

## RECICLAGEM DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS): UM PROCESSO AMBIENTALMENTE FAVORÁVEL PARA A RECUPERAÇÃO DO POLIESTIRENO (PS) USANDO ÓLEO DE SOJA RESIDUAL

M. F. B. DA SILVA, A. DE CAMPOS, D. C. FERREIRA, V. C. ROCHA, D. A. LEMOS, J. C. S. I. GONÇALVES, C. POLETO, M. S. DA LUZ\*

Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1226-9480>\*

[mario.luz@uftm.edu.br](mailto:mario.luz@uftm.edu.br)\*

Submitted October 27, 2023 - Accepted December 1, 2023

DOI: 10.15628/holos.2023.16351

### RESUMO

O presente trabalho apresenta um método simples para a reciclagem de resíduos de poliestireno expandido (EPS), utilizando óleo de soja residual (WCSO). O processo de recuperação de poliestireno combina a dissolução de EPS em D-limoneno com sua posterior separação e mistura com WCSO. As propriedades químicas, térmicas e morfológicas do material obtido foram caracterizadas pelas técnicas de Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), Análise Termogravimétrica (TGA), Difração de Raios X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). As

características do poliestireno recuperado apresentaram alta similaridade com o poliestireno padrão (PS), o que sugere baixa contaminação por outros materiais. A grande vantagem deste método de reciclagem é que nos permite obter PS em estado sólido à temperatura ambiente, sem necessidade de aquecimento, ao contrário de outros métodos de reciclagem de EPS relatados. Os resultados são promissores e apontam para um processo viável e simples de reciclagem de EPS, oferecendo diversos benefícios ambientais.

**KEYWORDS:** Valorização de resíduos poliméricos, Gestão de Resíduos, Poliestireno.

## EXPANDED POLYSTYRENE (EPS) RECYCLING: AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PROCESS TO RECOVER DISSOLVED POLYSTYRENE (PS) USING WASTE COOKING SOYBEAN OIL

### ABSTRACT

The current work presents a simple method for recycling waste expanded polystyrene (EPS), using waste cooking soybean oil (WCSO). The process of polystyrene recovery combines dissolving of EPS in D-limonene with further separation and mixture with WCSO. The chemical, thermal, and morphological properties of the obtained material were characterized by the techniques; Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Thermogravimetric Analysis (TGA), X Ray diffraction (XRD), and Scanning Electron Microscopy (SEM). The

characteristics of the recovered polystyrene presented high similarity with standard polystyrene (PS), which suggests low contamination by other materials. The great advantage of this recycling method is that it allows the obtention of PS in a solid state at room temperature, without the need for heat, in contrast to other reported EPS recycling methods. The results are promising and point to a viable and simple process of recycling EPS, which offers several environmental benefits.

**Palavras chave:** Polymer waste valorization, Waste Management, Polystyrene.

## 1 INTRODUÇÃO

O poliestireno expandido (EPS) é um polímero utilizado mundialmente, porém seu uso extensivo tem gerado um problema de descarte devido ao alto volume ocupado e ao tempo que leva para se decompor naturalmente. Frente a isso, a reciclagem é sempre uma alternativa viável para um correto manejo de resíduos produzidos pela sociedade moderna (Lima et al., 2021). Na verdade, a gestão de resíduos de EPS envolve certas dificuldades; a baixa relação massa/volume dos resíduos de EPS leva a um elevado custo de transporte e armazenamento, o que desencoraja o interesse na sua reciclagem. O aterro e a incineração de EPS são os dois métodos mais comuns de descarte desses resíduos (Pol, 2010). Porém, os aterros sanitários são de alto custo e o processo de incineração tem alto consumo de energia e libera gases potencialmente tóxicos. Diante disso, são necessários métodos alternativos de reciclagem de resíduos de EPS.

Diversas técnicas para reciclar resíduos de EPS já foram propostas. Por exemplo, a despolimerização, denominada reciclagem química, baseia-se na decomposição química do EPS para produzir produtos de baixo peso molecular (Manrich e Santos, 2009). Este método pode reduzir o volume de plástico que vai para aterros e produzir matérias-primas de alta qualidade, diminuindo a procura de combustíveis fósseis e outros recursos naturais. Infelizmente, o processo de reciclagem química pode produzir grandes emissões de gases de efeito estufa, o que representa um risco climático (Brandrup, 2006). Na reciclagem mecânica, os resíduos de polímeros são triturados mecanicamente em grânulos que podem ser usados para fabricar novos produtos. Este método mantém a estrutura molecular e consome menos energia do que a reciclagem química, sem usar produtos químicos tóxicos. A principal desvantagem deste método é que os plásticos não são infinitamente recicláveis mecanicamente (Brandrup, 2006). A reciclagem energética ocorre quando os resíduos de polímeros são incinerados para produzir calor, que é útil de várias maneiras, como na produção de eletricidade. No entanto, a instalação de um sistema de incineração é um processo dispendioso e o fumo produzido durante a incineração de polímeros inclui gases ácidos, dioxinas cancerígenas, partículas, metais pesados e óxidos (Brandrup, 2006). Além disso, os resíduos de EPS têm sido comumente reciclados e adicionados a outros materiais, tais como: compósitos plásticos de madeira feitos de espuma de poliestireno pós-utilizada (Koay et al., 2018); compósitos plásticos de madeira feitos de embalagens de poliestireno dissolvido pós-utilizadas (Agoua et al., 2013); compósitos de madeira-plástico utilizando poliestireno expandido reciclado e farinha de madeira (Poletto, 2011); o desenvolvimento de compósitos de casca de arroz e plástico para materiais de construção (Choi et al., 2006); compósitos feitos de pó de cimento e resíduos de poliestireno que podem ser utilizados como materiais de construção civil (Asaad e Tawfik, 2011); resíduos de espuma de poliestireno reciclada que podem ser utilizados para produzir o enchimento em concreto (Laukautis et al., 2005); material compósito para construção de casas populares, à base de isopor (poliestireno) e gesso (Macedo et al., 2011); utilização de resíduos de poliestireno expandido na criação de tintas impermeabilizantes (Bellon et al., 2019); recuperação e incorporação de resíduos sólidos de poliestireno expandido em concreto leve (Espinoza-Merchan et al., 2020); produção de concreto leve de resistência múltipla contendo esferas de polietileno expandido (Sadrumontazi et al., 2012); e um compósito de poliestireno/concreto como material

isolante térmico estrutural (Makhmud e Alexander, 2017). No entanto, nenhum destes materiais finais são amplamente utilizados, principalmente porque não são economicamente rentáveis.

