

Avaliação da Espuma de Poliuretano como material sorvente para a remediação de óleos e graxas

Felipe Machado Meisen*, Gustavo Felipe Brock, Lavínia Marcos Caçador, Liv Gabrielle Mengue Salerno Ferreira, Milena Martins Machado.

Acadêmicos do Curso Técnico em Química (Modalidade Integrado). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Câmpus Jaraguá do Sul.

*E-mail: felipe.meisen@gmail.com

Juliano Maritan Amâncio

Licenciado em Química e em Tecnologia em Gestão Ambiental (UninCor), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Câmpus Jaraguá do Sul.

E-mail: juliano.maritan@ifsc.edu.br

Daniel Alfonso Spudeit

Doutor em Química Analítica (UFSC), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Câmpus Jaraguá do Sul.

E-mail: daniel.spudeit@ifsc.edu.br

Resumo: No Brasil existe um grande número de atividades automotivas, de forma que estas atividades se fazem potencialmente nocivas ao meio ambiente devido a utilização de grandes volumes de água, conseqüentemente, gerando muito efluente. Por sua vez, os principais poluentes envolvidos na lavagem automotiva são os óleos e graxas, partículas sólidas, parafinas e metais pesados, sendo estes os mais tóxicos e potencialmente prejudiciais à vida aquática. A recirculação do efluente na lavagem de veículos tem como maior problema o aumento do nível de óleos e graxas, pois os resíduos gerados tornaram-se de difícil remoção, de forma que se faz necessário o uso de processos químicos para o tratamento destes contaminantes. O presente estudo consistiu na avaliação de espumas de poliuretano como material sorvente para a contenção e remediação de óleos e graxas utilizando-se o método oficial de determinação de óleos e graxas na água. Os estudos demonstraram que o teor de óleos e graxas encontrado na amostra de água residuária coletada em Jaraguá do Sul – Santa Catarina obteve valores acima de 85 % de remoção dos contaminantes por meio da sorção da espuma de poliuretano. Embora não atingindo a concentração máxima

permitida pelos padrões estipulados pela resolução CONAMA 430/2011, pode-se concluir que o material polimérico analisado é eficiente para a contenção e remoção dos contaminantes óleos e graxas.

Palavras-Chave: Espuma de Poliuretano. Sorção. Óleos e graxas.

Abstract: In Brazil, there are a large number of automotive activities, which are potentially harmful to the environment. Due to the waste of large volumes of water, these activities generate a great amount of effluent. The main pollutants involved in automotive washing are oils and greases, solid particles, heavy metals and wax. These are the most toxic and potentially harmful to aquatic life. The worst problem in effluent recirculation, resulting from vehicle washing, is the increase in levels of oil and grease. The waste that is generated is difficult to remove, so there is a need to use chemical processes to treat these contaminants. This study evaluated polyurethane foams as a sorbent material to contain and to remediate the levels of oil and grease, the official method was employed to find out the levels of oils and greases in water. The present studies have shown that the content of oil and grease found in the wastewater sample collected in Jaraguá do Sul – Santa Catarina reached values above 85% for removal of contaminants through sorption of polyurethane foam. Despite not reaching the maximum concentration allowed by the standards set by CONAMA 430/2011, it can be concluded that the present polymeric material is effective at retaining and removing oil and grease contaminants.

Keywords: Polyurethane Foam. Sorption. Oils and greases.

1. Introdução

A água pode ter sua qualidade afetada pelas mais diversas atividades do homem, sejam elas domésticas, comerciais ou industriais (PEREIRA, 2004). Os impactos na saúde causados pela contaminação química da água são de difícil avaliação, uma vez que muitos elementos interferentes podem inviabilizar a identificação dos fatores determinantes das enfermidades associadas à toxicidade dessas substâncias (BERGAMASCO, 2011).

Os parâmetros físico-químicos e ecotoxicológicos são importantes na caracterização das águas e sua determinação no Brasil é exigida pelos órgãos competentes pela gestão dos recursos hídricos, afim de qualificar a potabilidade da água (VON SPERLING, 2005). No Brasil, a Resolução CONAMA 430/2011 estabelece que o padrão de lançamento deve ser no máximo de até 20 mg L⁻¹ para óleos minerais e até 50 mg L⁻¹ para óleos vegetais e gorduras animais no país (MMA, 2011).

