

Caracterização de misturas de peuamm com resíduo de pneu obtidos através de moagem de alta energia**Characterization of blends of peuamm with tire residue obtained by high energy milling**

DOI:10.34117/bjdv6n3-013

Recebimento dos originais: 30/01/2020

Aceitação para publicação: 03/03/2020

Bruna Amanda Ruiz

Graduanda Engenharia de Materiais
Universidade Estadual de Ponta Grossa
Av. Carlos Cavalcanti, 4748 – Uvaranas
Ponta Grossa - CEP 84030-900
e-mail: ruiz.bruna@hotmail.com

Oswaldo Mitsuyuki Cintho

Doutor pela Universidade Federal de São Carlos
Professor na Universidade Estadual de Ponta Grossa
Av. Carlos Cavalcanti, 4748 – Uvaranas
Ponta Grossa - CEP 84030-900
e-mail: omcintho@uepg.br

Adriane Bassani Soweck

Doutora pela Universidade Federal de São Carlos
Professora na Universidade Estadual de Ponta Grossa
Av. Carlos Cavalcanti, 4748 – Uvaranas
Ponta Grossa - CEP 84030-900
e-mail: absoweck@uepg.br

RESUMO

Com o crescimento na frota de veículos a quantidade de pneus produzidos e descartados vem crescendo ano após ano e o descarte incorreto tem impactado o meio ambiente. Estudos vêm sendo realizados, apesar da dificuldade, afim de encontrar maneiras de reciclar e/ou reutilizar esse material, pois a estrutura molecular dos pneus possui ligações cruzadas que dificultam o seu reprocessamento. Existem algumas estratégias para a reciclagem de pneus, sendo uma das mais vantajosas o reaproveitamento dos pneus na forma de pó e, posteriormente, a incorporação deste em matrizes poliméricas. Este trabalho teve como objetivo a obtenção de um pó fino de pneu e a sua incorporação em uma matriz de polietileno de ultra alta massa molar (PEUAMM) através da moagem de alta energia. A moagem de alta energia criogênica se mostrou um método muito eficaz para a realização da quebra das partículas do pneu e obtenção destes pós finos e também para a obtenção das misturas. As amostras foram preparadas através de moagem criogênica e na temperatura ambiente e caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV); calorimetria diferencial de varredura (DSC) e por ensaio de tração. A adição do resíduo de pneu afetou negativamente a propriedade mecânica das misturas devido a pobre dispersão observada das partículas. A moagem de alta energia criogênica provocou mudanças no formato das partículas do PEUAMM, de arredondadas para mais achatadas, melhorando a dispersão e promovendo o aumento da resistência mecânica e porcentagem de deformação, quando analisada tanto para o PEUAMM puro quanto para as misturas de PEUAMM com resíduo de pneu.

Palavras-chave: Resíduo de pneu, moagem de alta energia, moagem criogênica, reciclagem.

ABSTRACT

Due to the growth in the vehicles fleet, the number of tires produced and discarded has been growing year after year and incorrect disposal has impacted the environment. Studies have been carried out, despite the difficulty, in order to find ways to recycle and/or reuse this material, as the molecular structure of the tires has crosslinking that hinder their reprocessing. There are some strategies for recycling tires, one of the most advantageous being the reuse of tires in the form of powder and later incorporating it into polymeric matrixes. This work aimed to obtain a fine tire powder and to incorporate it into an ultra-high molar mass polyethylene (PEUAMM) matrix through high energy milling. High cryogenic energy milling has proved to be a very effective method for breaking the tire particles and obtaining mixtures. The samples were prepared by cryogenic milling and at room temperature and characterized by scanning electron microscopy (SEM); differential scanning calorimetry (DSC) and by tensile test. The addition of the tire residue negatively affected the mechanical properties of the mixtures due to the poor dispersion observed of the particles. High cryogenic energy milling caused changes in the shape of PEUAMM particles, from rounded to more flattened, improving dispersion and promoting increased mechanical strength and deformation percentage when analyzed for both pure PEUAMM and mixtures of PEUAMM with tire residue.

Keywords: Tire residue, high energy milling, cryogenic milling, recycling.