Para tornar o processo de reciclagem mais atrativo, os resíduos de EPS foram dissolvidos por solventes orgânicos para reduzir o seu volume, economizando custos de transporte e armazenamento. Os solventes amplamente utilizados incluem: etanol (Bellon et al., 2019); limoneno (Garcia et al., 2009; Gutiérrez et al., 2012; Gutiérrez et al., 2014; Yi-Bo Zhao et al., 2018; Bellon et al., 2019; Jimenez-Francisco et al., 2020), acetona (Yi-Bo Zhao et al., 2018; Bellon et al., 2019), metanol (Yi-Bo Zhao et al., 2018), acetato de etila (Yi-Bo Zhao et al., 2018), benzeno (Yi-Bo Zhao et al., 2018), clorofórmio (Yi-Bo Zhao et al., 2018), ciclohexano (Yi-Bo Zhao et al., 2018), Cymene (Garcia et al., 2009), Felandreno (Garcia et al., 2009), estireno (Mumbach et al., 2020), eucalipto (Garcia et al., 2009; Gil-Jasso et al., 2019), anis estrelado (Gil-Jasso et al., 2019), tomilho (Gil-Jasso et al., 2019), camomila (Gil-Jasso et al., 2019) e tolueno (Singhal et al., 2019). Infelizmente, a maioria desses processos é ambientalmente prejudicial porque os solventes mais comumente usados são tóxicos, como tolueno, acetona, acetato de etila, benzeno, clorofórmio e ciclohexano (Yi-Bo Zhao et al., 2018; Bellon et al., 2019; Singhal et al., 2019). Em contraste, processos de dissolução utilizando solventes naturais e não tóxicos são frequentemente relatados (Garcia et al., 2009; Bellon et al., 2019; Gil-Jasso et al., 2019; Jimenez-Francisco et al., 2020). Um deles, o D-limoneno (hidrocarboneto classificado como terpeno) foi relatado como um solvente natural atraente para a dissolução de resíduos de EPS (Garcia et al., 2009; Bellon et al., 2019; Jimenez-Francisco et al., 2020). Este solvente é um óleo essencial, obtido da casca de laranja ou limão como subproduto da fabricação de suco. O D-Limoneno é geralmente reconhecido como uma substância não tóxica, e algumas vantagens de seu uso para dissolver resíduos de EPS incluem: (i) Este processo não produz qualquer degradação das cadeias poliméricas (Gil-Jasso et al., 2019); (ii) Após o processo de dissolução, o poliestireno pode ser recuperado (Gutiérrez et al., 2012; Gutiérrez et al., 2014; Gil-Jasso et al., 2019); e (iii) O solvente também pode ser recuperado e reutilizado para dissolver um novo lote de resíduos de EPS (Gil-Jasso et al., 2019). Com base nesses fatores, o processo de dissolução de EPS em D-limoneno tem sido utilizado como etapa primária na reciclagem de polímeros. O presente trabalho é um exemplo de como o EPS dissolvido e o óleo residual de soja de cozinha (WCSO), quando combinados, dão origem a um novo material que pode ser utilizado em diversas aplicações. Sarmiento et al. também mostram que o poliestireno expandido e o óleo de cozinha usado podem ser usados para produzir EPS reciclado com potencial uso como material de construção (Sarmiento et al., 2016).

Em particular, o óleo de soja é um importante produto comercial, representando aproximadamente 30% do total de óleos vegetais produzidos no mundo, e atualmente é utilizado para o preparo de alimentos (Gunstone, 2002). Neste contexto, o óleo de soja residual de cozinha (WCSO) refere-se a um óleo que foi utilizado para fritar e já não pode ser utilizado para os mesmos fins. O descarte incorreto de WCSO pode causar diversos problemas ambientais (Gunstone, 2002). Quando o WCSO é descarregado diretamente em afluentes de água, pode formar uma camada superficial de óleo que reduz a difusão de oxigênio na fonte de água, causando danos aos ecossistemas aquáticos. É bem sabido que apenas 1 L de óleo pode contaminar 1000 L de água potável e, por esta razão, aplicações que incluam a utilização deste resíduo são bem-vindas para minimizar a poluição da WCSO.

Corroborando com o exposto, o presente trabalho parte da ideia de que os problemas ambientais causados pelo descarte incorreto de EPS e WCSO podem ser mitigados quando ambos são reciclados e combinados para recuperar o poliestireno (PS).

## 2 MATERIAIS E MÉTODO

Neste estudo foram utilizados resíduos comerciais de embalagens de EPS. A matéria-prima foi triturada em pequenos pellets para produzir um material homogêneo (o tamanho médio das partículas foi de aproximadamente 4 mm). O solvente D-limoneno, com 99% de pureza, foi adquirido em loja local, Óleos Essenciais<sup>®</sup>, e utilizado sem purificação adicional.

