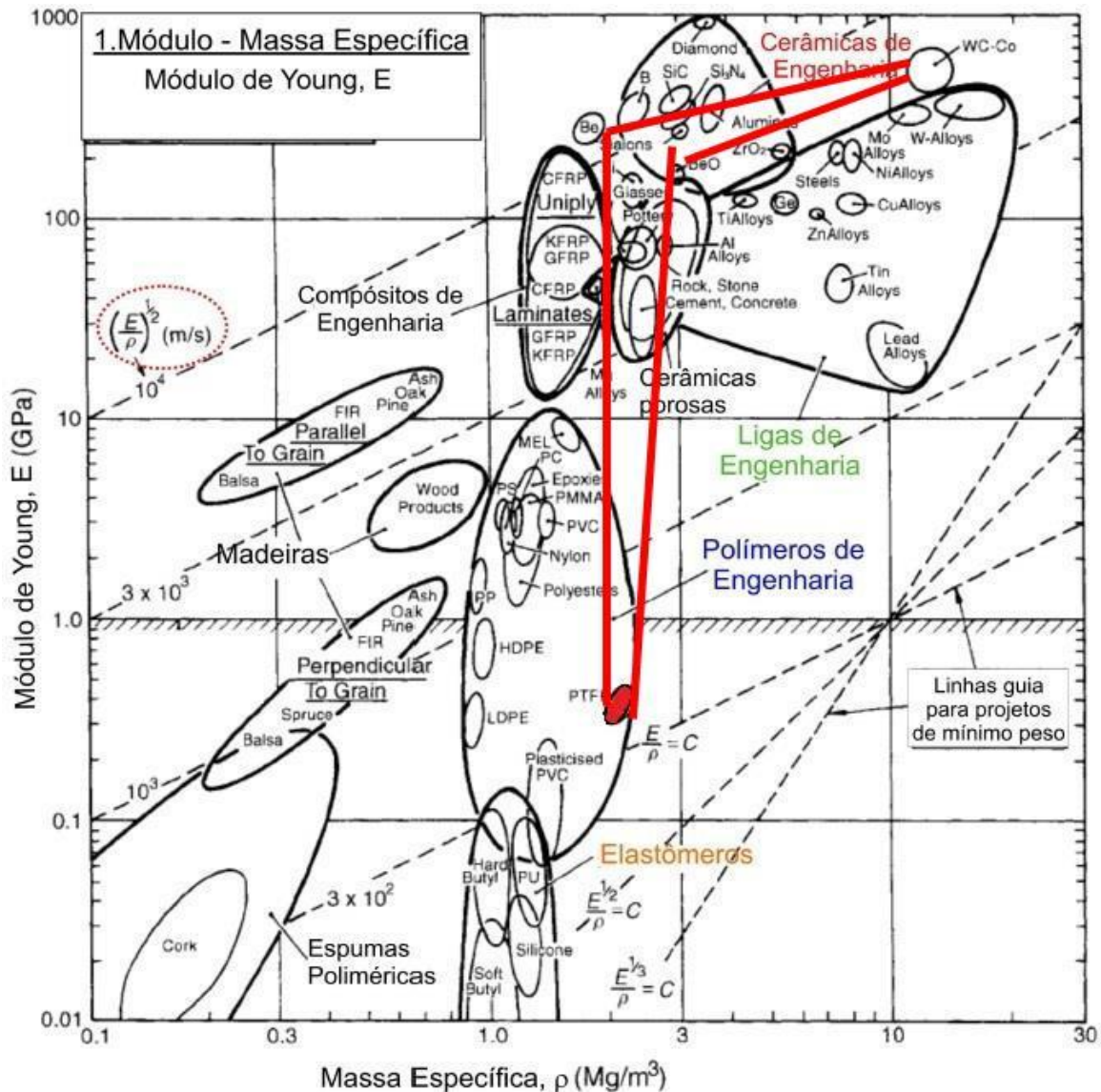


Figura 1. Massa específica, módulo de Young e velocidade de propagação de ondas em sólidos usados como materiais estruturais em Engenharia, Ashby, 2005.