No Brasil existe um grande número de atividades automotivas que são potencialmente poluidoras quanto a utilização da água e geração de efluentes (SEMAPE, 2004). O efluente gerado por atividade de lavagem de veículos pode apresentar quantidades significativas de óleos e graxas, sólidos em suspensão, metais pesados, surfactantes e substâncias orgânicas (TEIXEIRA, 2003). Os óleos e graxas constituem-se de materiais graxos de origem animal e vegetal, e de hidrocarbonetos originados do petróleo e, uma vez que essas substâncias estão presentes em quantidades excessivas na água, podem acabar interferindo nos processos biológicos aeróbicos e anaeróbicos (VON SPERLING, 1995).

Estudos têm identificado a importância do Brasil investir em soluções para problemas relacionados à água contaminada. Esses contaminantes podem causar vários efeitos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde dos animais, fazendo com que a remoção destes se faça necessária. Dentre as metodologias aplicadas para a remoção de contaminantes das águas residuárias de lavagem, destaca-se o uso de materiais poliméricos porosos, naturais e sintéticos, que removem os contaminantes através do processo de sorção (Ferreira *et al.*, 2014).

Sorção é o termo utilizado para designar todos os mecanismos envolvendo o processo de adsorção e absorção, sendo dessorção o mecanismo inverso (TANOBE, 2007). A sorção é um fenômeno de transferência de massa, no qual moléculas passam de uma fase aquosa e se associam a uma fase imóvel, sendo a fase que sorve denominada de sorvente e a substância sorvida denominada de sorbato (PIGNATELLO, 2000).

Os polímeros orgânicos porosos são amplamente empregados nos sistemas de tratamento de efluentes, visto que uma das vantagens das macromoléculas – quando comparadas aos sorventes minerais – é a possibilidade de ajuste da estrutura geométrica e de seus poros (FARIN & AVNIR, 1989). Dentre os polímeros utilizados podemos destacar as espumas de poliuretano (EPU).

Os poliuretanos (PU) são produzidos de maneira simples através da reação de condensação de um isocianato (di ou polifuncional) com um poliálcool (polipropilenoglicol). A proposta da seguinte pesquisa baseia-se, portanto, na avaliação da capacidade de sorção da Espuma de Poliuretano dos contaminantes óleos e graxas presentes nas águas residuárias dos postos de lavagem em Jaraguá do Sul (Santa Catarina). Nessa perspectiva, dentre os objetivos propostos encontram-se a produção de espumas de poliuretano, a caracterização das espumas produzidas e o teste referente à avaliação da EPU como material sorvente para a contenção e remediação dos contaminantes óleos e graxas.

2. Materiais e Métodos

2.1 Materiais

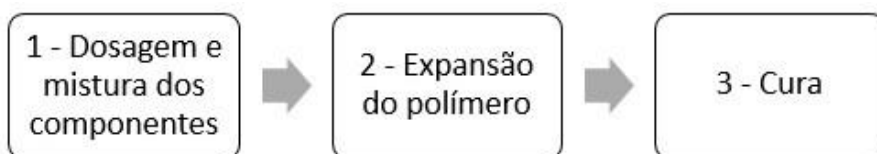
Isocianato 4,4-difenilmetano-diisocianato (MDI) (VETEC), polipropilenoglicol (VETEC), recipiente descartável de 300 mL, balança semi-analítica (KNWAAGEN), microscópio óptico KOZ-004, balança analítica SHIMADZU AUX220, béquer, terra diatomita (META QUÍMICA) rotaevaporador (FISATOM), manta aquecedora, estufa, balão de fundo redondo, funil de Buchner, papel filtro JP 40 faixa branca, kitassato, bomba de vácuo, vidro de relógio, extrator de Soxhlet, condensador de Allihn, proveta, pinça, Hexano (QUÍMICA MODERNA, P.A).

