Dissolução do Poliestireno Expandido com o Solvente D-limoneno

REVISTA ELETRÔNICA MULTIDISCIPLINAR
UNIFACEAR

Joyce Conceição da Silva[1]; Gabrielly Vieira de Freitas[1]; Prof.ª Dr.ª Jeniffer Vanelle dos Santos Sfredo da Rocha[1]
Universidade Unifacear [1]

RESUMO
Este artigo tem como objetivo apresentar um método para a redução do polímero de poliestireno expandido com o uso de um solvente natural e proveniente da casca de laranja que é caracterizada como um resíduo orgânico. O poliestireno expandido, por ser um material volumoso e muito leve, tem a reciclagem dificultada. Na execução da metodologia o principal intuito foi realizar a dissolução do poliestireno no solvente D-Limoneno a fim de reduzir o volume do resíduo e observar as interações entre material e solvente. Desta forma, obteve-se a massa máxima de poliestireno dissolvida em um volume fixo de solvente, que determina a saturação na etapa de dissolução. Na sequência executou-se um método para separação do polímero e solvente, tendo a presença de um antissolvente e utilizando-se o álcool etílico 96% para a precipitação do polímero. Portanto, alcançou-se o objetivo de redução do volume do poliestireno aplicando um método para a separação. Ambos os procedimentos propostos para dissolução e separação não degradam a cadeia molecular do poliestireno, resultando em um polímero reciclado de maior qualidade apresentando assim uma alternativa de processo para a reciclagem do polímero.

Palavras-chave: poliestireno, D-limoneno, dissolução, separação.

ABSTRACT
This article is for the purpose to show a method for expanded polystyrene polymer reduction using a natural solvent from orange peel, only that is characterized as an organic waste. The expanded polystyrene for being a material very light and difficult to recycling. In the execution of the methodology, the main purpose was the polystyrene dissolution in D-Limonene solvent, to reduce the residue volume and observe the material and solvent interactions. This way the maximum dissolved mass of polystyrene in a fixed volume of solvent was obtained, which determines saturation in the dissolution step. The method of separating the polymer and solvent was then performed, for this proceeding, the presence of an anti-solvent, 96% ethyl alcohol, was used to precipitate the polymer. Therefore, reached the goal of reducing the polystyrene volume and applying a separation method. Both proposed dissolution and separation procedures do not degrade the polystyrene molecular chain, resulting in a higher quality recycled polymer thus presenting an alternative process for recycling the polymer.

Key Words: polystyrene, D-Limonene, dissolution, separation.

1. INTRODUÇÃO

O poliestireno é um polímero sintético com flexibilidade, formado através da polimerização dos monômeros de estireno. Conhecido popularmente como Isopor®, o

poliestireno (PS) pode ser encontrado na forma expandida (EPS), sendo uma espuma semirrígida com baixa densidade e bom isolamento térmico. Sua composição é de 98% de ar e 2% de poliestireno. Possui variadas aplicações e pode ser encontrado em diversos ramos como indústrias de cosméticos, materiais descartáveis, brinquedos, revestimento para portas de geladeiras, na proteção de eletrodomésticos e como embalagem térmica para alimentos. Devido a sua leveza, flexibilidade e baixo custo relativo é muito utilizado no mundo.

Apesar da sua vasta aplicação, o poliestireno é um dos maiores poluentes do meio ambiente, já que, devido ao seu tamanho contribui para aumento de quantidade de lixo no meio ambiente de um polímero que pode ser reciclado.

1.1 Justificativa

O poliestireno expandido (EPS) é um polímero comum e muito utilizado no Brasil, onde pode-se aplicar a logística reversa para o material que possui baixa reciclagem no país. Em 2019 o Consumo Aparente Nacional (CAN) e a produção de EPS bateram recorde de volumes, alcançando os patamares de 107 mil e 68,8 mil toneladas, respectivamente (ABIQUIM, 2021).

A logística reversa tem ganho importante relevância na gestão de resíduos sólidos, já que os materiais voltam na forma de matéria-prima secundária, onde a utilidade de um produto não acaba com o cliente final, com a opção para serem adequadamente coletados, remanufaturados e reaproveitados, assim a logística reversa permite o retorno dos materiais ao ciclo produtivo agregando valor ao material e contribuindo para diminuir o impacto ambiental, por meio da reutilização, substituição e da reciclagem de materiais (GOTO e SOUZA, 2008).