Para os experimentos de dissolução, 50 ml de D-limoneno e 15 g de EPS foram colocados em um béquer e em seguida a mistura foi agitada (~15 minutos) até sua completa dissolução. Esta proporção (EPS/D-limoneno) foi determinada em experiências preliminares de dissolução. Todas as experiências foram realizadas à temperatura ambiente. Após a dissolução completa, a mistura foi cuidadosamente transferida para um funil de separação onde o poliestireno dissolvido foi separado do D-limoneno, após deixar a mistura precipitar durante a noite. Posteriormente, a camada inferior (D-limoneno) foi drenada e a pasta (camada superior - poliestireno) foi combinada com óleo de soja residual de cozinha (WCSO) para produzir um material polimérico sólido.

Os resíduos de óleo de soja de cozinha foram coletados em domicílios e vendedores ambulantes localizados na cidade de Uberaba, Brasil. Após a coleta, o WCSO foi filtrado apenas em papel filtro (Whatsman 41 tamanho 20-25 microns) para remoção de restos de alimentos. O poliestireno foi recuperado simplesmente misturando volumes iguais de reagentes (poliestireno dissolvido e WCSO) à temperatura ambiente. Após agitação durante um minuto, precipitou um sólido. Por fim, esse sólido foi pressionado entre camadas de papel toalha, para retirar o máximo de excesso de óleo, e deixado secar em temperatura ambiente.

As propriedades químicas, térmicas e morfológicas do material obtido foram caracterizadas pelas técnicas: Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR, Cary 660 da Agilent Instruments), Análise Termogravimétrica (TGA), Difração de Raios X com radiação Cu K $\alpha$  com passos de 1 grau (Theta)/min (Shimadzu modelo 6100), e Microscopia Eletrônica de Varredura utilizando o modo de elétrons retroespalhados (SEM modelo LEO 1450VP).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

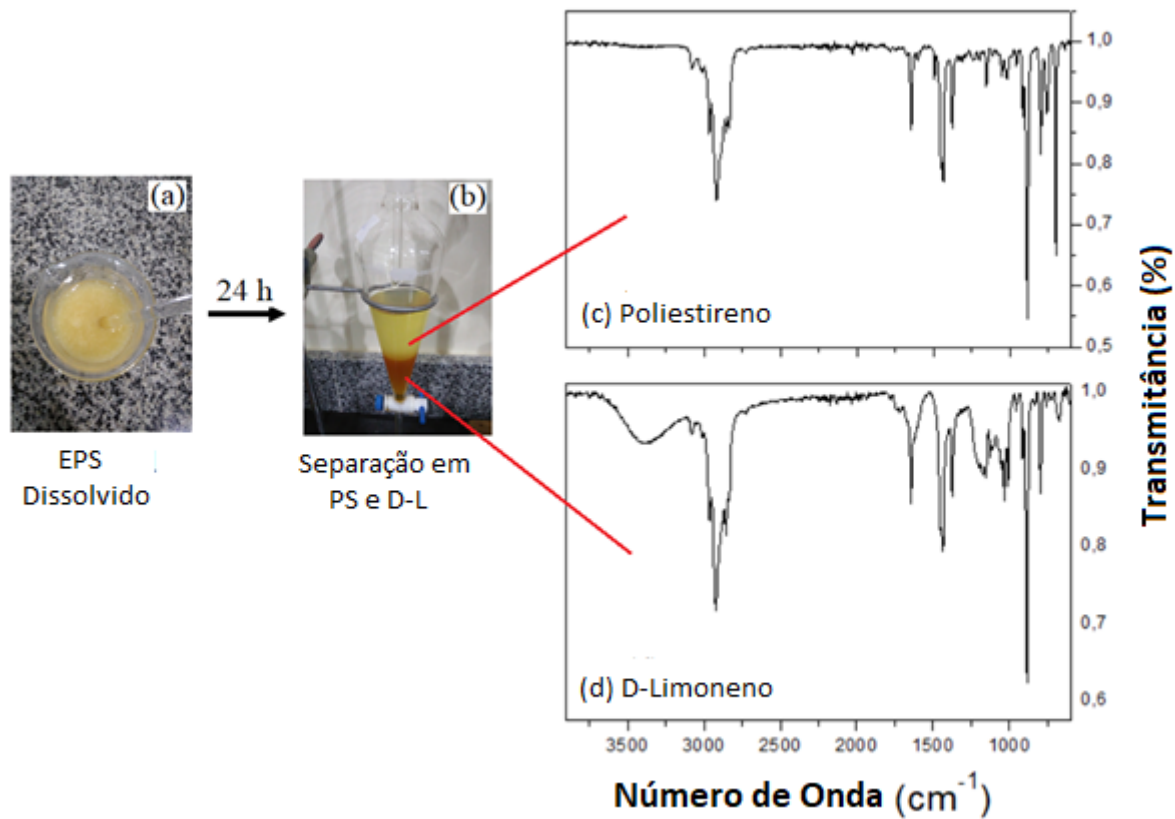


Figura 1: a) Dissolução de EPS à temperatura ambiente por D-limoneno, b) Separação das fases em poliestireno dissolvido e D-limoneno, após 48 h, c) Espectros de FTIR do poliestireno dissolvido e, c) Espectros de FTIR do D-limoneno.

Conforme mencionado anteriormente, os ensaios de dissolução foram realizados em um béquer, onde os resíduos triturados de EPS foram imersos em D-limoneno à temperatura ambiente, ver figura 1 (a). A Figura 1(b) mostra o processo de separação entre poliestireno dissolvido (camada superior) e D-limoneno (camada inferior), após 48h. Este procedimento permitiu a recuperação tanto do D-limoneno, que foi drenado, quanto do poliestireno dissolvido. Todos os componentes resultantes da separação foram analisados por espectroscopia FTIR (Fig. 1 (c): Poliestireno e Fig. 1 (d): D-limoneno).