2.2 Métodos

2.2.1 Síntese da Espuma de Poliuretano

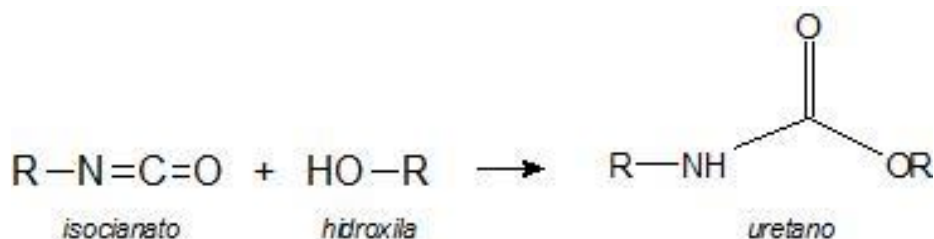
As espumas de poliuretano foram preparadas pelo processo de síntese chamado de “*one-shot*” (uma etapa só), no qual os dois componentes da mistura, um isocianato e um polioliol, são misturados manualmente e a reação de expansão da EPU se dá quase que instantaneamente (SOARES, 2012). Neste trabalho o 4,4-difenilmetano-diisocianato (MDI) e o polipropilenoglicol (PPG) foram utilizados na síntese do polímeros. Nesse processo são realizadas as seguintes etapas (Figura 1).

Figura 1: Etapas da síntese de EPU pelo método *One Shot*.



A reação de formação da EPU pode ser observada na Figura 2.

Figura 2: Reação de formação da EPU.



Inicialmente, foram realizados testes a fim de definir as quantidades dos reagentes MDI e PPG utilizados e as características como porosidade e rigidez da

Espuma. Foram sintetizados grupos de espumas, variando-se a quantidade de massa dos reagentes por meio de proporções pré-definidas, sendo elas: 1:1 (MDI : PPG), 2:1 (MDI : PPG), 1:2 (MDI : PPG).

Nesta etapa, adotou-se 12 g como medida padrão da massa total de reagentes. As quantidades de isocianato e polipropilenoglicol foram pesadas dentro de copos plásticos de 300 mL em uma balança semi-analítica, conforme as proporções definidas, estes eram submetidos a constante agitação manual com bastão vidro até o início de expansão do polímero. Posteriormente, a espuma foi deixada em uma capela durante o período de 24h para o tempo de cura.

2.2.2 Coleta da água de lavagem automotiva

As amostras de águas de lavagens foram coletadas em postos de lavagens automotivas em diferentes locais no município de Jaraguá do Sul, conforme o procedimento ABNT 9898 (ABNT, 1986), que estabelece que a amostra deve ser coletada em frascos de vidro de 1000 mL e acidificada até o pH menor que 2. Posteriormente, as amostras foram misturadas em uma única solução mãe e armazenadas em recipientes de vidro de modo que todos os testes fossem realizados com a mesma amostra.

2.2.3 Caracterização morfológica da EPU

Para a caracterização da distribuição média dos poros foi realizada a análise por microscopia óptica. Para essa análise, as amostras de EPU foram cortadas em finas espessuras planas de 2 mm e analisadas no microscópio óptico com uma resolução de aumento de 40x.

2.2.4 Avaliação da capacidade de absorção de água

Para avaliar a capacidade de absorção de água pela espuma de poliuretano, foram realizados ensaios em triplicata com três grupos de espumas de diferentes dimensões, a fim de verificar a influência da área superficial no processo de sorção, sendo eles: 1,5 cm², 4 cm² e 4,95 cm². Foram pesados 1 g de cada grupo de EPU e colocados em béqueres com 500 mL de água a temperatura ambiente, permanecendo sob agitação magnética a 900 RPM durante os intervalos de tempo de 30, 60 e 120 minutos. Posteriormente, os grupos de espumas foram transferidos do béquer, colocados sobre peneiras para retirada do excesso de água e em seguida pesados novamente, obtendo-se o valor absorção de água pela diferença de peso da espuma após os ensaios.

2.2.5 Avaliação da capacidade de sorção de óleos e graxas em Sistema Dinâmico

Para o estudo da capacidade de sorção de óleos e graxas, variou-se a massa de espumas utilizadas, sendo elas de 1 g e 3 g, nos intervalos de tempo de 30 e 120 minutos.

As amostras de EPU de dimensões 1,5 cm² e quantidades de 1 g e 3 g foram colocadas em béquer contendo 500 mL da solução da amostra sob agitação magnética, permanecendo durante os intervalos de tempo de 30 e 120 minutos. Após esse tempo, as espumas eram retiradas do béquer e a solução de água de lavagem era utilizada para quantificar os óleos e graxas ainda presentes na amostra após esse processo, pela Extração de Soxhlet.