1 INTRODUÇÃO

Com a revolução industrial o consumo de pneus cresceu exorbitantemente, necessitando de uma maior produção, conseqüentemente houve um aumento no descarte dos mesmos, muitas vezes de forma incorreta. Como consequência disso no ano de 2009 o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou uma lei que determinou que os fabricantes ou importadores de pneus deveriam coletar o material descartado e dar uma destinação adequada a esses pneus inservíveis (Resolução CONAMA Nº 416/2009), tornando-se ainda mais necessário o desenvolvimento de pesquisas sobre sua reciclagem e/ou reaproveitamento.¹⁻³

A reciclagem de termoplásticos é relativamente fácil, porém o contrário é observado em pneus por algumas razões, a primeira delas é a presença da estrutura de aço o que dificulta a sua trituração; o outro problema é a estrutura molecular dos elastômeros que possuem ligações cruzadas dificultando o reprocessamento deste material. Existem algumas estratégias para a reciclagem ou reuso de pneus, como: desvulcanização e utilização como combustíveis alternativos; reuso na construção civil ou na pavimentação asfáltica do resíduo de pneu na forma de pó sendo estas uma das mais vantajosas.^{2,4}

A moagem de alta a energia se destaca como uma técnica intermediária de modificação de matéria-prima que tem sido estudada recentemente em materiais poliméricos. Esta técnica consiste em uma moagem em moinho de bolas, com elevada energia, por causar repetidos choques entre as partículas do material e os meios de moagem, podendo produzir modificações físicas e/ou químicas na estrutura do material polimérico.⁵⁻¹⁰

Para a obtenção dos resíduos de pneus na forma de pó foi testada a moagem de alta energia criogênica, utilizando o nitrogênio líquido como meio de refrigeração. Se o sistema estiver a uma temperatura abaixo da Tg do polímero, o processo poderá ocorrer de forma mais efetiva.

De acordo com Stranz¹⁰, uma blenda preparada com materiais que passaram por um processo de moagem de alta energia criogênica tem muitas vantagens sobre os métodos de fusão convencionais, uma vez que uma blenda de materiais imiscíveis pode ser preparada por moagem com sucesso, pois a moagem de alta energia gera macro radicais que atuam como agentes de compatibilização na blenda.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é obter os pós finos de pneus por moagem de alta energia criogênica e realizar as misturas com o PEUAMM também por moagem de alta energia afim de verificar se é possível a compatibilização deste sistema por moagem e conseqüentemente encontrar uma maneira de reutilizar os resíduos de pneu.

O polietileno de ultra alta massa molar (PEUAMM) foi escolhido pois trata-se de um polímero que apresenta características muito peculiares e que chama sua atenção devido sua ampla aplicação tecnológica em diversas áreas e vem sendo estudado por este grupo de pesquisa.⁵⁻⁹

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Como matriz utilizou-se polietileno de ultra alta massa molar (UTE[®] 6541) fornecido pela Brasken e resíduos de pneu provenientes de recapagem fornecidos pela Recapadora Presidente.

2.2 PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS

Para a preparação dos materiais utilizou-se o moinho de alta energia do tipo Attritor, Union Process modelo 01HD, apresentado na Figura 1(a). As moagens foram realizadas a temperatura ambiente e em baixas temperaturas (moagem criogênica). Para a moagem criogênica foram feitas algumas adaptações no moinho Attritor acima citado, onde adaptou-se o sistema de refrigeração com nitrogênio líquido onde o jarro do moinho foi envolvido com isopor e no mesmo adicionava-se nitrogênio líquido durante o processo de moagem. Também foi necessária a adaptação de um funil a uma das aberturas do jarro, o qual permitia a adição do nitrogênio no interior do jarro. A Figura 1(b) apresenta o moinho Attritor adaptado com o sistema de refrigeração com nitrogênio líquido.



(a)



(b)

Figura 1: (a) Moinho Attritor utilizado para as moagens a temperatura ambiente com sistema de refrigeração com água e (b) Moinho Attritor adaptado com sistema de refrigeração com nitrogênio líquido para as moagens criogênicas.

O PEUAMM foi moído em condições criogênicas e na temperatura ambiente, enquanto que para o resíduo de pneu realizou-se somente moagem criogênica. Em ambas as moagens foram utilizados 2 quilogramas de esferas metálicas de diâmetro de 6,35 mm para garantir a eficiência da moagem (poder de moagem 40:1); duração de 60 minutos e frequência de rotação de 600 rpm.

2.3 CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA

Realizou-se a classificação granulométrica do pó proveniente da moagem do pneu em um jogo de cinco peneiras (mesh 20, 35, 60, 80 e 100) as quais sofreram agitação constante por 30 minutos de acordo com a norma ASTM D1921¹¹.

2.4 PREPARO DAS MISTURAS

As misturas de PEUAMM foram preparadas com uma concentração de 10% em peso de resíduo de pneu de duas maneiras: com agitação manual somente para controle e com o processamento no moinho de alta energia a temperatura ambiente.