A Figura 1 (c) mostra os espectros de absorção infravermelha do poliestireno dissolvido. Existem vários picos de absorção dentro da faixa de número de onda envolvida, semelhantes aos relatados anteriormente para o poliestireno padrão (Al-Kadhemy et al., 2016; Vardhan e Shukla, 2018). O pico em  $3082\text{ cm}^{-1}$  corresponde às vibrações de estiramento C – H do hidrogênio do anel. As bandas de absorção em torno de 2800 e 3000 são devidas a vibrações alifáticas de estiramento CH. Especificamente, o pico em  $2854\text{ cm}^{-1}$  corresponde a um C – H aromático. A absorção em  $1643\text{ cm}^{-1}$  está relacionada ao estiramento CC. Os dois picos em  $1492$  e  $1600\text{ cm}^{-1}$  são atribuídos ao alongamento C=C aromático. Na região de  $1300$  a  $1380\text{ cm}^{-1}$ , o pico observado em  $1376\text{ cm}^{-1}$  corresponde à curvatura do  $\text{CH}_2$  aromático. Além disso, os picos localizados em torno de  $650$  a  $1250\text{ cm}^{-1}$  correspondem à deformação C – H.

A Figura 1(d) mostra os espectros de absorção no infravermelho do D-limoneno recuperado, que é semelhante ao espectro do D-limoneno bruto, antes do processo de dissolução. A banda de absorção larga em aproximadamente  $3300\text{ cm}^{-1}$  está relacionada ao estiramento do grupo hidroxila. As intensas absorções que aparecem em torno de  $3000\text{--}2850\text{ cm}^{-1}$  são atribuídas à vibração C-H, ligação de metileno. O pico em  $1645\text{ cm}^{-1}$  está relacionado ao estiramento das ligações duplas, C=C, que está presente nas posições endocíclica e exocíclica da estrutura do D-limoneno. Os picos entre  $1480\text{--}1350\text{ cm}^{-1}$  estão associados à deformação da ligação C-H pertencente aos grupos alquila. O pico em  $1050\text{ cm}^{-1}$  é atribuído à flexão das ligações =C-H, e em  $887\text{ cm}^{-1}$  é atribuído a =C-H. Na região entre  $3200$  e  $3500\text{ cm}^{-1}$ , o pico de alargamento é atribuído à vibração O-H, provavelmente devido à água na solução de D-limoneno. É importante mencionar que, com base em nossos experimentos e relatos anteriores (Gil-Jasso et al.). O L-limoneno recuperado pode ser usado novamente em outros processos de dissolução, com a mesma eficiência que o D-limoneno bruto.

Quando o poliestireno e o WCSO dissolvido são misturados, em proporções iguais de volume, um sólido polímero é precipitado. O aglomerado em massa na parte inferior do copo foi facilmente removido e limpo. A Figura 2 ilustra a sequência de reação, mostrando a massa de polímero de cor âmbar leve e o material de resíduo de reação. Sarmiento e colegas também usaram óleo de cozinha residual para reciclagem de EPS. No entanto, nesse estudo, o petróleo foi usado como solvente, com o EPS dissolvido a  $165^\circ\text{ C}$  e depois recuperado (Sarmiento et al., 2016). Ao contrário disso, o trabalho atual apresenta um processo realizado à temperatura ambiente. Nesse contexto, a reciclagem de EPS dissolvida com WCSO pode reduzir o requisito de energia e é econômico.

Após a precipitação do PS (Figura 1), este está na forma de pasta porque uma pequena quantidade de D-limoneno continua a dissolver os aglomerados de PS. Quando essa mistura é colocada em contato com o WCSO, este é dissolvido pelo D-limoneno residual, liberando o PS, que se torna um agregado sólido. Portanto, o WCSO atua como um antisolvente quando é adicionado à mistura D-limoneno/ps. Observamos que o WCSO exibe uma solubilidade aceitável no D-limoneno em condições de trabalho moderadas, enquanto PS sólido é geralmente insolúvel no WCSO. Assim, a adição de óleo de fritura de soja induz a supersaturação e a precipitação do polímero devido à dissolução do limoneno na WCSO. De fato, seu uso para a separação de fases de polímeros foi amplamente relatado na literatura, especialmente usando dióxido de carbono como um não solvente, e inúmeras técnicas foram desenvolvidas nos últimos anos (Campardelli et al., 2014; Gutiérrez et al., 2016). Com base nisso, o WCSO se destaca como um material em potencial a ser usado como um antisolvente líquido em outros processos de produção de polímeros.

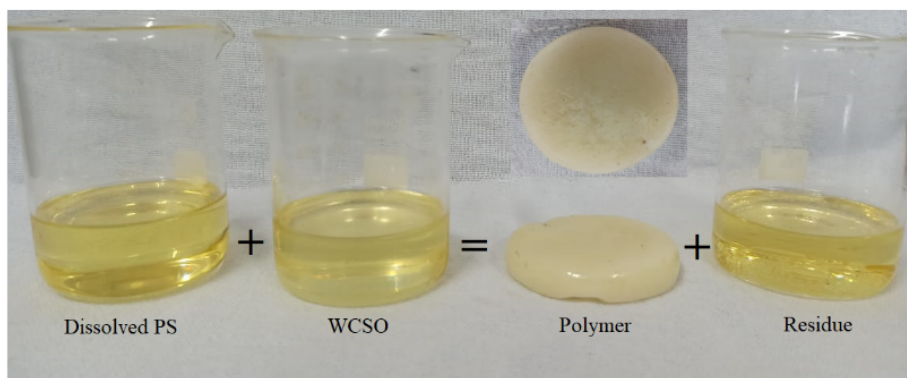


Figura 2: Representação esquemática da recuperação do PS, mostrando a massa polimérica de cor âmbar claro e o resíduo da reação ou material que não reagiu.