Ao analisar a medida, sob variação de frequência ou temperatura, da deformação sofrida ou a tensão resultante ocasionada, respectivamente, por uma deformação ou tensão mecânica oscilatória de baixa amplitude – geralmente senoidal – a um sólido ou a um líquido viscoso, pode-se ter como resultado o comportamento do material viscoelástico através do módulo de armazenamento, módulo de perda e coeficiente de perda. Sendo esses métodos conhecidos como Análise Dinâmico-Mecânica (DMA) ou Análise Termodinâmico-mecânica (DMTA). Sendo dada a relação de coeficiente de perda com o módulo de elasticidade na Equação 01:

$$h = \frac{4 \cdot 10^{-2}}{E} \quad (01)$$

A pressão de contato de Hertz (1882) também é outro fator relevante a ser abordado, pois em seu trabalho foi evidenciado que o contato entre dois corpos assume a forma de um campo elástico com fronteira bem definida. Sendo as deformações dentro do campo denominadas deformações elásticas e além da fronteira as deformações são zero.

Pensando numa política ambientalmente amigável, com o rejeito de scheelita cedido, este estudo se propôs a reutilizá-lo na forma de carga em matriz polimérica. Desta forma compósitos poliméricos de PTFE + Rejeito de scheelita (PTFE/RS) tem sido desenvolvido pelo Grupo de Estudos de Tribologia da UFRN visando avaliar sua absorção de energia levando-se em consideração a pressão de Hertz envolvida no contato.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente a confecção de compósitos com carga mineral – rejeito de Scheelita – em matriz PTFE foi realizada e, a partir de então, foi possível avaliar a absorção de impacto do compósito com o equipamento que foi desenvolvido por integrantes do Grupo de Estudo de Tribologia e Integridade Estrutural (GET).

2.1. Confecção dos corpos de prova

Foram desenvolvidos compósitos de PTFE + rejeito de Scheelita (RS). O rejeito de Scheelita foi utilizado com tamanho de partícula de #600 mesh, sendo misturado mecanicamente ao PTFE comercial, ambos na forma de pó, para a realização da mistura: um processador com rotação de 160 RPM. Em seguida, os pós em um molde cilíndrico (Aço H13) foram moldados por compressão à quente numa prensa hidráulica (Marca Marcon), com carga normal de 15000 lbf (67 kN, Pressão de compactação 70MPa), definida após uma série de screening tests (ensaios piloto), durante 3 minutos, sob temperatura controlada de aproximadamente $220 \pm 10^\circ\text{C}$ e posteriormente descompressão de 1 min, Fig. 2.

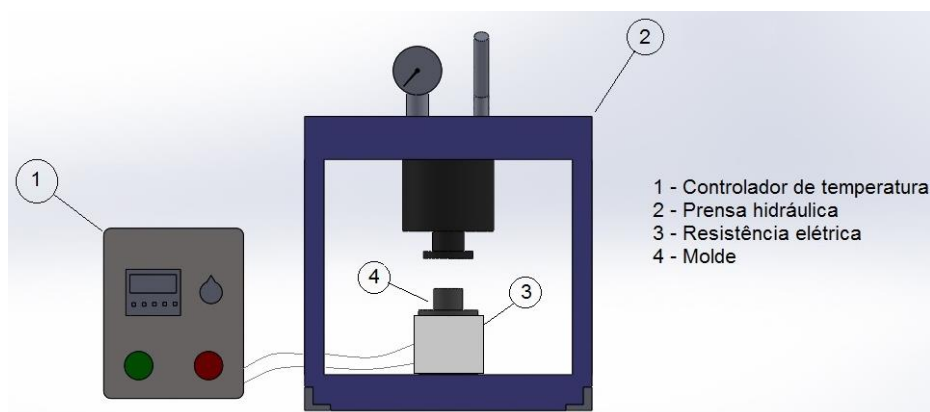


Figura 2. Imagem demonstrativa da prensa moldagem por compressão à quente.

Os corpos de prova foram confeccionados com as seguintes composições: (99:1), (98:2), (97:3), (95:5), (90:10), (80:20), (70:30) e (50:50) de PTFE e rejeito de Scheelita (RS), respectivamente, porcentagem em peso.

A Figura 3 exhibe os corpos de prova dos compósitos, estes foram preparados com volume de $5,770 \text{ cm}^3$ e diâmetro de 35,0 mm cada.