Nas misturas realizadas manualmente adicionou-se 0,5 gramas de pó de pneu moído a 4,5 gramas de pó de PEUAMM, os quais sofreram uma agitação manual até que ocorresse a mistura de seus componentes de maneira homogênea.

Para as misturas realizadas no moinho de alta energia adicionou-se 4 gramas de pó de pneu moído a 36 gramas de pó de PEUAMM, os quais sofreram uma agitação no moinho por 60 minutos com uma frequência de rotação de 600 rpm.

2.5 PRODUÇÃO DOS FILMES POLIMÉRICOS

Para a caracterização das misturas foram produzidos filmes prensados a partir do pó do PEUAMM puro e das suas misturas em uma prensa hidráulica aquecida a 220°C aplicando-se uma pressão de 3 toneladas por cerca de 2 minutos.

2.6 CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA

Para a realização da análise térmica utilizou-se a calorimetria exploratória diferencial (DSC), equipamento Shimadzu modelo DSC-60, seguindo a norma ASTM D3418¹². As condições de teste foram: fluxo de nitrogênio a 50 mL/min; aquecimento desde a temperatura inicial de 30°C a 200°C a 10 °C/min; resfriamento de 200°C até a temperatura de 30°C a 10°C/min e segundo aquecimento/resfriamento seguindo as mesmas faixas anteriores. A entalpia de fusão foi obtida do segundo aquecimento a partir do pico endotérmico.

A cristalinidade foi calculada utilizando a Eq.1, na qual a X_c refere-se a porcentagem de cristalinidade, $\Delta H_{f\text{polímero}}$ refere-se a entalpia de fusão do polímero, ΔH_f a entalpia de fusão do polímero 100% cristalino e ϕ a fração de polímero na mistura. A porcentagem de cristalinidade foi calculada para as diferentes amostras usando a entalpia de fusão do PEAD 100% cristalino de 293 J/g^{13, 14}.

$$X_c = \frac{\Delta H_{f\text{polímero}}}{(\Delta H_f \times \phi)} \times 100 \quad (1)$$

2.7 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA

A morfologia das partículas do PEUAMM e do pneu puros foram observadas a partir das amostras em pós, analisadas e comparadas, em diferentes ampliações utilizando o microscópio eletrônico de varredura marca Shimadzu®, modelo SSX 550.

2.8 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA POR TRAÇÃO

O ensaio de tração foi realizado na Máquina Universal de Ensaio Shimadzu, de acordo com a norma ASTM D882¹⁵, a partir dos filmes poliméricos de PEUAMM puro e das suas misturas. O ensaio foi realizado com uma velocidade de 500mm/min, distância entre garras de 50mm e em corpos de prova com dimensões de 10 mm de largura e 0,85 mm de espessura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 SEPARAÇÃO GRANULOMÉTRICA

As imagens das amostras de pneus, como recebida e após as moagens, estão apresentadas nas Figuras 2 e 3.

A borracha de pneu utilizada nesse estudo apresentava-se na forma de lascas de diferentes tamanhos, como pode ser observado na Figura 2(a). Para a realização de misturas e obtenção de boas propriedades mecânicas, segundo Colon¹⁶ o ideal seria a utilização de partículas com granulometria na faixa de 0,200-0,500 mm. Em um outro trabalho, realizado por Castro, o tamanho de partículas que resultou em melhores propriedades para as misturas PEAD com resíduo de pneu foi inferior a 0,200mm¹⁷. Desta forma foi utilizado a moagem de alta energia com o objetivo de promover a quebra dessas partículas “lascas” e obter pós finos.

A moagem de alta energia em temperatura ambiente, entretanto, não se mostrou eficaz para a diminuição no tamanho das partículas, como pode ser observado na Figura 2(b) e 3(a). Com a realização dessa moagem foi possível a obtenção de uma pequena quantidade de pó polidisperso, porém, a maior porção do material continuou na forma de partículas significativamente grandes.

A moagem de alta energia em temperatura criogênica, por outro lado, mostrou-se um método muito eficaz, pois a sua realização promoveu a quebra “lascas”, resultando em uma diminuição significativa no tamanho dessas partículas, e conseqüentemente, resultando em um pó bastante fino, como apresentado na Figura 2(c) e 3(b).