Todos os ensaios foram realizados em triplicata e a temperatura ambiente.

2.2.6 Avaliação da capacidade de sorção de óleos e graxas sem agitação

A avaliação da sorção estática consistiu em um sistema de béqueres com 500 mL de solução de água de lavagem nos quais eram colocados 1 g das espumas de poliuretano de dimensões 1,5 cm².

Estes ensaios consistiam em dispor as espumas de poliuretano sobre as soluções pelos tempos pré-determinados de 30 e 120 minutos, seguidos pela retirada das espumas do sistema. Em seguida, a quantidade de óleos e graxas presentes na solução era quantificada pelo método gravimétrico de Soxhlet.

Todos os ensaios foram realizados em triplicatas e a temperatura ambiente.

2.2.7 Quantificação de óleos e graxas

Para a quantificação de óleos e graxas ainda presentes nas soluções após o processo de sorção, adaptou-se a metodologia de extração de Soxhlet, apresentada pela Standard Methods for the examination of water and wastewater - American Public Health Association (APHA, 1998).

Para análises de óleos e graxas, todas as amostras passaram por filtração a vácuo, na qual o filtro era revestido por terra diatomita. Em seguida, o filtro era removido e mantido à 100^o C por 60 minutos. Após esse período, o filtro era mantido em sistema soxhlet, utilizado hexano como solvente. Ao final da extração se completavam 80 ciclos, de modo que cada ciclo durava 3 minutos.

Após este processo, o hexano foi recuperado por meio de rota-evaporação e o balão contendo óleos e graxas impregnados era pesado novamente na balança analítica, sendo a diferença de massa entre o balão com óleo impregnado e o balão vazio, a concentração de óleos e graxas presentes na amostra antes da filtração. Os cálculos foram realizados conforme a Equação 1 a seguir:

$$Q = M_f - M \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Q = Quantidade de óleos e graxas (g/g)

M = massa inicial do balão (g)

M_f = massa final do balão (g)

3. Resultados e Discussão

3.1 Síntese da EPU

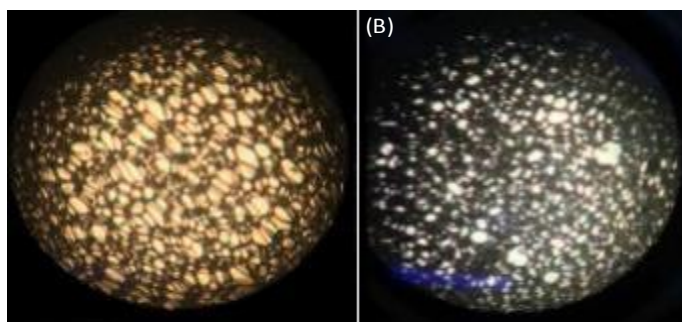
O poliuretano pode ter uma variedade de densidades e de durezas, que mudam de acordo com o tipo de monômero usado e com a adição ou não de substâncias modificadoras de propriedades. De acordo com Tanobe (2007), a rigidez da espuma de poliuretano se dá pela presença do isocianato, portanto, para avaliar o efeito da rigidez do PU na estrutura das espumas e, conseqüentemente, no mecanismo de sorção, as espumas foram preparadas utilizando três diferentes proporções, sendo elas: 1:1 (MDI : PPG), 2:1 (MDI : PPG), 1:2 (MDI : PPG).

Como sugerido por Tanobe (2007), as espumas sintetizadas com uma proporção maior ou equivalente de isocianato, apresentaram uma estrutura mais definida, resultando na formação de poros mais definidos. Por sua vez, a espuma preparada na proporção 1:2, não apresentou estrutura definida, não sendo possível então avaliar sua capacidade de sorção. Como base nisso, os estudos foram realizados com as espumas mais rígidas.

3.2 Microscopia Óptica

Como discutido anteriormente, o tamanho dos poros exerce influência no mecanismo de sorção, principalmente por afetar a capilaridade e os fenômenos de sucção, fazendo com que esses fatores sejam determinantes na escolha do material sorvente em questão. Sendo assim, para auxiliar na escolha, as espumas foram submetidas a análise através da microscopia óptica (Figura 3).

Figura 3: Imagem das EPU obtidas por microscopia eletrônica com resolução de aumento de 40x.