Figura 3. Composições dos compósitos de PTFE e Rejeito de Scheelita.

2.2. Análise de absorção de impacto

Desenvolveu-se um equipamento experimental, como pode ser observado na Fig. 4, com a finalidade de quantificar a energia de absorção dos compósitos através da energia potencial gravitacional. O equipamento é formado por um tubo PVC e uma parte em tubo de plástico transparente com escala graduada em milímetros.

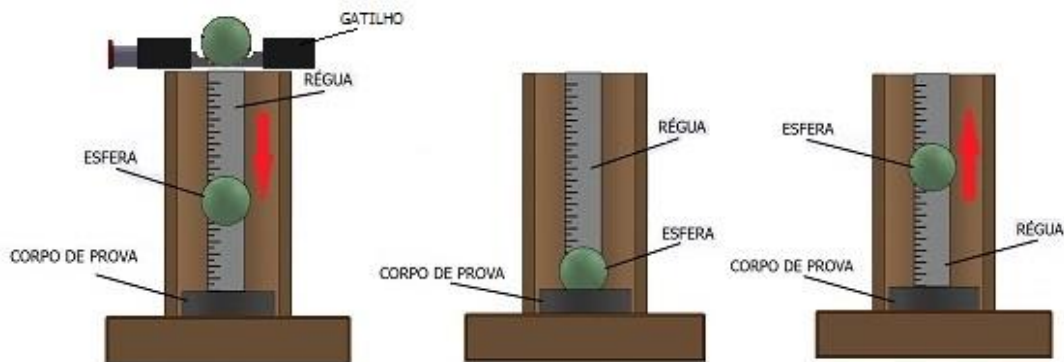


Figura 4. Ilustração esquemática do equipamento experimental.

O procedimento se dá a partir da liberação das esferas fixadas em uma altura conhecida (H_i) sobre o corpo de prova, após o contato entre a esfera e o corpo de prova polimérico a altura de rebote (H_r) é medida com o auxílio de uma câmera.

Nascimento *et al.* 2008, mostram que a energia absorvida pelo material pode ser calculada através da Equação 02:

$$E_{Pi} = E_{ABS} + E_{PF} \quad (02)$$

Onde: $E_{Pi} = mgH_i$ é a energia potencial inicial obtida pela esfera quando liberada; m é a massa da esfera, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ e H_i é a altura inicial da esfera = 1,90 m. E_{ABS} é a energia absorvida pelo material e $E_{PF} = mgH_r$ é a energia potencial medida após o contato da esfera com a amostra, onde H_r é a altura máxima que a esfera alcança após o contato. De (02) obtém-se:

$$E_{ABS} = mg\Delta H \quad (03)$$

A Equação 03 foi utilizada para a obtenção da energia absorvida por cada um dos corpos de prova com base na diferença das alturas (ΔH).

Realizaram-se sete rebotes em cada corpo de prova, sendo um corpo de prova de cada composição, com uma esfera metálica e outra metálica revestida de borracha e calculou-se a média e o desvio padrão. As dimensões das esferas podem ser visualizadas na Figura 5 e as massas e diâmetros das esferas na Tabela 1.

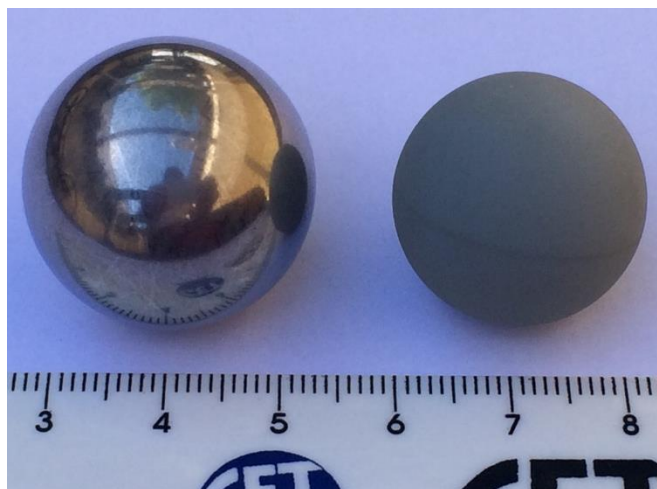


Figura 5. Esfera metálica e esfera metálica revestida de borracha utilizadas nos ensaios de absorção de impacto.