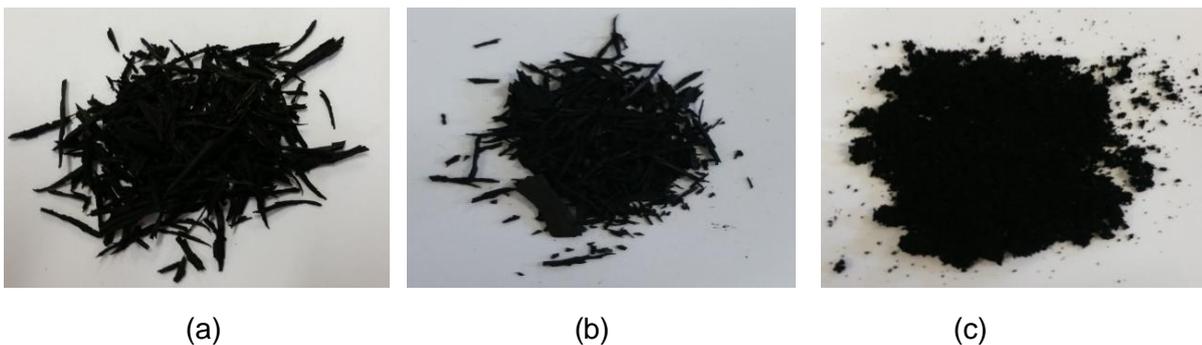


Figura 2: (a) Resíduo de pneu antes da moagem, (b) após moagem de alta energia em temperatura ambiente e (c) após moagem de alta energia criogênica.

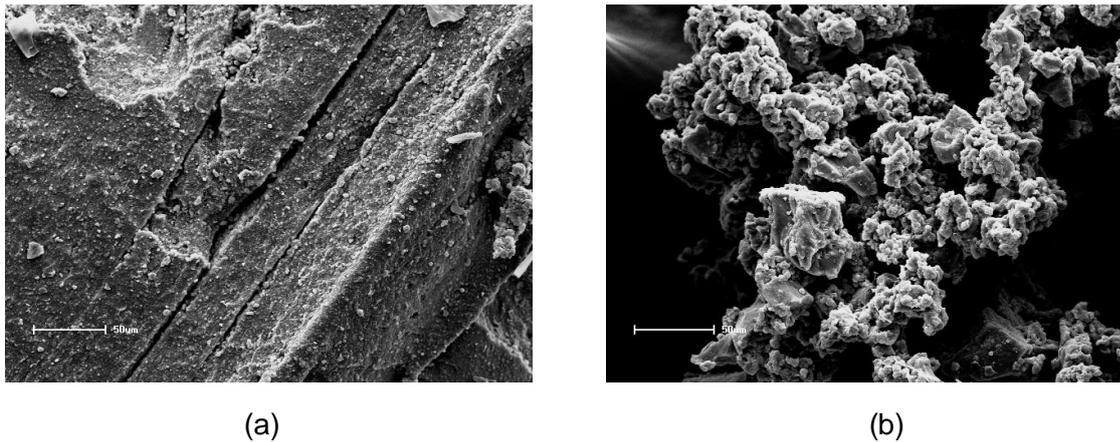


Figura 3: Microscopia eletrônica de varredura (a) Resíduo de pneu após moagem de alta energia em temperatura ambiente e (b) após moagem de alta energia criogênica.

Através da classificação granulométrica foi possível verificar que a maior porcentagem de pó ficou retida na peneira de mesh 20, sendo cerca de 65,47%, os quais apresentavam granulometrias superiores ou igual a 0,841mm, este material foi selecionado para a preparação das misturas. O material passante pela peneira de mesh 60, com granulometria menor que 0,250 mm, apesar do baixo rendimento 2,77%, também foi selecionado para analisar a influência do tamanho das partículas do pó na matriz de PEUAMM.

3.2 ANÁLISE MORFOLÓGICA DAS MISTURAS

Através da análise morfológica dos pós de PEUAMM e de suas misturas, apresentada na Figura 4, notou-se que ocorreu uma alteração morfológica no PEUAMM, que promoveu uma melhor adesão das partículas, e conseqüentemente, alterando as propriedades mecânicas e térmicas.