Para confirmar a composição do polímero reciclado e do resíduo, foram realizadas medições de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (Fig. 3). O espectro FTIR para o polímero recuperado, figura 3(a), é idêntico ao mostrado na Figura 2(c), indicando que o produto é poliestireno. Um pico extra pode ser observado em aproximadamente  $1745\text{ cm}^{-1}$  (ver seta vermelha) que está relacionado à contaminação do resíduo de polimerização. A contaminação é basicamente uma mistura com uma pequena fração de D-limoneno dissolvido. Há aproximadamente 2,0% em peso de WCSO+D-limoneno superficial no material final. A contaminação pode ser removida simplesmente apertando o material entre folhas de papel. Estes resultados indicam que o polímero final pode ser aplicado posteriormente, uma vez que não há teor significativo de gordura superficial. Porém, para isso, é necessário medir diversas propriedades no PS final, como propriedades mecânicas, químicas e físicas. Como esperado, o espectro de FTIR ilustrado na Figura 3 (b) é bastante semelhante ao relatado para o óleo de soja residual de cozinha (WCSO) (Laskar et al., 2018; Rafati et al., 2018). Os picos de absorção em 2921, 2854, 1745 e  $1155\text{ cm}^{-1}$  são devidos aos triglicerídeos, que são componentes básicos dos óleos de cozinha (Laskar et al., 2018; Rafati et al., 2018). As absorções em 2921 e  $2854\text{ cm}^{-1}$  estão relacionadas a vibrações de estiramento assimétrico de C-H e as absorções em 1745 e  $1155\text{ cm}^{-1}$  são devidas ao estiramento da ligação C=O e  $-\text{CH}_2-$ , respectivamente. Como pode ser observado, este espectro contém um número significativo de picos, principalmente na região entre 1750 e  $700\text{ cm}^{-1}$ . Para melhor compreensão, os grupos funcionais e modos de vibração associados às absorções estão ilustrados na Figura 3 (b) (Laskar et al., 2018; Rafati et al., 2018). Na figura 2 é possível observar que o óleo de soja mudou de cor após o processo de solidificação do polímero, o que sugere oxidação do óleo durante esse processo (Komoda et al., 1966).

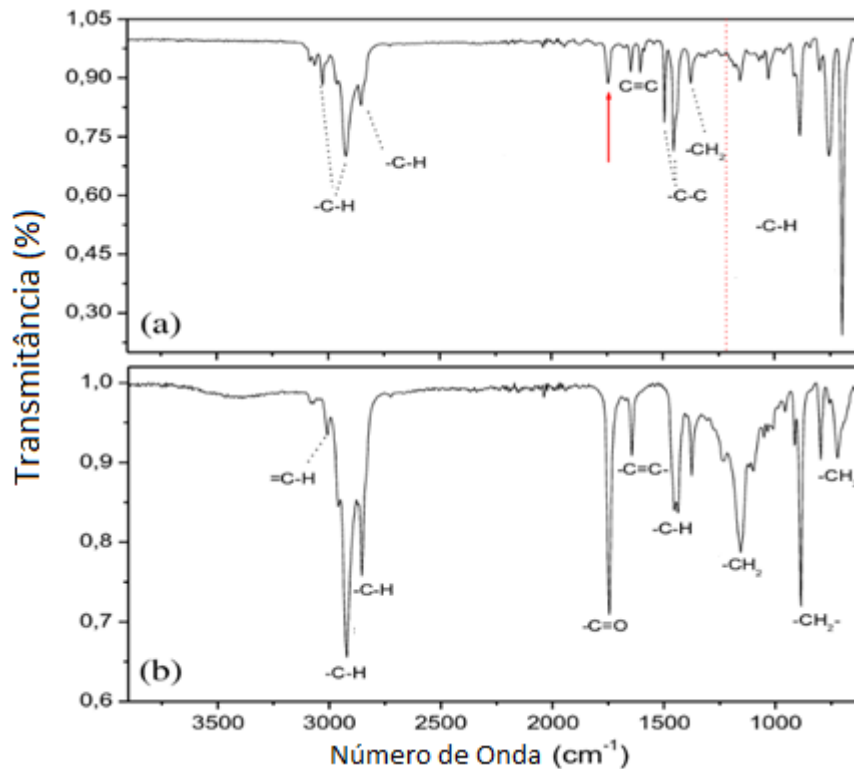


Figura 3: Medições de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier: (a) polímero reciclado e (b) resíduo.

Com foco no material polimérico, a Figura 4 apresenta a difração de raios X (DRX) para o EPS recuperado. O padrão de XRD mostra um pico proeminente observado em  $2\theta = 19,65^\circ$ , sugerindo que o poliestireno possui certa cristalinidade (JunFei et al., 2010; Wankasi e Dikio, 2014). O poliestireno recuperado possui uma superfície rugosa, conforme mostrado pela imagem SEM na inserção da Figura 4. Esta morfologia superficial pode ser uma característica de processos de solidificação não controlados. É bem conhecido que quando um polímero solidifica, pode reter uma estrutura amorfa, cristalizar completamente ou tornar-se semicristalino.

A Figura 5 apresenta as curvas TGA do EPS recuperado. EPS recuperado apresenta uma inflexão próxima a  $163^\circ\text{C}$  ( $T_i$ ); esta temperatura corresponde à perda de peso inicial (perda de componentes voláteis). Além disso, apresenta uma temperatura de decomposição com perda de peso de 50% a aproximadamente  $412^\circ\text{C}$  (relacionada à degradação das cadeias de PS). Finalmente, o EPS recuperado apresenta temperaturas máximas de decomposição ( $T_{max}$ )  $\sim 576^\circ\text{C}$  (degradação total). A perda de peso antes do  $T_i$  é devida à decomposição residual. A degradação incompleta do PS sólido após  $\sim 450^\circ\text{C}$  sugere a existência de impurezas, provavelmente impurezas WCSO decorrentes dos processos de fritura.