Tabela 1. Massa, diâmetro e energia incidente das esferas utilizadas nos ensaios.

<i>Esfera</i>	<i>Massa (g)</i>	<i>Diâmetro (mm)</i>	<i>Energia Incidente (J)</i>
Esfera Metálica	66,9708	25,40	1,25
Esfera Metálica Revestida de Borracha	31,7647	22,10	0,59

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando a esfera metálica que possui uma energia de aproximadamente 1,25 J, foi possível a realização de apenas um ensaio para as composições com 1, 2, 5, e 30% de carga mineral, devido ao fato de que no primeiro impacto as amostras já apresentaram fraturas visíveis impossibilitando ensaios seguintes. Para as composições com 3, 10, 20 e 50% de carga o mesmo não ocorreu, sendo possível a realização de no mínimo 2 ensaios em cada.

Utilizando a esfera metálica tem-se aproximadamente o dobro de energia incidente na superfície do corpo de prova de uma esfera metálica emborrachada, outro fator de suma importância é a região onde a esfera toca na superfície, já que ao tocar em um ponto com concentrado de minerais gera-se um comportamento frágil, surgindo trincas mais espessas e em maior quantidade, sendo assim é possível à verificação que para essas composições os corpos de prova são quebradiços a esta energia incidente. O que não ocorre para a esfera metálica revestida de borracha, já que apresenta uma energia incidente de 0,59 J, onde se visualiza um comportamento dúctil nos corpos de prova após 6 ensaios, pois este revestimento amortece o impacto na superfície.

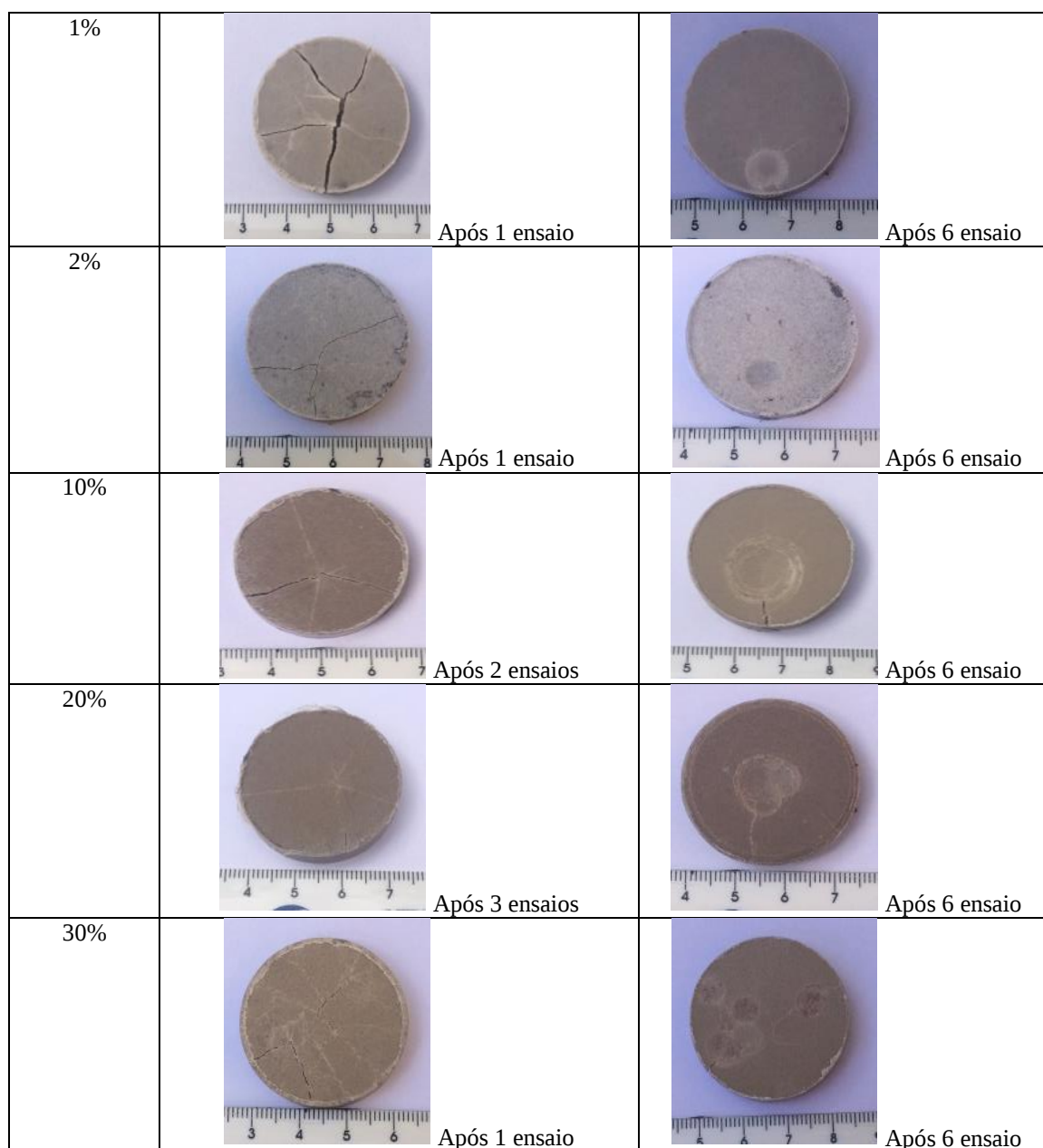
A pressão de contato de Hertz também é um fator determinante influenciando nos resultados de absorção, sendo que para a esfera metálica é possível observar que exerce uma maior pressão de contato durante o impacto, confirmando o fato das amostras se comportarem fragilmente nestes ensaios, o que não ocorre com a esfera metálica revestida de borracha.

