

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE ESPUMAS DE POLIURETANO COM GRAFENO NANOPLALETELES FUNCIONALIZADO

Mariluci Brites de Araujo Mitrus

Faculdade de Tecnologia José Crespo Gonzales – Fatec Sorocaba, Sorocaba – SP

RESUMO: Os poliuretanos (PUs) estão entre os principais polímeros em crescimento global, devido a sua a versatilidade e ampla gama de aplicações industriais e comerciais. A produção de (PUs) envolve a reação entre isocianato (-NCO) e grupos hidroxilas (-OH), resultando em isocianatos e polióis. As espumas de poliuretano são produzidas por poliadição entre poliisocianatos e polióis, que podem variar em peso molecular e contém dois ou mais grupos de hidrogênio reativos. As espumas flexíveis, conhecidas como materiais celulares flexíveis, possuem células abertas ou fechadas distribuídas ao longo de sua massa. Essas espumas são amplamente utilizadas em móveis, colchões, estofados, automóveis, embalagens, isolamento acústico ou térmico na construção civil, devido a sua flexibilidade, resistência, mecânica e durabilidade. As espumas de poliuretano são fundamentais em várias indústrias devido às suas propriedades ajustáveis, determinadas pela proporção dos reagentes, são ideais para diversas aplicações devido a sua rigidez, dureza e densidade, que traz benefícios para soluções sustentáveis que reduzem o impacto ambiental. O grafeno, uma forma bidimensional do carbono. O termo grafeno foi usado pela primeira vez em 1987, mas a definição oficial foi reconhecida em 1994 pela Internacional Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). Mas em 2004 os pesquisadores conseguiram isolar pequenos fragmentos esfoliados a partir de grafite, utilizando técnicas de esfoliação mecânica, onde foi separada uma única camada de átomos de carbono. Após análise de caracterização verificaram que se tratava de uma estrutura única. Este material extraordinário possui propriedades excepcional, como alta condutividade elétrica e térmica, resistências mecânica e leveza, tornando-se uma das maiores descobertas científicas. O presente trabalho visa analisar, através de um planejamento fatorial 2^2 , como a proporção de reagentes e a qualidade de grafeno influenciam as propriedades da espuma de poliuretano, com potencial aplicação na absorção de óleo em água.

Palavras-chave: Poliuretano; Espumas; Grafeno; Propriedades; Reagentes.

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF POLYURETHANE FOAM WITH FUNCTIONALIZED GRAPHENE NANOPATELETS

ABSTRACT: Polyurethane are among the globally growing polymers due to their versatility and wide range of industrial and comercial applications. The production of Polyurethane involves the reaction between socyanates (-NCO) and hidroxyl groups (-OH), resulting in isocyanates and polyols. (PUs) foams are produced by polyaddition between polysocyanates and polyols, which can vary in molecular weight and contain two or more reactive hidrogen groups. Flexible foams, known as flexible cellular materials, have open or closed cells distributed throughout their mass. These foams are widely used in furniture, mattresses, upholstery, automobiles, packaging, acoustic or thermal insulation in construction, due to their flexibility, resistance, mechanics and durability. Polyurethane foams are essential in several industries due to their adjustable properties, determined by the proportion of reactants, they are ideal for various applications due to their rigidity, hardness and density, which brings benefits to sustainable solutions that reduce environmental impact. Graphene, a two-dimensional form of carbon. The term graphene was first used in 1987, but the official definition was recognized in 1994 by the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). But in 2004, researchers managed to isolate small fragments exfoliated from graphite, using mechanical exfoliation techniques, where a single layer of carbon atoms was separated. After characterization analysis, they verified that it was a unique structure. This extraordinary material has exceptional properties, such as high electrical and thermal conductivity, mechanical resistance and lightness, making it one of the greatest scientific discoveries. The present work aims to analyze, through a factorial design 2², how the proportion of reactants and the quality of graphene influence the properties of reactants and the quality of graphene influence the properties of polyurethane foam, with potential applications in the absorption of oil in water.

Keywords: Polyurethane; Foams; Graphene; Properties; Reagents.