O poliestireno expandido tem tempo de decomposição indeterminado, fabricantes indicam que o material não é biodegradável, sendo assim, não desaparecem no ambiente (ECYCLE, 2010), o que gera preocupações com a destinação dos resíduos, uma vez que existe um crescimento de sua produção e seu gerenciamento em grande escala é inadequado. No Brasil, o índice máximo de reciclagem de EPS até o momento é de somente 34,5% (MUNDO ISOPOR®, 2018).

Estes resíduos vêm tendo, na maioria das vezes, disposição em aterros, o que acaba dificultando sua compactação e prejudicando a decomposição dos materiais, pois criam camadas impermeáveis que afetam as trocas de líquidos e gases gerados no processo de biodegradação da matéria orgânica (TESSARI, 2006).

O fato de o material apresentar uma proporção de 98% de ar e apenas 2% de poliestireno (SONY, 2003) resulta em um resíduo volumoso, dificultando seu transporte e

consequentemente a reciclagem, que fica mais cara. Sendo assim, propõe-se um método de redução do resíduo utilizando o D-limoneno, substância classificada como um solvente natural, o qual é oriundo comumente da casca de laranja também caracterizada como um resíduo.

1.2 Objetivo Geral

Dissolver o poliestireno expandido utilizando o solvente D-Limoneno visando a redução do volume de forma a colaborar para que haja possibilidade de aplicação da logística reversa.

1.3 Objetivos Específicos

- Desenvolver uma alternativa para a redução de volume do poliestireno expandido.
- Determinar qual a maior massa do poliestireno expandido que pode ser adicionada em um volume fixo de solvente para melhor aproveitamento do D-limoneno.
- Realizar a separação do solvente D-limoneno e do poliestireno expandido.

1.4 Problema da Pesquisa

Há grande proporção de poliestireno expandido (EPS) com destinação incorreta dos resíduos, gerando poluição e desperdício de poliestireno, já que o mesmo, pode ser reciclado. O uso de um solvente de origem natural para a redução do tamanho do poliestireno e posteriormente a sua separação, poderia ser uma alternativa de reciclagem e assim diminuir o impacto ambiental?

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir apresentaremos o embasamento teórico no qual fundamenta a pesquisa em questão, utilizando artigos científicos, livros disponíveis em bibliotecas online e sites.

2.1 Poliestireno

O Poliestireno (poli(1-feniletileno)) conhecido popularmente como Isopor®, é um plástico celular rígido, resultado da polimerização do estireno (ABIQUIM,2021). O polímero possui uso generalizado no mundo desenvolvido por causa de suas propriedades desejáveis, combinadas com seu baixo custo relativo (NICHOLSON, 1997).

O monômero estireno puro é um líquido incolor, oleoso, com cheiro adocicado, inflamável e que se polimeriza rapidamente. É usado na produção de poliésteres para a fabricação de embalagens plásticas e materiais descartáveis, borracha sintética, em isolamento térmico e resinas para fabricação de barcos, chuveiros, acessórios para automóveis e muitos outros produtos. (CETESB, 2012).

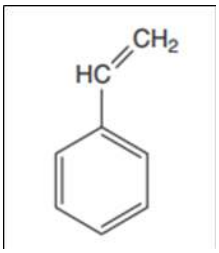

FIGURA 1: FÓRMULA ESTRUTURAL DO ESTIRENO.
FONTE: NATIONAL TOXICOLOGY PROGRAM, 2011

Segundo Nicholson (1997), o primeiro relato da reação de polimerização do estireno ocorreu em 1839, quando E. Simon descreveu a transformação do que então se chamava “estirol”. O poliestireno pertence ao grupo das resinas termoplásticas e foi obtido através de um composto sólido proveniente da destilação com vapor a partir da resina gomosa, denominada estirol (JACQUES, 2010).

As curvas termogravimétricas indicam que a degradação do poliestireno ocorre em temperaturas entre 250-400 °C (CÁCERES E CANEVAROLO, 2009).

Segundo Jacques (2010) o poliestireno é obtido através da reação de polimerização. O hidrocarboneto aromático de fórmula C_8H_8 é utilizado para a produção de poliestireno (PS).

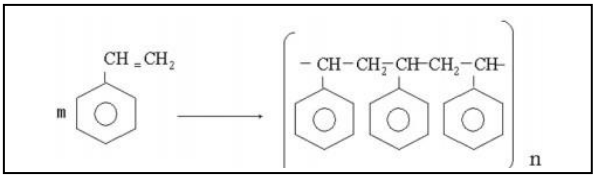

FIGURA 2: ILUSTRAÇÃO DA REAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO.
FONTE: JACQUES, 2010

O poliestireno expandido (EPS) é uma espuma rígida obtida através da expansão da resina de poliestireno (PS) durante a polimerização. Esta é realizada injetando-se gás carbônico durante a reação da polimerização (MONTENEGRO e SERFATY, 2002). São 100% reaproveitáveis e recicláveis e podem, inclusive, voltar à condição de matéria-prima. Pode ser reciclado infinitas vezes sem perder suas propriedades mecânicas (ABIQUIM, 2021).