Observando-se a Figura 3, é possível perceber que a espuma preparada na proporção 1:1 (Figura 3-A), apresentou poros visualmente maiores do que a espuma preparada na proporção 2:1 (Figura 3-B). Esta característica pode ser relacionada com o processo de síntese, pois a formação dos poros está relacionada com a liberação de CO_2 , liberado na formação do uretano.

A estequiometria existente na proporção 2:1 pode explicar a ocorrência de menor expansão da espuma, pois neste caso houve menor liberação de CO_2 , o que, por consequência, implica diretamente na estrutura do polímero, sendo assim, necessário uma maior quantidade de reagente para a síntese da espuma. Nesta perspectiva, devido as características dos poros, a espuma preparada na proporção 1:1 foi escolhida para realizar os experimentos de sorção.

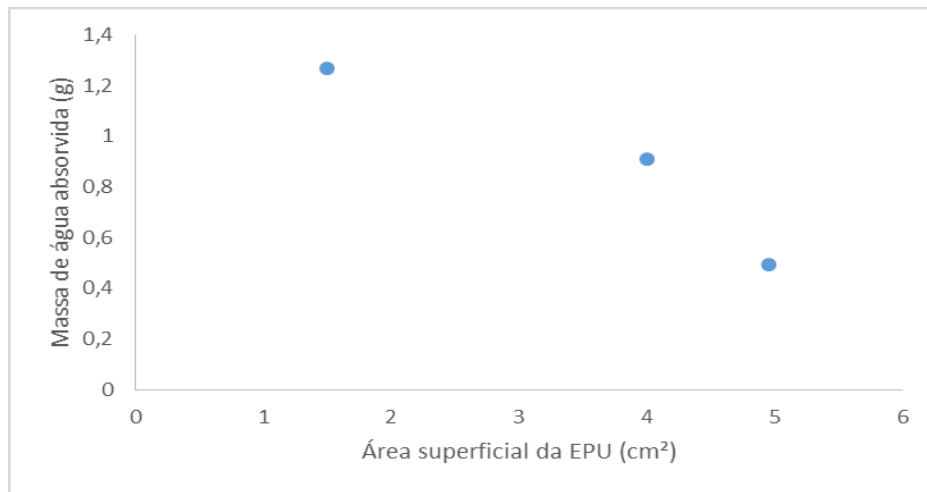
3.3 Área superficial

A sorção de compostos orgânicos ocorre através de dois mecanismos, sendo que um deles envolve o grau de porosidade, hidrofobicidade e estrutura molecular enquanto o outro, a área superficial e volume do material sorvente (ADAMSON, 1997).

A principal propriedade dos materiais sorventes é a estrutura de seus poros. O número total de poros, sua forma e seu tamanho, determinam a capacidade de sorção do sorvente, em conjunto com a área superficial do sólido (RAJAGOPALAN, 1986).

Para avaliar o efeito da área superficial na massa de água sorvida, foram realizados experimentos com espumas nas dimensões de $1,5 \text{ cm}^2$, 4 cm^2 e $4,95 \text{ cm}^2$. Os resultados obtidos estão resumidos na Figura 4.

Figura 4: Massa de água absorvida em função da área superficial da EPU.