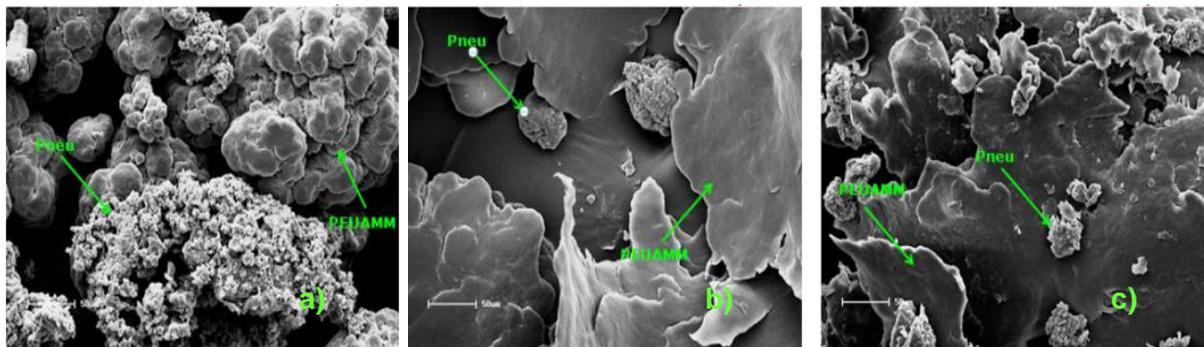


Figura 4 – Microscopia Eletrônica de Varredura das misturas de PEUAMM com 10% de pneu: (a) PEUAMM sem moagem; (b) PEUAMM moído a temperatura ambiente; (c) PEUAMM moído a baixas temperaturas.

Ao analisar a Figura 4(a), referente a mistura realizada com o PEUAMM sem moagem, é possível observar que as partículas de PEUAMM apresentam-se em um formato arredondado, porém após serem processadas por moagem a temperatura ambiente (Figura 4b) ocorre uma alteração no seu

formato passando de arredondadas para o formato de *flakes*, isso também foi observado em outros trabalhos e foi diretamente relacionados com o fator energético destes moinhos.^{5,6}

Para a Gabriel⁵ e Mendes⁶ a formação de *flakes* está relacionado com a transformação dos cristais estáveis ortorrômbicos em cristais metaestáveis monoclinicos devido ao cisalhamento das partículas causado pela moagem, sendo que isto foi constatado através de difração de raios-X (DRX).

Além da alteração da morfologia que passou a apresentar-se na forma de *flakes*, nota-se que a moagem criogênica também promoveu a quebra das partículas de PEUAMM (Figura 4c). Na moagem criogênica houve um equilíbrio entre fragmentação de partículas e formação de *flakes*, desta forma aumentando a área de contato entre as partículas, melhorando a interação entre a matriz e a fase dispersa e conseqüentemente influenciando as propriedades mecânicas e alterando a porcentagem de cristalinidade.

Através da análise visual dos filmes prensados foi possível observar que a moagem de alta energia influenciou fortemente o aspecto das misturas, tanto na coloração como no grau da homogeneidade apresentada pelas mesmas. A Figura 5 apresenta imagens dos filmes prensados preparados por mistura manual e por moagem de alta energia.

As misturas preparadas manualmente apresentaram características de mistura heterogênea com pobre dispersão das partículas devido à baixa afinidade apresentada pela matriz polimérica de PEUAMM e o resíduo de pneu, como pode ser observado na Figura 5a. Para as misturas realizadas no moinho de alta energia em temperatura ambiente, imagem apresentada na Figura 5b, foi possível notar que houve uma alteração na coloração quando comparado a mistura manual, resultando em um filme mais liso com um aspecto mais homogêneo, devido a uma melhor dispersão das partículas de pneu, porém ainda mantendo características de uma mistura heterogênea.

Segundo Stranz¹⁰, a moagem de alta energia pode provocar a quebra das partículas e com isso a formação de macro radicais que atuam como agentes de compatibilização na mistura melhorando a dispersão das partículas. Desta forma, podemos concluir que existe a possibilidade de se utilizar a moagem de alta energia, como rota alternativa, para a preparação de misturas e compatibilização deste sistema heterogêneo.