A destinação dos resíduos é uma preocupação global, quando os resíduos sólidos, nesses incluídos os plásticos (polímeros), são descartados incorretamente, pode-se ter como destino os oceanos e mares. Estima-se que 80% do lixo no mar, constituído principalmente por plásticos, filtros de cigarro, borrachas, metais, vidros, têxteis e papéis, sejam originados nos continentes, estando diretamente relacionados à geração e gestão de resíduos sólidos (BRASIL; 2019).

2.2 D-Limoneno

O limoneno (1-metil-4-prop-1-en-2-ciclohexeno) de fórmula molecular $C_{10}H_{16}$ apresenta em sua estrutura molecular o ciclohexeno, possuindo um carbono quiral (ligado a quatro substitutos diferentes entre si). Esta característica faz com que o limoneno exista na forma de dois isômeros ópticos. Os carbonos quirais são identificados como R ou S, segundo a União Internacional da Química Pura e Aplicada (IUPAC). Outras notações também para isômeros ópticos incluem o uso das letras D (dextrogiro, desvia o plano da luz polarizada para a direita) e os símbolos "+" e "- ". Assim, podemos chamar um isômero de R-(+) -limoneno (D-Limoneno) e o outro isômero S-(-) -limoneno que é encontrado no limão (BURNHAM, 2008).

O limoneno é um líquido lipofílico com odor cítrico, encontrado em muitos óleos, como óleos cítricos e terebintina. Pode ser preparado como subproduto ou sintético na fabricação de terpinol. É miscível com álcool. O limoneno é usado como um aditivo de fragrância ou sabor para alimentos e produtos de limpeza doméstica e está se tornando mais amplamente usado como um solvente industrial (HEALTH EFFECTS OF SELECTED CHEMICALS, 1993).

Os resíduos obtidos do processamento de cascas de laranjas (*Citrus sinensis)* permitem a obtenção de um óleo essencial e do seu principal componente, R- (+) -limoneno (D-limoneno). O D-limoneno, o terpeno cíclico mais amplamente distribuído em plantas, é o principal constituinte do óleo da casca de laranja (90 a 95%) (SANTOS *et al.*, 2007). Pode ser encontrado também em diversos óleos essenciais cítricos como o de limão, mandarina, lima, entre outros. Possui ponto de ebulição de 176°C, ponto de fusão de - 75°C; densidade relativa de 0,84 g/mL, insolúvel em água e solúvel em álcool (BARROZO e SANTOS, 2008).

Na indústria o D-limoneno já é utilizado como aromatizante, em materiais de fragrância e perfume, solvente, agente umectante, fabricação de resina, produtos de limpeza entre outros (PUBCHEM, 2021).

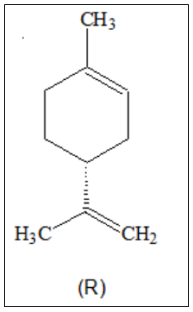

FIGURA 3: FÓRMULA ESTRUTURAL DO D-LIMONENO.
FONTE: SANTOS *et al.*, 2007

2.3 Compatibilidade do D-Limoneno e Poliestireno

A dissolução do poliestireno no solvente natural D-limoneno causa a diminuição do volume e posteriormente pode passar por filtração para remoção de sujidade. O método não degrada a cadeia molecular do poliestireno, resultando em um polímero reciclado de maior qualidade (SOEIRA, 2019).

A reciclagem do poliestireno por dissolução em solventes pode ter um importante papel na reciclagem, sendo uma alternativa à incineração e à reciclagem mecânica. A semelhança estrutural entre o D-limoneno e o poliestireno é um dos fatores que explicam a dissolução (CELLA,2012).

Um projeto desenvolvido pela empresa Sony (2003), chamado *Orange R-net,* foi um dos primeiros a apresentar o método de reciclagem do poliestireno com o D-limoneno e de início indica como vantagem o processo de dissolução ocorrer em temperatura ambiente, e é proposto que a dissolução ocorreria dentro do tanque do caminhão de transporte do EPS, que já conteria o D-limoneno.