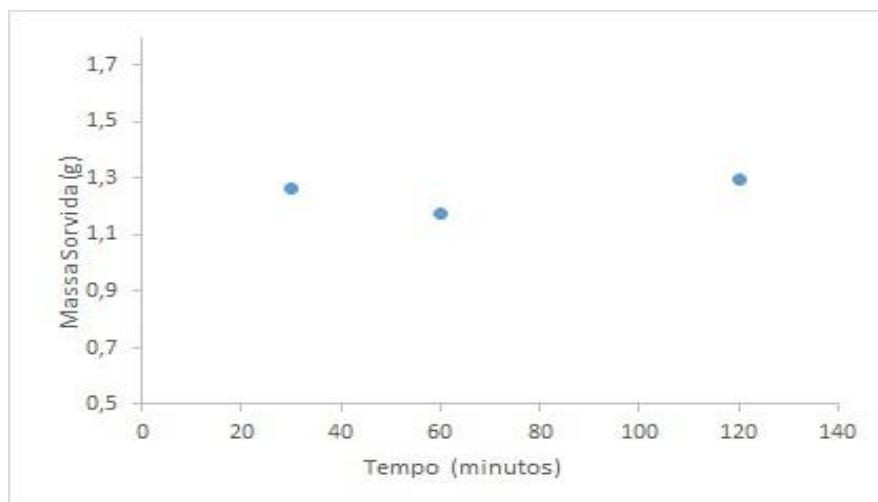


Assim, com base nos resultados obtidos na absorção de água, determinou-se que a quantidade de massa de espuma a ser utilizada seria de 1,0 g com a dimensão de 1,5 cm². A escolha desta dimensão baseou-se no fato de que quanto menor a área superficial da espuma maior a superfície de contato com o meio, logo, houve uma maior absorção de água.

3.4 Absorção de água

Para determinação do tempo de sorção, foram realizados testes de absorção de água com espumas de proporção (1:1) e área superficial de 1,5 cm² observando-se três intervalos de tempo, sendo estes os tempos de 30 minutos, 60 minutos e 120 minutos. A Figura 5 apresenta os valores obtidos da absorção de água em função do tempo.

Figura 5: Massa de água absorvida em função do tempo.



Como é possível observar, a massa de água sorvida pela espuma não variou ao longo do tempo, o que vai de encontro com os resultados obtidos por Tanobe (2007), que afirma que em um curto espaço de tempo, o que é determinante na taxa de sorção é a área de poros. Por outro lado, em intervalos de tempo maiores, quem possui maior influência é a quantidade de poros presentes no material sorvente. Sendo assim, para espumas iguais devemos obter valores constantes.

3.5 Quantificação da amostra

Para estudar a capacidade de sorção da EPU realizou-se a análise de uma amostra sem adição de espuma de modo a se obter o valor de óleos e graxas presentes na amostra. As análises foram realizadas em triplicata, através da metodologia oficial descrita na seção 2.2.2.

A Tabela 1 apresenta os valores obtidos após a realização do soxhlet. Esta é referente à extração feita apenas com água destilada (branco), bem como a solução da amostra coletada (amostra real).

Tabela 1: Quantidade de óleos e graxas obtido após a extração por Soxhlet.

Solução	Massa de óleos e graxas obtida pós-soxhlet (g)
Branco	0,0534
Amostra	0,8036

Como pode-se observar, o branco, feito com água deionizada, apresentou massa de óleos e graxas de 0,0534 g, que pode ser relacionado com contaminação do sistema. Em relação a concentração dos contaminantes óleos e graxas presentes na amostra, obteve-se um valor médio de 0,8036 g, resultando em uma concentração de contaminantes de 1.607,2 mg L⁻¹, sendo considerado um valor acima do máximo permitido pela resolução CONAMA 430/2011, o qual é de 20 mg L⁻¹ para óleos e graxas minerais. O valor obtido para amostra foi considerado em todos os cálculos de remoção.

3.6 Efeito da agitação

A agitação tem total influência no processo de sorção dos contaminantes, visto que o material polimérico, que é submetido a rotação, terá um maior contato efetivo com o meio, facilitando assim o processo de sorção. Desta forma, acredita-se que para sorção de óleos e graxas utilizando EPU, a sorção dinâmica é a melhor escolha. Para verificar tal fato, foram realizados 2 experimentos, sendo um com sorção estática e outro

com agitação de 900 RPM. Cada experimento foi realizado utilizando 1 g de espuma com 1,5 cm² de área. Os resultados estão resumidos na Tabela 2.

Tabela 2: Valores de óleos e graxas removidos de acordo a agitação.

Tempo (min)	Velocidade de agitação (RPM)	Massa de EPU (g)	Remoção (%)
30	0	1	20,56
120	0	1	23,97
30	900	1	86,52
120	900	1	94,81

Observando os valores de remoção obtidos para os experimentos com e sem agitação, pode-se perceber que houve uma maior remoção para os experimentos realizados com agitação, demonstrando que, como esperado, a agitação favorece o processo de sorção.

3.7 Efeito do tempo

Dentre os fatores que favorecem o mecanismo de sorção, é esperado que o tempo atue de forma a favorecer a remoção dos contaminantes. Para verificar o efeito do tempo de exposição, realizou-se dois experimentos com tempo de 30 e 120 minutos de exposição da espuma. Os resultados obtidos estão na Tabela 2.