Para cada esfera encontrou-se uma faixa de pressão de contato de Hertz, partindo do contato entre a esfera e uma partícula de Al_2O_3 (presente no rejeito de scheelita) até o contato entre a esfera e o plano do corpo de prova com 1% de carga mineral, sendo de $10 \text{ MPa} < P_{\text{Máx. Hertz}} < 3 \text{ GPa}$ os limites encontrados para a esfera metálica e de $0,1 \text{ MPa} < P_{\text{Máx. Hertz}} < 20 \text{ MPa}$ para a esfera metálica revestida de borracha.

Na Tabela 2, é possível a visualização das imagens referentes a superfície dos compósitos após os ensaios, com a fratura dos mesmos para ambas as esferas.

Tabela 2. Imagens dos corpos de prova após ensaios de absorção de impacto.

Esfera Metálica ϕ 25,4 mm Energia Incidente: 1,25 J	Esfera Revestida ϕ 22,1 mm Energia Incidente: 0,59 J
$10 \text{ MPa} < P_{\text{Máx. Hertz}} < 3 \text{ GPa}$	$0,1 \text{ MPa} < P_{\text{Máx. Hertz}} < 20 \text{ MPa}$



Os resultados de altura de rebote obtidos pelos ensaios de absorção de impacto em função do percentual de carga mineral podem ser vistos na Figura 6.

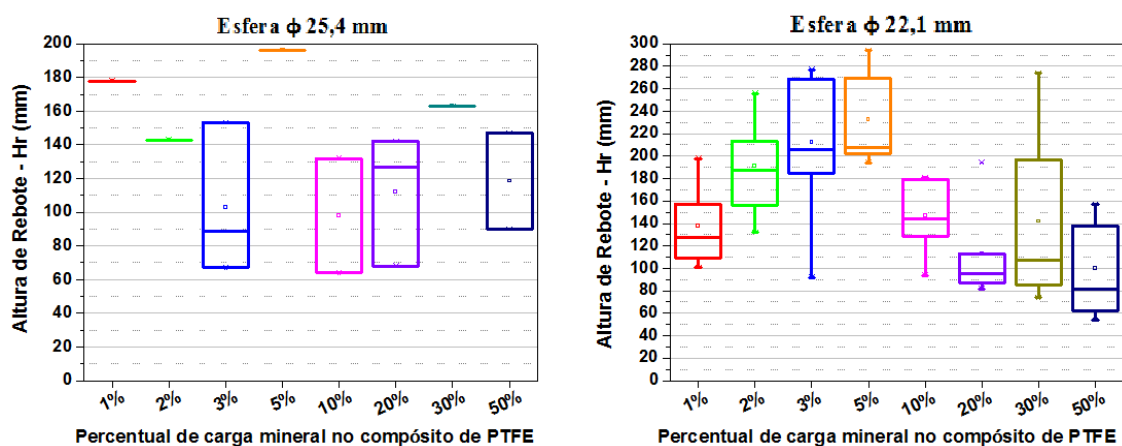


Figura 6. Altura de Rebote em função do percentual de carga mineral para as esferas com diâmetro de 25,4 mm e 22,1 mm.