É possível reduzir o volume de poliestireno espumado residual para 1/50 – 1/100 no ponto de origem, com apenas um veículo de coleta *Orange R-net System*, pode-se coletar uma quantidade de poliestireno expansível que normalmente encheria de seis a dez caminhões (SONY, 2003). A figura abaixo ilustra e explica a interação do poliestireno expandido com o D-limoneno.

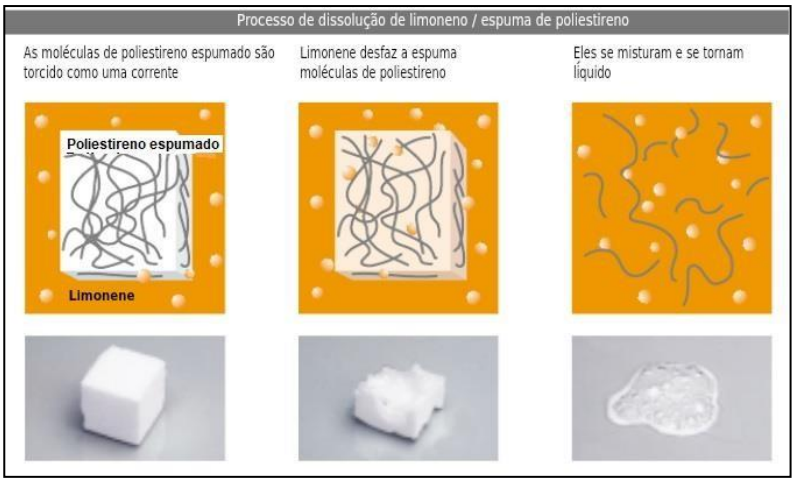

FIGURA 4: ILUSTRAÇÃO DO PROCESSO DE DISSOLUÇÃO.
FONTE: SONY, 2003.

2.4 Precipitação com Álcool Etílico 96% (92.8 INPM)

Uma alternativa para o método de separação do solvente D-limoneno e o poliestireno é a precipitação do polímero em solução na presença de um antissolvente como o álcool etílico, que se caracteriza uma substância que não dissolve o polímero, mas é miscível no solvente. De acordo com os parâmetros de solubilidade de Hansen (o primeiro modelo teórico-experimental para determinação da solubilidade de polímeros) o etanol é uma substância que não solubiliza o poliestireno, pois possui o RED (do inglês diferença de energia relativa) maior que 1,0 e para uma boa solubilidade se considera valores menores do que 1,0 (CELLA, 2017). Observa-se que o acetato de etila também possui boa solubilidade para o EPS, porém seguiu-se com o D-limoneno por esse ser de origem natural e obtido através do processamento dos resíduos de cascas de frutas cítricas.

A tabela abaixo indica as solubilidades do poliestireno com diferentes solventes, com o parâmetro RED.

TABELA 1 – SOLUBILIDADE DO POLIESTIRENO COM VARIEDADES DE SOLVENTES.

SOLVENTE	RED
Etanol	1,49
D-limoneno	0,95
D-limoneno	0,92
D-limoneno	0,69
Acetato de etila	0,90
Acetato de etila	0,95

FONTE: ADAPTADO DE CELLA, 2017

O álcool etílico (C_2H_5OH) é uma substância orgânica produzida desde os tempos antigos pela fermentação dos açúcares encontrados em produtos vegetais (cereais, beterraba e cana). Hoje já existe um novo conceito que corresponde a sua fabricação utilizando como matéria-prima a biomassa de lignocelulose, proveniente de sobras e resíduos de produtos naturais (como o sabugo e a palha do milho, o bagaço, as pontas e as palhas da cana-de-açúcar) (BASTOS, 2007).

Algumas propriedades físico-químicas do álcool etílico 96% são: incolor, ponto de fusão de - 115,5 °C, ponto de ebulição de 78,3°C e densidade de 0,790 - 0,793 g/mL (ALPHATEC, 2011).

Utilizando o álcool etílico para precipitação, estudos não apontaram alterações significativas em propriedades do polímero reciclado, como massa molar ou propriedades mecânicas (CELLA,2017 apud PAPPA G, 2001), sendo assim possível sua utilização para a separação do D-limoneno a partir da mistura com o PS.

3. METODOLOGIA

O principal objetivo deste trabalho é a dissolução do poliestireno no solvente D-limoneno a fim de reduzir o volume de resíduos de poliestireno. A pesquisa foi realizada através de experimentos no laboratório químico da instituição Unifacear e a partir de pesquisas bibliográficas para fundamentação teórica. Fez-se o uso também de pesquisa exploratória, descrita por Gil (2007, citado por GERHARDT e SILVEIRA, 2009):

> Este tipo de pesquisa tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. A grande maioria dessas pesquisas envolve: (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; e (c) análise de exemplos que estimulem a compreensão.