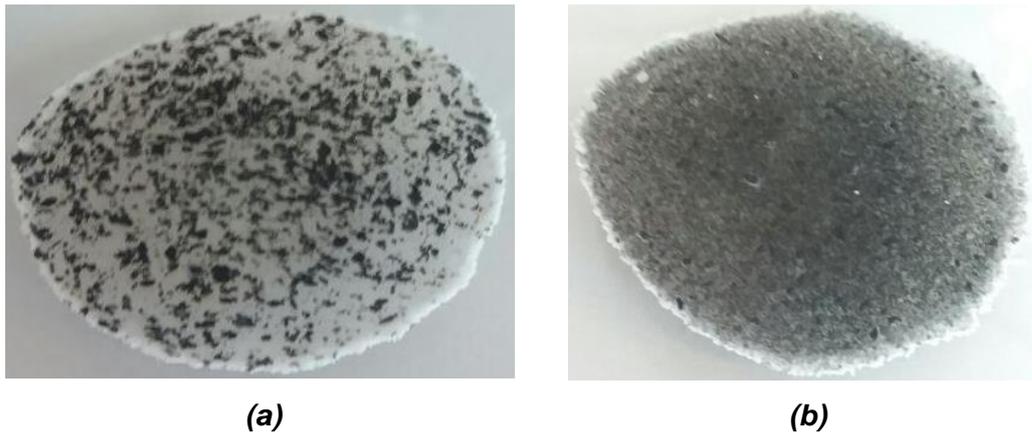


Figura 5: Filmes prensados obtidos para a mistura de PEUAMM com o 10% de resíduo de pneu com partículas <0,840mm: (a) mistura manual e (b) mistura em moinho de alta energia na temperatura ambiente.

3.3 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA POR ENSAIO DE TRAÇÃO

As curvas de tração obtidas para o PEUAMM e das misturas processadas por moagem estão apresentadas na Figura 6. O ensaio de tração não foi realizado para as misturas realizadas manualmente, pois as mesmas não apresentaram uma boa dispersão.

Observa-se que o limite de resistência à tração no escoamento e na ruptura para o PEUAMM puro, independente do tipo de moagem, é superior a todas as misturas com o pó de pneu. Isto pode estar relacionado a falta de afinidade entre os componentes gerando falha na dispersão das partículas, como foi observado na análise morfológica, e também em relação ao tamanho das partículas estarem acima do ideal verificado por outros autores como Colom¹⁶, Castro¹⁷ e Araújo¹⁸.

Em relação ao tipo de moagem foi possível observar que a moagem criogênica do PEUAMM proporcionou uma melhora na propriedade mecânica, tanto limite de resistência como capacidade de deformação, provavelmente devido a mudança do formato das partículas, de arredondadas para *flakes*, que alterou a razão de aspecto e conseqüentemente melhorando a interação entre os componentes do sistema.

Os dados referentes a esse ensaio estão descritos na Tabela 1, na qual pode-se observar uma variação nos valores referentes ao limite de resistência à tração na ruptura e na deformação na ruptura suportada por esses filmes.

Tabela 1 – Tensão máxima na ruptura (σ) e deformação máxima (ϵ) do PEUAMM e das suas misturas.

AMOSTRA	σ (N/mm ²)	ϵ (%)
PEUAMM Puro sem moagem	36,69 ± 3,35	277,93 ± 65,97

PEUAMM Puro moído temperatura ambiente	34,01 ± 1,41	237,05 ± 85,52
PEUAMM Puro moído baixas temperatura	40,93 ± 3,37	549,57 ± 85,90
Mistura de Pneu e PEUAMM sem Moagem	18,83 ± 2,65	26,97 ± 13,53
Mistura de Pneu e PEUAMM moído temperatura ambiente	17,95 ± 1,57	32,62 ± 8,29
Mistura de Pneu e PEUAMM moído baixas temperaturas	21,49 ± 3,48	69,20 ± 28,04

A moagem do PEUAMM puro em baixas temperaturas proporcionou um aumento significativo na porcentagem de deformação suportada pelo filme antes do mesmo se romper e também proporcionou um aumento no limite de resistência. A realização das misturas promoveu uma significativa diminuição na resistência suportada por esses filmes, bem como na porcentagem de deformação em relação ao PEUAMM, porém mantendo sempre uma diferença superior destes valores para a moagem realizada criogenicamente. Na moagem criogênica houve um balanceamento entre achatamento e quebra das partículas, o que pode ter gerado melhor interação entre as fases, proporcionando melhores propriedades.