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

1 INTRODUÇÃO

Os poliuretanos (PUs) são um dos polímeros que mais crescem no mundo, por ser um material versátil e uma ampla gama no mercado para diversas aplicações industriais e comerciais. Sua principal reação de produção de poliuretanos tem como os reagentes químicos isocianatos (-NCO) e grupos hidroxilas (-OH). Na sua síntese o PU resulta em duas substâncias químicas: isocianatos e polióis (ALVES, 2021).

As espumas de poliuretanos são produzidas pela reação de poliadição de um poliisocianatos (bifuncional) e um polioliol podendo ser outros reagentes (contendo dois ou mais grupos de hidrogênio reativos), e podem variar o peso molecular os compostos contendo hidroxilas. (SILVA, 2011). As espumas flexíveis também são conhecidas como materiais celulares flexíveis, como materiais contendo numerosas células abertas ou fechadas, distribuídas ao longo de sua massa, podendo ser definida uma espuma de poliuretano como um produto celular expandido, produzido pela interação entre composto de hidrogênio reativos, água e isocianato (SILVA, 2011). Esse tipo de espuma flexível de PU é muito utilizada na sua produção pode ser aplicada em móveis, colchões e de almofadas para assentos em geral, automóveis, embalagens, isolamento acústico ou térmico na construção civil, entre outros, por ter características e propriedades de flexibilidade, resistência mecânica e durabilidade (ALVES et al.,2024).

A proporção das misturas de reagentes é determinada para obter uma espuma rígida ou flexível, maior ou menor dureza, aderência ou densidade, entre outras características, podendo ser moldados com densidades variáveis o que os torna leves e ideais para aplicações, e econômicas em diversas áreas, como em construção civil e indústria automotiva. As espumas de poliuretanos vêm desenvolvendo um papel muito importante nas indústrias, por ter propriedades únicas e por suas versatilidades, melhorando sua eficiência. Além disso, o desenvolvimento de formas de descarte adequadas desse material contribui significativamente para redução do impacto ambiental, por meio de técnicas de reciclagem, reutilização em novos produtos ou métodos de decomposição que visam minimizar o impacto ambiental.

O grafeno é uma forma alotrópica do carbono, tendo uma estrutura bidimensional de átomos de carbono compactados e com espessura de apenas um átomo. Sua estrutura é hexagonal, formada por ligações sp^2 dos átomos de carbono, representando uma monocamada isolada do

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

grafite. A partir do grafeno é possível construir camadas com várias dimensionalidades (SOUZA, 2017).

Devido á várias propriedades eletrônicas excepcionais desse material, sendo um dos melhores condutores de eletricidade, excelente condutividade térmica, resistência mecânica do grafeno oferecem a indústria de nanomateriais uma alternativa potencial ao silício e ao diamante em aplicações como, transístores de efeito de campo, sensores de pressão, elétrodos flexíveis e transparentes para células de energia solar tendo uma ampla gama de inovações em diversas áreas .

O termo grafeno foi usado pela primeira vez em 1987, mas a definição oficial foi reconhecida em 1994 pela Internacional Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). Mas em 2004 os pesquisadores conseguiram isolar pequenos fragmentos esfoliados a partir de grafite, utilizando técnicas de esfoliação mecânica, onde foi separada uma única camada de átomos de carbono. Após análise de caracterização verificaram que se tratava de uma estrutura única. O grafeno é considerado uma das maiores descobertas no campo da ciência e tecnologia, devido às suas excelentes características (SOUZA, 2017). Em sua aplicabilidade o grafeno vem sendo melhor na indústria para produção de condutores, sensores, recobrimento de materiais, nanocompósitos etc. Uma Pequena quantidade de grafeno (de 0,01% até 5%) pode aumentar sua condutividade em materiais poliméricos, tendo excelente propriedades térmicas, resistência mecânica e química. Também vem sendo usado em eletrônica purificação e descontaminação de água, biossensores e supercapacitores (PEREIRA, 2022). O objetivo do trabalho, é analisar através de planejamento fatorial de 2^2 , a influência das variáveis razões NCO/OH e quantidade de grafeno nas propriedades e características da espuma de Poliuretano, com potencial aplicação para absorção de óleo em água.

1.1 Justificativa do tema

Elaborar a espuma com grafeno para absorção de óleo em água, reduzindo o impacto ambiental.