A partir dos resultados de Hr identifica-se a influência que o percentual de carga mineral exerce nos compósitos de PTFE. A composição com 5% de RS foi a que apresentou o maior valor médio de altura de rebote para ambas as esferas, indicando que esta é a composição mais elástica, dentre todas as estudadas.

Naturalmente por apresentar massa inferior e ser revestida a esfera com diâmetro de 22,1 mm, possibilitou realizar um mínimo de 6 ensaios em cada composição. Desta forma, verifica-se uma tendência crescente até a composição com 5% de carga e a partir da composição com 10% a tendência passa a ser decrescente, sendo a média de Hr, para a composição de 50% de RS, a menor observada.

Os resultados de absorção de impacto podem ser visualizados na Figura 7, a seguir.

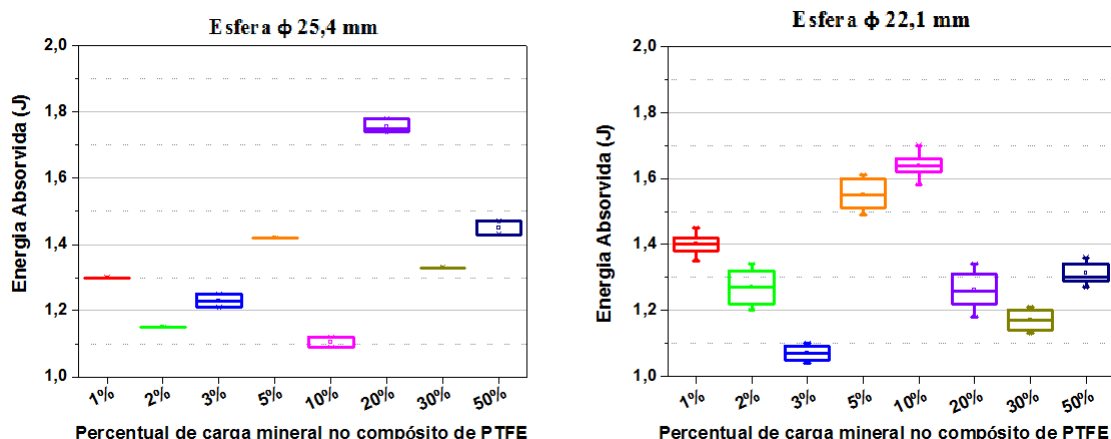


Figura 7. Energia Absorvida em função do percentual de carga mineral para as esferas com diâmetro de 25,4 mm e 22,1 mm.

Era esperado que a energia absorvida seriam um reflexo das alturas de rebote, onde as composições que apresentaram maiores alturas de rebote fossem as que obtivessem a menor energia absorvesse, tendo em vista que existe uma relação entre esses parâmetros, entretanto, para essa análise, isto não ocorreu.

Nos ensaios com a esfera de diâmetro 25,4 mm a composição de 20% de carga mineral foi a que mais absorveu energia, enquanto que para a esfera de 22,1 mm a composição de 10% de carga absorveu mais energia, com valores médios próximos de 1,73 e 1,63 [J], respectivamente. Estes resultados comprovam a influência da incorporação do Rejeito de Scheelita nos compósitos alterando a capacidade dos corpos de prova em absorver e dissipar energia durante o impacto da esfera em sua superfície.

De acordo com a carta nº 8 de Ashby 1999, esse comportamento de capacidade em absorver energia do PTFE (termoplástico), está diretamente relacionado com o coeficiente de perda que esses materiais apresentam, dissipando energia devido ao deslizamento das cadeias umas em relação às outras. Estes movimentos geram os chamados “atritos internos” ou amortecimento intrínseco que pode ser definido através do coeficiente de perda dos materiais.