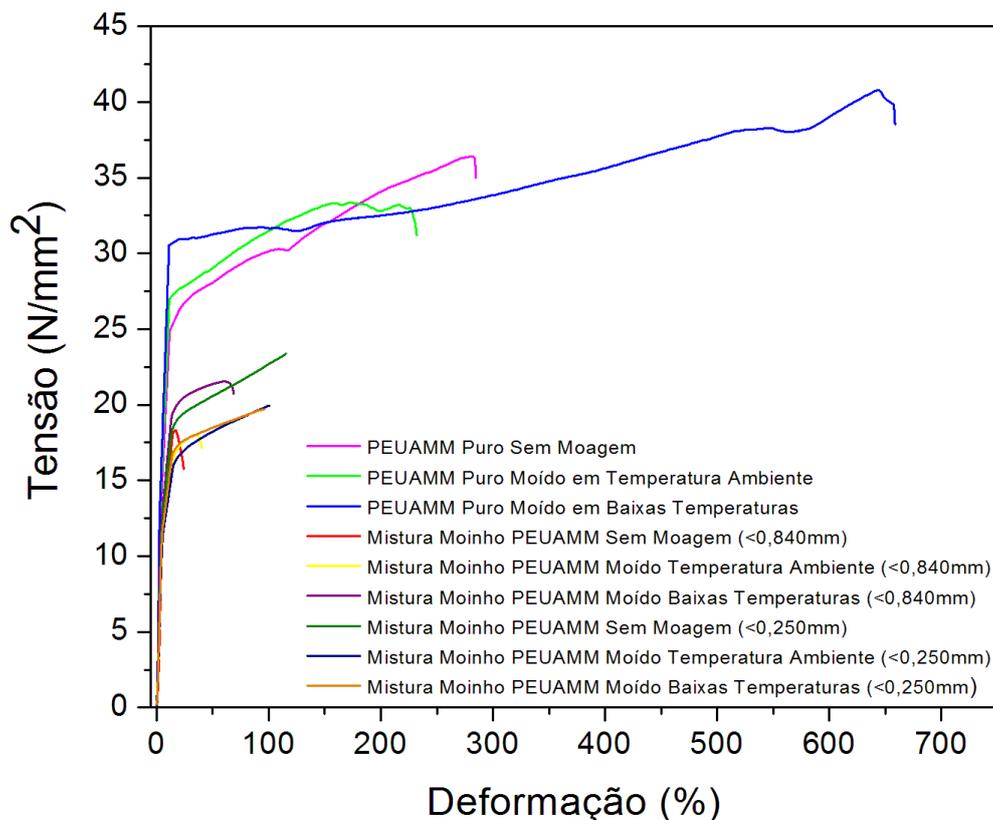


Figura 6 – Comparação do comportamento mecânico sob tração para os filmes de PEUAMM puro e de suas misturas com resíduo de pneu.

3.4 ANÁLISE POR CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

A Tabela 2 apresenta os dados obtidos da análise térmica por DSC das amostras puras e das misturas preparadas de diferentes maneiras.

Não foi possível observar alterações significativas nas temperaturas de fusão e cristalização, tanto para a forma de processar o PEUAMM (moagem a temperatura ambiente ou moagem criogênica), como na forma em que foram misturados ao resíduo de pneu (mistura manual ou mistura no moinho).

A diferença maior observada na análise térmica foi para a porcentagem de cristalinidade. Em decorrência da fragmentação das partículas verificada no MEV e uma provável quebra nos cristais, observou-se que houve redução da porcentagem de cristalinidade do PEUAMM puro em ambas as temperaturas de moagem, e que esta redução foi mais predominante em relação ao PEUAMM moído à temperatura criogênica, devido a maior fragmentação proporcionada por esta condição. Em relação as misturas com o pó de pneu podemos observar uma leve tendência de aumento da porcentagem de cristalinidade, ou seja, as partículas de pneu atuando como agente nucleante.

Tabela 2 - Porcentagem de cristalinidade e temperaturas de fusão (T_m) e cristalização (T_c) do PEUAMM e das suas misturas.

Amostra	PEUAMM sem moagem			PEUAMM moído T ambiente		
	Puro	Mistura Manual	Mistura Moinho	Puro	Mistura Manual	Mistura Moinho
T_m (°C)	133,2	132,9	132,8	132,6	132,9	133,0
T_c (°C)	112,2	115,9	112,4	113,5	112,6	113,1
Cristalinidade (%)	46,2	50,0	53,7	41,1	41,4	42,0

PEUAMM moído criogenicamente			
Amostra	Puro	Mistura Manual	Mistura Moinho
T_m (°C)	133,0	132,4	132,3
T_c (°C)	113,9	114,0	113,8
Cristalinidade (%)	36,7	45,8	56,6

4 CONCLUSÕES

A moagem de alta energia em temperatura criogênica dos resíduos de pneu mostrou-se um método muito eficaz promovendo a quebra das lascas de pneu resultando em um pó bastante fino. Foi possível constatar que a temperatura criogênica é mais eficaz em relação à temperatura ambiente, uma vez que promove a redução de tamanho de partículas de forma mais eficiente.