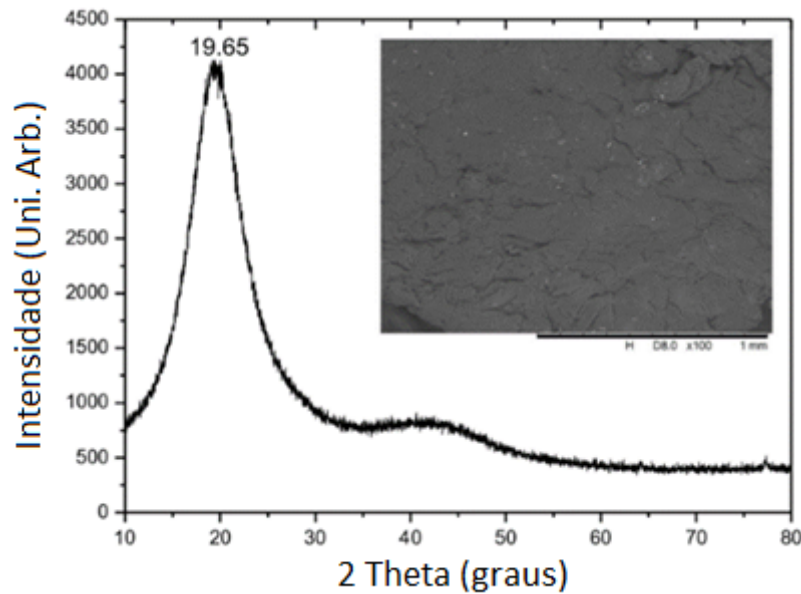


Figura 4: Representação esquemática da recuperação do PS, mostrando a massa polimérica de cor âmbar claro e o resíduo da reação ou material que não reagiu.

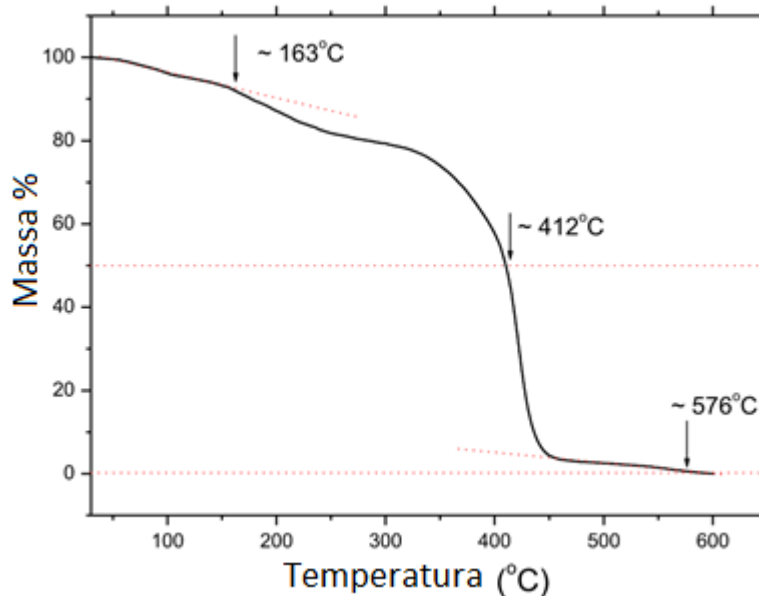


Figura 4: TGA do poliestireno recuperado.

Os resultados, apresentados nesta seção, demonstram que é possível recuperar PS a partir de resíduos de EPS, porém, mais trabalhos são necessários para definir as propriedades e aplicações do polímero reciclado. Além disso, o WCSO se destaca como um material potencial para ser utilizado como antissolvente líquido em outros processos de produção de polímeros.

#### 4 CONCLUSÃO

O presente trabalho parte da ideia de que resíduos de poliestireno expandido podem ser dissolvidos em D-limoneno e recuperados a partir de óleo de soja residual de cozinha (WCSO), para

produzir um novo produto à base de poliestireno. O polímero obtido era macio e maleável, tornando-o um possível candidato como aditivo renovável em diversas aplicações. Além disso, foi realizada recuperação de solventes para tornar o processo mais sustentável. O processo ecológico, realizado inteiramente à temperatura ambiente, abre uma nova abordagem sustentável e verde para a reciclagem e recuperação de resíduos de poliestireno. Evitando qualquer etapa de aquecimento, que pode ser de alto custo, este processo atende aos desafios financeiros inerentes a qualquer aplicação industrial.

## 5 ACKNOWLEDGMENTS

Este trabalho conta com apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## 6 REFERÊNCIAS

- Agoua, E.; Allognon-Houessou, E.; Adjovic E.; Togbedji, B. (2013). Thermal conductivity of composites made of wastes of wood and expanded polystyrene. *Constr. Build. Mater*, 41, pp.557–562. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.016>
- Al-Kadhemy, M. F. H.; Rasheed, Z. S.; Sali, S. R. (2016). Fourier transform infrared spectroscopy for irradiation coumarin doped polystyrene polymer films by alpha ray. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9, pp. 321-331. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2016.02.004>
- Asaad, J.; Tawfik, S. (2011). Polymeric composites based on polystyrene and cement dust wastes. *Mater. Des.*, 32, pp. 5113–5119. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.06.010>
- Bellon, D.; Zamudio, W. H.; Tiria, L. C.; Durán, S. M.; Useche, I. E.; and Peña, J. (2019). Effect of expanded polystyrene waste in the creation of waterproofing paint. *Journal of Physics: Conference Series*, 1386, pp. 012075. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1386/1/012075>
- Brandrup, J. In: Menges G. (1996), editor. *Recycling and recovery of plastics*. Munich: Hanser.
- Campardelli, R.; Oleandroa, E.; Adami, R.; Reverchon, E. (2014). Polymethylmethacrylate (PMMA) sub-microparticles produced by Supercritical Assisted Injection in a Liquid Antisolvent. *The Journal of Supercritical Fluids*, 92, pp. 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.05.012>
- Choi, N.; Mori, I.; Ohama, Y. (2006). Development of rice husks-plastics composites for building materials. *Waste Manag*, 26, pp. 189–194. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.05.008>
- Espinoza-Merchan M.P., Torres-Parra L.J., Rojas-Arias N., Cocha-Vesga P.N. (2020). Recovery and Incorporation of expanded polystyrene Solid Waste in Lightweight Concrete. *Ingeniería*, 25, pp. 237-249. <https://doi.org/10.14483/23448393.15681>