4. CONCLUSÕES

Em razão da pressão de contato e da energia incidente fornecida pela esfera metálica ($1,25\text{J} - 10\text{ MPa} < \text{PMáx. Hertz} < 3\text{ GPa}$) e esfera revestida de borracha ($0,59\text{J} - 0,1\text{ MPa} < \text{PMáx. Hertz} < 20\text{ MPa}$) realizada no impacto durante os ensaios de absorção observou-se a fratura e deformação plástica dos corpos de prova. A composição de 5% de carga mineral ter apresentado nos resultados de altura de rebote o comportamento mais elástico, entretanto a composição de 20% foi a que absorveu mais energia de impacto com a esfera metálica, tendo uma média de 1,75J. Sendo o compósito com 20% de RS o melhor na absorção de impacto.

5. REFERÊNCIAS

- Ashby, M. F., 1999 “Materials Selection in Mechanical Design”, second edition, Oxford, UK: ButterworthHeinmann – pp;
- Ashby, M. F., 2005 , “Materials Selection in Mechanical Engineering”. Oxford, Elsevier, 3rd Ed., 605 p.
- Biswas, S. K. & Kalyani, V., 1992, “Friction and wear of PTFE - a review”, Wear, 158, 193-211, India.
- Khedkar, J.; Negulescu, I.; Meletis, E. I., 2002, “Sliding wear behavior of PTFE composites”, Wear, Vol. 252, pp. 361–369.
- Li, F.; Hu, K.; Li, J., 2002, “Zhao The friction and wear characteristics of nanometer ZnO filled Polytetrafluoroethylene”, Wear, Vol. 249, pp. 877–882.
- Nascimento, I. V., Souza, J.R., Silva, L. V. Silva R. C.L., Medeiros, J.T.N., 2008, “Análise Comparativa da Absorção de Impacto em Materiais”.

- Oliveira, R. F. de et al., 2014. “Avaliação da Absorção de Energia em Compósitos Poliméricos com Matriz de PTFE”. Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Uberlândia, p. 1-10. ago.
- Souza, J. R., 2015 Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos Tribologicamente Eficazes. 2015. 192 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Mecânica, Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

EVALUATION OF ENERGY ABSORPTION IN COMPOSITES WITH PTFE MATRIX AND MINERAL FILLED

Saete Kerimma Pegado de Medeiros, saete.kerimma@gmail.com¹

José Magdiel da Silva, silva.josemagdiel@gmail.com¹

Juliana Ricardo de Souza, julianars.materiais@gmail.com¹

João Telésforo Nóbrega de Medeiros, jtelesforo@yahoo.com¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Av. Senador Salgado Filho, S/N - Campus Universitário – Lagoa Nova, CEP 59072-970, Natal – RN, Brasil

Abstract. *Polytetrafluoroethylene (PTFE) has been increasing applications related to engineering based on its low friction coefficient, which can range from 0.01 to 0.1. However, this polymer has a high degree of wear, leading to the search for a mineral as an additive to reduce such wear. The tailings of Scheeliter(RS) was chosen to study the addition, as well as having several minerals in their composition, such as Tungsten, has no effective destination by mining installed in the state of Rio Grande do Norte (RN). This study will analyze the energy absorption in the composite in question, taking into account the pressure hertz involved. Eight types of compositions have been developed for this study, the masses were distributed logarithmically, weight: PTFE + RS (99: 1, 98: 2, 97: 3, 95: 5; 90:10; 80:20; 70:30; 50:50). An experimental apparatus was developed in order to quantify the energy absorption by the potential gravitational energy, using two types of ball, metal and coated metal having 25.4 mm diameter and 22.1 mm, respectively. The ball, with a fixed height, are released in free fall on the specimen, and with the help of a camera and a ruler you can see what will be your rebound high. With the results, it was observed that for the metal sphere all supported compositions, a maximum of three trials before the fracture caused by extremely visible cracks, however, for the coated rubber ball it was possible to carry out at least seven trials. From this, it was found that the composition charge of 5% of tailings of Scheelite, It had the highest average rebound height for both spheres. This is then the composition more elastic capacity among the tested.*

Keywords: Tribology, composite, PTFE, reject of Scheelite, impact absorption, Hertz pressure.