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

1.2 Problema de Pesquisa

A contaminação do óleo, principalmente o óleo de cozinha, tem apresentado diversas consequências relativamente a poluição da água, dado que aproximadamente 1 litro de óleo despejado no esgoto pode poluir um milhão de litros de água, o que equivale ao consumo de uma só pessoa por 14 anos redundante. Dessa forma, meios de remediação para essa contaminação têm sido propostos, e uma aplicação promissora é a espuma à base de grafeno, uma vez que o grafeno apresenta características hidrofóbicas, onde pode vir a interagir quimicamente com o óleo, e a espuma por possuir diversos poros em sua estrutura, facilita a absorção de óleo pelo material (Bortoluzzi, 2011).

1.3 Objetivo Geral

Apresentar uma reação de polimerização do poliuretano, usando reagentes para produzir espumas de poliuretanos, analisar suas características e propriedades e estudar o potencial dessas espumas, usando técnicas de caracterização das espumas obtidas na síntese por Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier e Microscopia eletrônica de Varredura de modo a analisar as propriedades dos materiais obtidos.

1.4 Hipóteses

Seria possível a espuma de PU com grafeno ser um material capaz de absorver óleo em água?

2 DESENVOLVIMENTO

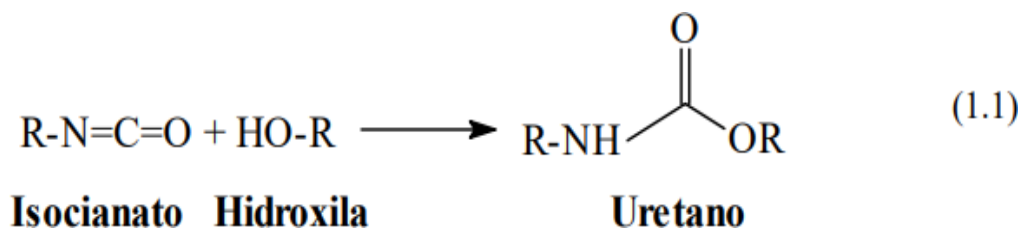
2.1 Poliuretano

Em 1937 Otto Bayer na Alemanha desenvolveu os primeiros polímeros Poliuretanos (PUs), que são obtidos através da reação química, o grupo uretano formado pela reação entre um álcool e um isocianato ao se reagir, quais sejam: isocianato (di ou polifuncionais), que

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

juntamente poliol e outros reagentes como agente de cura ou extensores de cadeia, contendo dois ou mais grupos relativos, catalisadores; agentes de expansão; surfactantes; cargas; agentes antienvelhecimento; pigmentos e corantes (VILAR, 1998). A figura 1 mostra um exemplo dessa síntese.

Figura 1: Reação de obtenção do uretano.



Fonte: CANGEMI (2009).

O Poliuretano (PU) é considerado um dos principais polímeros mais promissores talvez, das últimas décadas, dentre outros motivos, pela imensa versatilidade em se obter materiais com propriedades físicas e químicas diferentes; promove um expressivo aumento de tamanho e apresenta um aspecto final de espuma em sua reação química sendo flexível ou rígida.

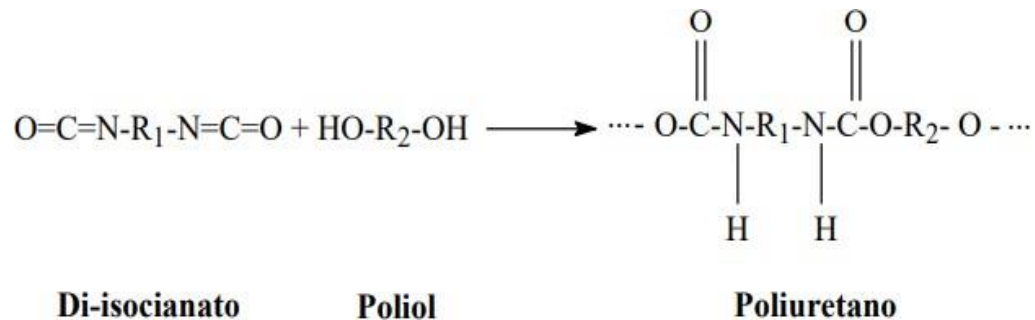
2.2 Síntese do Poliuretano

A síntese do poliuretano (PU) no seu processo de reação ocorre em duas etapas principais que produzem o polímero: A primeira é a reação de gelificação e reação sopro entre um isocianato e um álcool, na segunda etapa a reação sopro acontece entre a água e o isocianato, chamado de ácido carbônico, onde se decompõe e forma o dióxido de carbono (CO₂) com grupo de amina onde ocorre a expansão do material em forma de espuma (ALVES, 2021), sendo responsável pela formação do agrupamento PU considerada como a reação de propagação da cadeia poliuretano. Sendo assim o isocianato, o extensor de cadeias, os polióis, e aditivos são misturados ao mesmo tempo para formar o produto. Na figura 2 pode-se observar como acontece a polimerização dos uretanos quando reage com dois ou mais