Esta pesquisa foi realizada em artigos científicos e livros localizados em bibliotecas online, realizadas no estado do Paraná, na cidade de Araucária. Nos quais para a abordagem utilizou-se de métodos qualitativos com o intuito de analisar o comportamento do solvente D-limoneno juntamente com o polímero poliestireno.

3.1 Materiais e Reagentes

- Álcool 96% (92.8 INPM) (Alphatec);
- Balança Analítica;
- Bastão de Vidro;

- Béquer de 100 mL;
- Cápsula de porcelana;
- Centrífuga para tubos;
- Dessecador;
- D-limoneno (Cloroquímica);
- Estufa;
- Pipeta Graduada 5 mL;
- Poliestireno expandido;
- Tubos para centrifugação.

3.2 Aquisição do Poliestireno e D-Limoneno

O poliestireno expandido utilizado foi obtido através de resíduos da aquisição de produtos de uso particular dos autores. O solvente D-Limoneno e o álcool etílico 96% (92,8 INPM) foram fornecidos pela instituição Unifacear.

3.3 Procedimento

Os procedimentos para atingir os resultados foram realizados em laboratório, com o auxílio dos materiais e reagentes necessários. Para ter maior confiabilidade de resultados, o procedimento foi realizado em triplicata, como está descrito abaixo:

As seguintes etapas foram realizadas em triplicata, para maior confiabilidade dos resultados:

3.3.1 Fragmentou-se manualmente uma placa de poliestireno expandido e em seguida com um béquer de 250 mL pesou-se 5g em uma balança analítica.
3.3.2 Com uma pipeta graduada avolumou-se 3 mL do solvente D-Limoneno e em um béquer de 100 mL adicionou-se o D-limoneno e aos poucos acrescentou-se o poliestireno sob agitação manual, com auxílio de um bastão de vidro, até a saturação máxima; ocorreu sobra do poliestireno pesado anteriormente, então pesou-se a massa remanescente para avaliar a quantidade de poliestireno que foi dissolvida.
3.3.3 Adicionou-se 1,5 mL de álcool etílico 96% (92.8 INPM), no béquer onde continha a mistura homogênea; após adição do álcool etílico 96% (92.8 INPM) o poliestireno se precipitou.
3.3.4 Transferiu-se todo o conteúdo para um tubo apropriado para centrífuga; centrifugou-se as amostras por 3 minutos a aproximadamente 3.000 rpm.
3.3.5 Retirou-se o tubo da centrífuga e pipetou-se todo o sobrenadante, que foi reservado.

3.3.6 Passou-se a massa para uma cápsula de porcelana com tara conhecida onde secou-se a massa na estufa por 30 minutos ao patamar de 180ºC.

3.3.7 Levou-se a cápsula para um dessecador para resfriamento por 30 minutos e posteriormente pesou-se a cápsula em balança analítica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos, foram baseados no referencial teórico e em amostras feitas em campo. As etapas para chegar nos resultados foram realizados em triplicadas para maior confiabilidade.

Os resultados estão em forma de tabela, bem como descritos nos tópicos 4.1, 4.2 e 4.3. Utilizou-se, também, de cálculos para definição da proporção da dissolução em kg de Poliestireno /L de D-limoneno e a proporção de precipitação em kg de Poliestireno /L de Álcool Etílico 96% (92 INPM), como descrito no tópico 4.3.

4.1 Massa em Gramas de Poliestireno Expandido Dissolvida em 3 ml de D-Limoneno.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados para a solubilização do poliestireno em 3 mL de D-limoneno.

TABELA 2: SOLUBILIDADE DO POLIESTIRENO EM 3 mL DE D-LIMONENO

BÉQUERES DE DISSOLUÇÃO	MASSA EM GRAMAS
1	1,68
2	1,67
3	1,67
Média	1,67

FONTE: OS AUTORES, 2021.

A dissolução do poliestireno expandido com a adição do D-limoneno acontece instantaneamente em temperatura ambiente a partir do contato inicial do material com o solvente, não se notou nenhum aquecimento, resfriamento ou desprendido de gás durante a dissolução. Observou-se que partículas de sujidade contidas no poliestireno não são dissolvidas ao adicionar o solvente, podendo essas serem removidas por filtração. O aspecto da mistura é levemente turva e possui odor cítrico. As massas em gramas apresentadas na tabela 2 são as quantidades máximas de PS possíveis de serem solubilizados em 3 mL de solvente.