- Garcia, M. T.; Gema, D.; Ignacio, G.; Antonio, L.; Juan, F. R. (2009). Recycling extruded polystyrene by dissolution with suitable solvents. *J Mater. Cycles Waste Manag*, 11, pp. 2-5. <https://doi.org/10.1007/s10163-008-0210-8>
- Gil-Jasso, N. D.; Segura-Gonzalez, M. A.; Soriano-Giles, G.; Neri-Hipolito, J.; Lopez, N.; Mas-Hernandez, E.; Barrera-Diaz, C. E.; Varela-Guerrero, V.; Ballesteros-Rivas, M. F. (2019). Dissolution and recovery of waste expanded polystyrene using alternative essential oils. *Fuel*; 239, pp. 611-616. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.11.055>
- Gunstone, F. D. (2002). *Vegetable oils in food technology. Composition, properties and uses*, 1st edn. CRC Press LLC, Florida.
- Gutiérrez, C.; García, M. T.; Gracia, I.; de Lucas, A.; Rodríguez, J. F. (2012). Recycling of extruded polystyrene wastes by dissolution and supercritical CO<sub>2</sub> technology. *J Mater Cycles Waste Manag*, 14, pp. 308–316. <https://doi.org/10.1007/s10163-012-0074-9>
- Gutiérrez, C.; Rodríguez, J.; Gracia, I.; De Lucas, A.; García, M. T. (2014). Preparation and characterization of polystyrene foams from limonene solutions. *J Supercrit Fluids*, 88, p.92–104. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.02.002>
- Gutiérrez, C.; Rodríguez, J.; Gracia, I.; De Lucas, A.; García, M. T. (2016). Optimization of a High Pressure CO<sub>2</sub> Antisolvent Process for the Recycling of Polystyrene Wastes. *Polymer-Plastic Technology and Engineering*, 55, pp. 335-342. <https://doi.org/10.1080/03602559.2015.1098676>
- Jimenez-Francisco, M.; Flores-Johnson, E. A.; Carrillo, J. G. (2020). Effect of Recycled Polystyrene/Limonene Coating on the Mechanical Properties of Kraft Paper: A Comparative Study with Commercial Coatings *Journal of Polymers and the Environment*, 28, pp. 1724–1736. <https://doi-org.ez33.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10924-020-01721-y>
- JunFei, f.; YiMin, X.; Qiang, L. I. (2010) Preparation of polystyrene spheres in different particle sizes and assembly of the PS colloidal crystals. *Sci China Tech Sci*, 53, pp. 3088–3093. <https://doi.org/10.1007/s11431-010-4110-5>
- Koay, S. C.; Varnesh, S.; Chan, M. Y.; Pang, M. M.; Chantara, T.R.; Tshai, K. Y.; and Cheah, K. H. (2018). Wood plastic composites made from post-used polystyrene foam and agricultural waste. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 32, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1177/0892705718799836>
- Komoda, M.; Onuki, N.; and Harada, I. (1966). Studies on Cause of Color Reversion of Edible Soybean Oil and its Prevention. *Agr. Biol. Chem.*, 30, pp. 906-912. <https://doi.org/10.1080/00021369.1966.10858698>
- Laskar, I. B.; Rajkumari, K.; Gupta, R.; Chatterjee, S.; Paul, B.; and Rokhum, L. (2018). Waste snail shell derived heterogeneous catalyst for biodiesel production by the transesterification of soybean oil. *RSC Adv.* 8, pp. 20131. <https://doi.org/10.1039/C8RA02397B>

- Laukautis, A.; Zurauskas, R.; Keriene, J. (2005). The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties. *Cem. Concr. Composite*, 27, pp. 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2003.09.004>
- Lima, C. E.; Amorim, E. F.; Oliveira, H. da S.; de Moura, L. F. (2021). Dosage of asphalt concrete using civil construction wastes to application in road pavement. *Holos*, 1, pp. 1-18. <https://doi:10.15628/holos.2021.9576>
- Macedo, M. C.; SOUZA, L.G.M.; GOMES, I. R.B.; MEDEIROS, L.C. (2011). Composite gypsum and Styrofoam for construction of popular houses. *Holos*, 5, pp. 95-105. <https://doi.org/10.15628/holos.2011.658>
- Makhmud, K.; Alexander, P. S. (2017). Polystyrene concrete as the structural thermal insulating material. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 4(1), pp. 40-45. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2017.010.007>
- Manrich, S.; Santos, A. (2009). *Plastic Recycling*. Nova Science Publishers, New York.
- Mumbach, G. D.; Bolzan, A.; Machado, R. A. F. (2020). A closed-loop process design for recycling expanded polystyrene waste by dissolution and polymerization. *Polymer*, 209, pp. 122940. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2020.122940>
- Pol, V. G. (2010). Upcycling: converting waste plastics into paramagnetic, conducting, solid, pure carbon microspheres. *Environ. Sci. Technol*, 44, pp. 4753–4759. <https://doi.org/10.1021/es100243u>
- Poletto, M.; Dettenborn J.; Zeni M.; Zattera, (2011). A. Characterization of composites based on expanded polystyrene wastes and wood flour. *Waste Manag*, 31, pp. 779–784. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.10.027>
- Rafati, A.; Tahvildari, K.; Nozari, M. (2018). Production of biodiesel by electrolysis method from waste cooking oil using heterogeneous MgO-NaOH nano catalyst. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 41, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1539139>
- Sadrumontazi, A.; Sobhani, B.; Mirgozar, M. A.; Najimia, M. (2012). Properties of multi-strength grade EPS concrete containing silica fume and rice husk ash. *Construction and Building Materials*, 35, pp. 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.049>
- Sarmiento, A. M.; Guzmán, H. L.; Morales, G.; Romero, D. E.; Pataquiva-Mateus, A. Y. (2016). Expanded Polystyrene (EPS) and Waste Cooking Oil (WCO): From Urban Wastes to Potential Material of Construction. *Waste Biomass Valor*, 7, pp. 1245–1254. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9511-7>