A moagem de alta energia, na temperatura ambiente ou em baixas temperaturas, do PEUAMM promoveu mudanças no formato das partículas que se apresentavam mais arredondadas, ficando mais achatadas adquirindo um formato de *flakes*. A moagem criogênica do PEUAMM provocou tanto o achatamento como a fragmentação das partículas, alterando a razão de aspecto, melhorando a interação entre as fases, e consequentemente as propriedades mecânicas.

Quanto ao comportamento mecânico notou-se uma influência negativa da adição do pó de pneu e uma influência positiva da realização da moagem criogênica sob o limite de resistência e porcentagem de deformação na ruptura.

Foi possível perceber que houve variação na porcentagem de cristalinidade do PEUAMM tanto devido ao tipo de moagem do PEUAMM, em decorrência das alterações morfológicas, bem como devido a adição da borracha de pneu.

REFERÊNCIAS

- 1 ANIP (Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos) – *História do Pneu*. Disponível em: < <http://www.anip.com.br> >. Acesso em: 03 de abril de 2019.
- 2 C. A. F. LAGANINHOS; J. A. S. TENÓRIO. Tecnologias Utilizadas para a Reutilização, Reciclagem e Valorização Energética de Pneus no Brasil. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. 2008, v.18, n.2, 106-118.
- 3 CONAMA Resolução n. 416 de 30 de setembro de 2009. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616> >. Acesso em: 13 de fevereiro de 2020.
- 4 C. A. F. LAGANINHOS. Reciclagem de pneus: coleta e reciclagem de pneus. Co-processamento na indústria de cimento, Petrobras SIX e pavimentação asfáltica. Dissertação (Mestrado em Tecnologia ambiental), IPT, São Paulo, 2004.
- 5 M. C. GABRIEL. Estudo do processamento de polietileno de ultra alta massa molar (PEUAMM) e polietileno glicol (PEG) por moagem de alta energia. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais), UEPG, Ponta Grossa, 2010.

- 6 L. B. MENDES. Caracterização do polietileno de ultra alta massa molar processado por moagem de alta energia. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais), UEPG, Ponta Grossa, 2010.
- 7 C. T. M. KISHIMOTO. Estudo de blendas de PP com PEUAMM processados via moldagem de alta energia. Trabalho de Conclusão de curso em Engenharia de Materiais, UEPG, Ponta Grossa, 2014.
- 8 C. A. S LIMA. Preparação de nanocompósitos de polietileno de ultra alta massa molar e montmorilonita via moagem de alta energia. Trabalho de Conclusão de curso em Engenharia de Materiais, UEPG, Ponta Grossa, 2011.
- 9 I. MATHIAS. Funcionalização do PEUAMM com anidrido maleico via moagem de alta energia. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais), UEPG, Ponta Grossa, 2010.
- 10 STRANS, M.; KOSTER, U. Structural changes during cryogenic mechanical milling of iPP/sPS blends. *Journal of Materials Science*, v. 39, p. 5275-5277, 2014.
- 11 ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM D1921–12 – Standard Test Methods for Particle Size (Sieve Analysis) of Plastic Materials.
- 12 ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM D3418 – 12 – Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry.
- 13 S. V. CANEVAROLO. Técnicas de caracterização de polímeros. São Paulo: Artliber Editora, 2004. 263 p.
- 14 D. O. CASTRO; E. FROLLINI; J. MARINI; A. RUVOLO-FILHO. Preparação e Caracterização de Biocompósitos Baseados em Fibra de Curauá, Biopolietileno de Alta Densidade (BPEAD) e Polibutadieno Líquido Hidroxilado (PBHL). *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. 2013, v.23, n.1, 65-73.
- 15 ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM D882 – 12 – Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting.
- 16 X. COLOM; J. CAÑAVATE; F. CARRILLO; J. I. VELÁSICO; P. PAGÉS, R. MÚJAL; F. NÓGUES. Structural and mechanical studies on modified reused tyres composites. *European Polymer Journal*, v. 42, p. 2369 – 2378. 2006.

17 K. C. CASTRO, A. B. SOWEK, L. A. PINHEIRO, L. A. PESSAN, S. V. CANEVAROLO. Development and Characterization of Post-consumer Rubber Tire Powder, High Density Polyethylene and Ethylene-octene-1 Copolymer Ternary Mixtures. *Polímeros*, v. 24, n. 6, p. 654-660, 2014.

18 E. M. Araújo; L. H. Carvalho; M. V. L. Fook; J. R. Almeida. Propriedades mecânicas de blendas de PS/Resíduo de borracha- influência da concentração, granulometria e método de moldagem. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, p.45-52, 1997.