4.2 Volumes em ml Retirados Após Centrifugação.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados para a recuperação de D-limoneno e álcool etílico após a dissolução e precipitação respectivamente do PS. Realizou-se a centrifugação da solução resultante.

TABELA 3: VOLUME DE SOLVENTE E ANTISSOLVENTE EM mL RECUPERADOS APÓS CENTRIFUGAÇÃO DAS AMOSTRAS.

TUBOS CENTRIFUGADOS	VOLUME EM mL RECUPERADOS
1	1,4
2	1,5
3	1,6
Média	1,5

FONTE: OS AUTORES, 2021.

A precipitação com a adição do álcool etílico, ocorreu de imediato após contato com a mistura homogênea de PS e solvente. Não se observou mudanças de temperatura ou liberação de gases.

O processo de centrifugação não é totalmente eficiente, visto que não foi recuperado todo o volume de solvente e antissolvente que foram adicionados, com isso a massa de poliestireno permanece úmida. Observou-se também que a mistura de solventes retirada ainda tem capacidade de dissolução e precipitação. Sendo assim, para pesquisas futuras propõe-se usar o método de destilação que atinja as temperaturas necessárias para recuperar maior volume do solvente e antissolvente, bem como, o foco na reutilização do mesmo solvente e antissolvente para a dissolução e precipitação do poliestireno expandido.

4.3 Massa de Poliestireno Após Secagem em Estufa.

A Tabela 4 mostra os resultados para a recuperação de poliestireno após a secagem em estufa.

TABELA 4: MASSA DE POLIESTIRENO EM GRAMAS (g) APÓS SECAGEM EM ESTUFA.

CÁPSULAS	MASSA EM GRAMAS APÓS SECAGEM
1	1,67
2	1,67
3	1,66
Média	1,66

FONTE: OS AUTORES, 2021

A massa de poliestireno após secagem se torna levemente amarelada. Observa-se que o objetivo que é a redução do volume foi atingido.

Após passado pelas etapas e com a total separação do solvente e antissolvente o poliestireno pode ser utilizado novamente como matéria-prima, visto que o processo preserva as propriedades moleculares e mecânicas do polímero e se necessário pode ser adicionada uma etapa de filtração para reter impurezas e assim obtendo maior qualidade do poliestireno recuperado.

Tendo em mãos os dados numéricos obtidos durante a pesquisa, foi possível proceder aos seguintes cálculos para projeção de volume em litros e massa em quilogramas:

a) O cálculo da proporção da dissolução em kg/L de Poliestireno e D-limoneno, pode ser observado na equação 1:

$$\frac{\boldsymbol{kg_{PS}}}{\boldsymbol{1{,}0L_{DL}}} = \frac{\boldsymbol{0{,}001673m_{PS}}}{\boldsymbol{0{,}003V_{DL}}} = \boldsymbol{0,558KgPS} \quad (1)$$

Onde:
PS = poliestireno
DL = D-limoneno
m = massa (kg)
V = volume (L)

b) O cálculo da proporção de precipitação em kg/L de Poliestireno e Álcool Etílico 96% (92 INPM), pode ser observado na equação 2:

$$\frac{\boldsymbol{kg_{PS}}}{\boldsymbol{1L_{\acute{A}LCOOL}}} = \frac{\boldsymbol{0{,}001673m_{PS}}}{\boldsymbol{0{,}0015V_{\acute{A}LCOOL}}} = \boldsymbol{1,115KgPS} \quad (2)$$

Onde:
PS = poliestireno
ÁLCOOL = Álcool Etílico 96%
m = massa (kg
V = volume (L)

Assim, para cada litro de D-limoneno é possível solubilizar cerca de 600 g de PS e para cada litro de álcool etílico utilizado é possível e recuperar pouco mais de 1 kg de PS.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração a escala laboratorial, pode-se inferir que o processo se mostrou viável, contribuindo para minimizar a dificuldade em relação à redução do volume do poliestireno expandido, que é um dos principais fatores que dificulta a reciclagem.

Durante os experimentos realizados foi possível observar a total dissolução do polímero e definir, inicialmente, a proporção de massa e volume que remete a saturação da dissolução. Em relação à etapa de separação, obteve-se um alcance parcial, visto que a separação dos componentes D-limoneno, álcool etílico 96% e do poliestireno ainda não se mostrou totalmente eficiente, uma vez que com o processo de centrifugação e a retirada de todo o sobrenadante o polímero ainda ficou úmido e só foi completamente seco em estufa. Manteve-se a massa de poliestireno, entretanto houve ainda perda do solvente e do antissolvente por evaporação. Este é um fator importante a ser estudado em trabalhos futuros, já que foi constatado grande potencial de reutilização destes compostos em novos processos.