- Singhal, R.; Ishita, I.; Sow, P. K. (2019). Integrated Polymer Dissolution and Solution Blow Spinning Coupled with Solvent Recovery for Expanded Polystyrene Recycling. *Journal of Polymers and the Environment*, 27, pp. 12(40-1251. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01427-w>
- Vardhan, P. V.; Shukla, L. I. (2018). T-IR investigations on effect of high doses of gamma radiation induced damage to polystyrene and mechanism of formation of radiolysis products. *Radiation and Environmental Biophysics*, 57, pp. 301–310 <https://doi.org/10.1007/s00411-018-0740-y>
- Wankasi, D.; and Dikio, E. D. (2014). Comparative Study of Polystyrene and Polymethylmethacrylate Wastes as Adsorbents for Sorption of Pb<sup>2+</sup> from Aqueous Solution. *Asian J. Chem.*, 26, pp. 8295-8302. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2014.16809>
- Yi-Bo Zhao, Xu-Dong Lv, Hong-Gang N. (2018). Solvent-based separation and recycling of waste plastics: A review. *Chemosphere*, 209, pp. 707-720. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.095>

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Luz, M. S. da, Borges, M. F., Campos, A. de, Carneiro Ferreira, D. ., Carvalho Rocha, V. ., Souza Inácio Gonçalves, J. C., ... Poletto, C. . Reciclagem de Poliestireno Expandido (EPS) Recycling: Um processo ambientalmente favorável para a recuperação do poliestireno (PS) usando óleo de soja residual . HOLOS, 5(39). Recuperado de <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/16351>

#### ABOUT THE AUTHORS:

##### M. F. B. DA SILVA

Graduated with a degree in Environmental Engineering, Master in Environmental Science and Technology at Federal University of Triângulo Mineiro (UFTM). Graduated Student at Institute of Technological and Exact Sciences (ICTE/UFTM).

E-mail: mariaflavia\_1209@hotmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-4280-6444>

##### A. DE CAMPOS

Graduated with a degree in Physics, Master in Physics at State University of Londrina and Doctorate's degree in Physics at Campinas State University (UNICAMP). Professor at Institute of Technological and Exact Sciences (ICTE/UFTM).

E-mail: ariana.campos@uftm.edu.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3342-4777>

##### D. C. FERREIRA

Graduated with a degree in Chemistry, Master and Doctorate's degree in Chemistry at Federal University of Uberlândia (UFU). Professor at Institute of Technological and Exact Sciences (ICTE/UFTM).

E-mail: deusmaque.ferreira@uftm.edu.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9338-0863>

##### V. C. ROCHA

Graduated with a degree in Environmental Engineering, Master and Doctorate's degree in Hydraulics and Sanitation at São Paulo State University (USP). Professor at Institute of Technological and Exact Sciences (ICTE/UFTM).

E-mail: vinicius.rocha@uftm.edu.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4683-5738>



**D. A. LEMOS**

Graduated with a degree in Chemical Engineering, Master in Chemical Engineering at Federal University of Uberlândia (UFU) and Doctorate's degree in Chemical Engineering at Federal University of São Carlos (UFSCAR). Professor at Department of Chemical Engineering at the (DEQ/UFSCAR).

E-mail: [diegolemos@ufscar.br](mailto:diegolemos@ufscar.br)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0507-7192>

**J. C. S. I. GONÇALVES**

Graduated with a degree in environmental engineering, Master and Doctorate's degree in Hydraulics and Sanitation at São Paulo State University (USP). Professor at Institute of Technological and Exact Sciences (ICTE/UFTM).

E-mail: [julio.goncalves@uftm.edu.br](mailto:julio.goncalves@uftm.edu.br)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5584-5527>

**C. POLETO**

Graduated with a degree in Civil Engineering, Master and Doctorate's degree in Water Resources at Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). Professor at Hydraulic Research Institute (IPH/UFRGS).

E-mail: [cristiano.poletto@ufrgs.br](mailto:cristiano.poletto@ufrgs.br)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7376-1634>

**M. S. DA LUZ**

Graduated with a degree in Chemical engineering, Master and Doctorate's degree in Materials Science Engineer at São Paulo State University (USP). Professor at Institute of Technological and Exact Sciences (ICTE/UFTM).

E-mail: [mario.luz@uftm.edu.br](mailto:mario.luz@uftm.edu.br)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1226-9480>

**Editor :** Francinaide de Lima Silva Nascimento

**Ad Hoc Reviewer:** Andre Luis Sotero S. Martim e Patrícia Martins Diniz



Submitted October 27, 2023

Accepted December 1, 2023

Published December 18, 2023