Com base nos resultados obtidos (Tabela 2), é possível perceber que o valores de remoção mais elevados foram obtidos com um maior tempo de agitação, 94,81%, indicando assim que o tempo de exposição pode influenciar na capacidade de remoção do polímero.

3.8 Efeito da quantidade de massa na sorção

Os experimentos realizados com 1 g de EPU foram repetidos com 3 g, afim de avaliar o efeito da massa na capacidade de sorção da EPU. Na Tabela 3 pode-se observar os resultados referentes a esses experimentos.

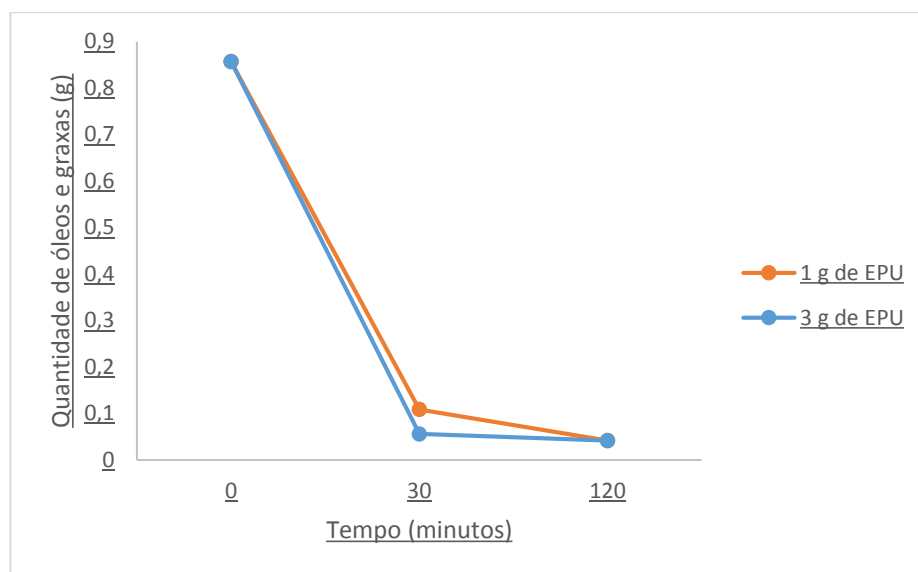
Tabela 3: Valores de óleos e graxas removidos no processo de sorção com 3 g.

Tempo (min)	Velocidade de agitação (RPM)	Massa de EPU (g)	Remoção (%)
30	900	1	86,52

120	900	1	94,81
30	900	3	93,05
120	900	3	94,86

Observa-se os resultados da sorção de óleos e graxas referentes a 3,0 g de espuma, no qual ocorreu a redução de 93,05 % dos contaminantes no intervalo de tempo de 30 minutos. Enquanto no intervalo de tempo de 120 minutos, a remoção foi de 94,86%. Deste modo, os valores obtidos na sorção de óleos e graxas utilizando 3 g de EPU, mostraram-se satisfatórios, embora, assim como na sorção utilizando 1 g de espuma, não tenham sorvido todo o contaminante presente na amostra. A Figura 6, que mostra a quantidade de óleos e graxas sorvida em função do tempo de acordo com a quantidade de EPU utilizada, permite uma melhor visualização destes resultados.

Figura 6: Massa de óleos e graxas sorvidos em função do tempo de acordo com a massa de EPU.



Nota-se que a remoção de óleos e graxas utilizando 1 g e 3 g de EPU apresentou valores semelhantes, ou seja, não há interferência significativa da massa na capacidade de sorção, uma vez que a utilização do tempo como variável permite que a espuma de 1 g alcance uma capacidade de remoção do contaminante semelhante ao da sorção realizada com 3 g.

A EPU mostrou-se eficiente na sorção de óleos e graxas, apresentando alto índice de remoção dos contaminantes. Contudo, esperava-se que em decorrência do aumento da massa, a remoção de óleos e graxas crescesse linearmente, o que não aconteceu. Isso pode ter ocorrido graças a uma ineficiência da agitação em relação ao sistema com 3 g de espuma, devido às limitações técnicas.