Para aplicar a metodologia em grande escala deve-se realizar um projeto prevendo o local, instalações, equipamentos, volumes do solvente e antissolvente, levando em conta todos os fatores econômicos, e outras demandas necessárias.

O método apresentado se mostrou vantajoso, visto que algumas etapas não exigem o consumo de energia, ocorrendo em temperatura ambiente. E, como benefício, consegue-se obter um poliestireno de maior qualidade em relação a outros métodos de reciclagem, já que o solvente e antissolvente têm interações compatíveis com o poliestireno, mantendo a originalidade molecular. Contaminações ou sujidades que podem estar presentes no material não são dissolvidas no processo com a possibilidade de serem removidas.

No âmbito deste trabalho, considera-se que o objetivo geral de apresentar uma alternativa para a possibilidade de aplicação da logística reversa do material e os objetivos específicos, com foco na redução do volume do poliestireno e na determinação de um volume fixo do solvente para dissolução, foram cumpridos.

REFERÊNCIAS

ALPHATEC - CONTROL LAB COM. DE PROD. P/LAB. LTDA. FISPQ **- Ficha de Segurança de Produtos Químicos: ÁLCOOL ETÍLICO 96%**. No. da revisão: 05. ed. [*S. l.*], 13 jul. 2011. Disponível em:<https://controllabpr.com.br/files/fispq/15239046430FISPQ_ALCOOL_ETILICO_96_.pdf.>. Acesso em 24 setembro de 2021.

Ambiente Brasil. **Isopor – O Impacto no Meio Ambiente.** Ambiente Brasil. Disponível em:<https://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/isopor/isopor__o_impacto_no_meio_ambiente.html>. Acesso em 15 abril de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA – ABIQUIM. Comissão setorial de EPS. **Dados do Mercado,** 2021. Disponível em: <http://www.epsbrasil.eco.br/mercado.html.>. Acesso em 06 de novembro de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA – ABIQUIM. EPS- Poliestireno Expansível. **O QUE É EPS?** [S. l.], 2021. Disponível em: <http://www.epsbrasil.eco.br/eps/index.html>. Acesso em 21 de abril de 2021.

BARROZO, A. C. F.; SANTOS, D. B. **Extração e Purificação do Limoneno.** [*S. l.*], 2008. Disponível em: <http://www.cempeqc.iq.unesp.br/Jose_Eduardo/Blog2013/Aula_10_05/Extra%C3%A7%C3%A3o%20do%20limoneno%20do%20%C3%B3leo%20de%20laranja%20LIC%202008.pdf.>. Acesso em 02 de outubro de 2021.

BASTOS, V. D. **Etanol, alcoolquímica e biorrefinaria.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5-38, mar. 2007. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2527>. Acesso em 02 outubro de 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda Nacional de Qualidade Ambiental Urbana: Plano de Combate ao Lixo no Mar.** [recurso eletrônico] / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial, Coordenação-Geral de Gerenciamento Costeiro. – Brasília, DF: MMA, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/plano-nacional-de-combate-ao-lixo-no-mar-pdf>. Acesso em 26 de setembro de 2021.

BURNHAM, P. M. **Limonene: The industrial degreasing agent found in orange peel.** Reino Unido, março 2008. Disponível em: <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/limonene/limoneneh.htm>. Acesso em 17 de setembro de 2021.

CÁCERES, C. A.; CANEVAROLO, S. V. **Cisão de cadeia na degradação termomecânica do poliestireno sob múltiplas extrusões.** [*S. l.*], 9 fev. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/cWbLcs5nrbDbzFyqRFGNLFs/?lang=pt>. Acesso em 26 de setembro de 2021.

CELLA, R. F. **Avaliação da viabilidade técnica de processos de reciclagem de espuma semirrígida de poliestireno por meio da dissolução**. 2017. 139 p**.** Tese (doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/186283/PENQ0721-T.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso em 23 de setembro de 2021.

CELLA, R. F. **Reciclagem de Espumas Semi Rígidas de Poliestireno pela Dissolução em Terpenos e Secagem em Secador de Tambor.** Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30384037.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2021.

ECYCLE. **Isopor é útil, mas tem grande impacto ambiental.** [S. l.], 14 jul. 2010. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/eps-isopor/ >. Acesso em 30 de outubro de 2021.

Estireno. FIT (ficha de informação toxicológica). **Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental.** CETESB. Janeiro de 2012. Atualizado em maio de 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Estireno.pdf>. Acesso em 04 de junho de 2021.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa.** UFRGS editora. 1ª edição, 2009. Disponível em: <https://www.google.com.br/books/edition/M%C3%A9todos_de_Pesquisa/dRuzRyEIzmkC?hl=pt-BR&gbpv=1>. Acesso em 29 de agosto de 2021.

GOTO, A. K.; SOUZA, M. T. S. **A Contribuição da Logística Reversa na Gestão de Resíduos Sólidos: uma análise dos canais reversos de pneumáticos.** In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO (ANPAD), 2008. Disponível em:

<http://www.anpad.org.br/diversos/down_zips/38/GOL-B2813.pdf.>. Acesso em 06 de novembro de 2021.

HEALTH EFFECTS OF SELECTED CHEMICALS. Volume 2. **Environment Chemicals**. Nord 1993:29. Nordic Council of Ministers, 1993. Disponível em: <https://www.google.com.br/books/edition/_/JpBNjBAMogYC?hl=pt-BR&gbpv=1>. Acesso em 29 de agosto de 2021.

JACQUES, F. B. **Mercado brasileiro de poliestireno com ênfase no setor de eletrodomésticos**. UFRGS. Departamento de Engenharia Química. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/35191/000792971.pdf?...1>. Acesso em 04 de junho de 2021.

MONTENEGRO, R. S. P.; SERFATY, M. E. **Aspectos gerais do poliestireno.** Biblioteca Digital. BNDES Setorial. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior. Rio de Janeiro, set. 2002. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2350/1/BS%2016%20Aspectos%20Gerais%20do%20Poliestireno_P.pdf>. Acesso em 04 de junho de 2021.

Mundo Isopor®, **Reciclagem de EPS isopor®: tudo o que você precisa saber**, 2018. Disponível em:<https://www.mundoisopor.com.br/sustentabilidade/reciclagem-de-eps-isopor-tudo-o-que-voce-precisa-saber>. Acesso em 26 setembro de 2021.

NATIONAL TOXICOLOGY PROGRAM, **Styrene Report on Carcinogens,** Twelfth Edition (2011). Disponível em: <https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/content/profiles//styrene.pdf>. Acesso em 05 de junho de 2021.

NICHOLSON, J. N. **The Chemistry of Polymers**. Second Edition. Royal Society of Chemistry, 1997. Disponível em: <https://www.google.com.br/books/edition/_/X3ibt4A86pYC?hl=pt-BR&gbpv=1>. Acesso em 28 de agosto de 2021.

PORTAL R3. **Grande Quantidade de Isopor é retirada do mar pela ação Lixo Marinho**. Redação PortalR3. Disponível em: <https://www.portalr3.com.br/2019/03/grande-quantidade-de-isopor-e-retirada-do-mar-pela-acao-lixo-marinho/>. Acesso em 16 de abril de 2021.

PUBCHEM. Compound Summary for CID 440917, **D-Limonene**, 2021. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/D-Limonene>. Acesso em 11 de outubro de 2021.

SANTOS, Glauco Pilon dos; SANTOS, Molíria Vieira dos; BARBOSA, Thiago Igor Santos. **Isolamento e Purificação do limoneno.** [*S. l.*], 2007. Disponível em: <http://www.cempeqc.iq.unesp.br/Jose_Eduardo/Blog2013/Aula_10_05/Extra%C3%A7%C3%A3o%20do%20limoneno%20do%20%C3%B3leo%20de%20laranja%20BAC%202007.pdf>. Acesso em 29 de maio de 2021.

SOEIRA, Ana Paula Ramos. **RECICLAGEM DE POLIESTIRENO EXPANDIDO UTILIZANDO O SOLVENTE NATURAL D-LIMONENO PARA PRODUÇÃO DE VERNIZ E TINTA**. Lages, 27 nov. 2019. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/bd10b-tcc---ana-paula-ramos-soeira.pdf.>. Acesso em 22 de setembro de 2021.

SONY. **Orange R-net: Sony High-quality Foamed Polystyrene Recycling System.** Tokyo, Japan, 2003. Disponível em:<https://pdfslide.net/reader/f/orange-r-net>. Acesso em 15 setembro de 2021.

TESSARI, J**. UTILIZAÇÃO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO E POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE SEUS RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/88811/234096.pdf?sequence=1&isAllowed=y >. Acesso em 16 de abril de 2021.