4. Considerações Finais

Mediante os resultados obtidos, constatou-se que as espumas de poliuretano apresentaram eficiência na sorção dos contaminantes, reduzindo no mínimo, 86% dos óleos e graxas presentes nas amostras de águas de lavagens coletadas. Embora a remoção dos contaminantes pela espuma de poliuretano não tenha sido suficiente para enquadrar as amostras dentro dos parâmetros máximos de 20 mg L⁻¹, sugeridos pela legislação, a redução dos contaminantes foram satisfatórios, chegando-se a valores de limites aceitáveis para padrões vigentes de alguns Estados brasileiros.

No estudo de sorção, constatou-se que as espumas de poliuretano apresentaram melhores capacidade de sorção em sistema dinâmico, fator que pode influenciar na viabilidade econômica de sua utilização pelas empresas. Além disso, outros fatores também influenciam na capacidade de sorção de materiais poliméricos como as espumas de poliuretano, entre eles, as condições de exposição ao meio, os tipos de reagentes utilizados, o diâmetro e a distribuição dos poros, pH, temperatura e outros, sugerindo-se novos estudos de sorção por esses materiais.

5. Agradecimentos

Aos professores Daniel Spudeit e Juliano Maritan, pela orientação oferecida durante a realização do estudo. E a todos os servidores do curso Técnico em Química (Modalidade Integrado), do Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Jaraguá do Sul, em especial a professora Luciana Pinheiro e ao estagiário de laboratório Felipe Benevenuti, que contribuíram para a realização desta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. 1986.

ADAMSON, A. W.; GAST, A.P. **Physical Chemistry of surfaces**. ed. 6., WileyInterscience, N.York, 1997.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association. 1998.

BERGAMASCO, A. M. **Contaminantes químicos em águas destinados ao consumo humano no Brasil**. Cad. Saúde Colet., 2011, Rio de Janeiro.

COUTINHO, F.M.B, DELPECH, M.C. **Poliuretanos como materiais de revestimento de superfície**. Polímeros: Ciência e Tecnologia. p. 41-48, 1999.

FARIN, D.; AVNIR, D. **The Effects of the Fractal Geometry of Surfaces on the Adsorption Conformation of Polymers at Monolayer Coverage**. Part I. The Case of Polystyrene. *Colloid and Surfaces*, v. 37, 144-170, 1989.

FERREIRA, Elizabeth de M.M. **Uso de espuma de poliuretano na extração de índio de meio iodeto**. Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica (PUC). Rio de Janeiro, 2003.

FERREIRA, A. *et al.* **Materiais Funcionais para a Proteção Ambiental**. *Química Nova*. Nº 8, p. 30-38. 2014.

KIPPER *et al.* **Estudo do aproveitamento do resíduo de espuma rígida de poliuretano no isolamento térmico de produtos de refrigeração - na busca da manufatura sustentável**. IN: 28th Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro. ABREPRO, 2008.

MINISTÉRIO MEIO AMBIENTE (MMA). Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 01 de jul. 2016.

PIGNATELLO, J.J. **The measurement and interpretation of sorption and desorption rates for organic compounds in soil media**. *Advances in Agronomy*, v. 64, p. 1-73 2000.

PEREIRA, R. S. **Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos**. *Revista Eletrônica de Recursos Hídricos*. IPH - UFRGS. V. 1, n. 1. p. 20-36. 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE DUQUE DE CAXIAS. SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE E PROJETOS ESPECIAIS (SEMAPE). **Cadastro Municipal de Atividades Potencialmente Poluidoras**. 2004.

RAJAGOPALAN, R. **Principles of Colloid and Surface Chemistry**. 3rd Ed. Marcel Dekker, N. York, 1986.

SOARES, Márcio Steinmetz. **Síntese e caracterização de espumas de poliuretano para imobilização de células integras e aplicação na síntese de biodiesel**. Lorena, 2012.

TANOBE, Valcineide Oliveira de Andrade. **Desenvolvimento de Sorventes à Base de Espumas de Poliuretanos Flexíveis de para o Setor do Petróleo.** Dissertação de Mestrado. UFPR, 2007.

TEIXEIRA, P. C. **Emprego da filtração por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água.** Dissertação de Mestrado. UEC, 2003.

VON SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de Esgotos.** UFMG, 2005.

VON SPERLING, M. V. **Princípio do tratamento biológico de águas residuárias.**
IN: Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 1995.