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

isocianatos, sendo um álcool polifuncional, ou um polioli.

Figura 2: Reação da síntese da espuma de poliuretano.



Fonte: CANGEMI (2009).

Essa reação do isocianato com hidroxila, tendo a polimerização dos poliuretanos, pode ter reações paralelas envolvendo os grupos isocianatos. (CANGEMI, 2006).

O poliuretano apresenta grande aplicabilidade e em diversas áreas, tais como em indústrias automotivas, de calçados, medicinais, estofados, refrigeradores, adesivos e em construção etc. Os (PU) são materiais versáteis, modernos e seguros, permitindo assim que ele seja utilizado em várias formas, em uma ampla gama de aplicações para criação de todos os tipos de produtos industriais e básicos no dia-dia, caracterizado pela sua estrutura semelhante à espuma (ALVES, 2021).

2.3 Espumas flexíveis de poliuretano

As espumas flexíveis de (PU) podem ser definidas como um produto celular expandido, como materiais contendo um número elevados de células, distribuídas ao longo de sua massa. Através de uma interação entre composto de hidrogênio reativos, água e isocianatos. Por meio de uma reação de poliadição de poliisocianato e um polioliol, podendo outros reagentes, contendo dois ou mais grupos de hidrogênios reativos. Alguns compostos contendo hidroxilas variam seu peso molecular. (SILVA, 2011).

As espumas flexíveis de PU são amplamente utilizadas no mundo devido à sua grande

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

versatilidade para diversas aplicações como materiais de amortecimento em aplicações do setor moveleiro, colchões, embalagens, entre outros (KAUR et al.2022).

Para produzir espumas flexíveis com características desejadas é necessário que se inicie os reagentes polioli e isocianato para reação de polimerização na presença de outros compostos. Já as espumas rígidas vêm sendo muito utilizadas na área da indústria de construção, onde é usada principalmente para isolamento e refrigeração comercial.

2.4 Polioli

Os polióis são álcoois com mais de um grupo, contendo grupos hidroxilas, sendo poliéter ou poliéster, e polióis hidrocarbônicos o principal uso do polioli é em espumas de poliuretano, podendo reagir com os isocianatos, composto com o grupo uretano, e constituem umas das principais matérias-primas para a fabricação de poliuretano. Pode-se utilizar óleos vegetais para a preparação de polióis síntese de PUs (ALVES, 2021).

2.5 Isocianatos

A química envolvida na síntese de um poliuretano está baseada nas reações do grupo isocianato, sendo reativo, pode-se formar dímeros, trimeros ou até carbodiimidas. A fórmula geral dos isocianatos pode ser representada $R(N=C=O)_n$.

Os isocianatos podem ser aromáticos (aumentam a rigidez) ou alifáticos (aumenta a flexibilidade), ou cíclicos, onde o R poderá ser grupos aromáticos, alifáticos ou cíclicos e “n” representa a o isocianato, podem variar de 2 (diisocianato) até 4 (Poliisocianatos), (SOARES, Márcio Steinmetz, 2012).

O grupo isocianato ($-N=C=O$) deve-se a carga positiva do átomo de carbono provocada por uma sequência em ressonância das duplas ligações entre o nitrogênio, o carbono e o oxigênio, conforme a figura 3.

Figura 3: Estruturas de ressonância do isocianato



Fonte: SOARES (2012).

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

Tudo isso depende das propriedades finais desejadas, estão envolvidas durante o processo de produção de espumas de poliuretano, eles são muito utilizados na fabricação de espuma flexíveis e rígidas, fibras, revestimentos, como na indústria e materiais de isolamento de construção etc. Cerca de 95% são derivados do diisocianato de tolueno (TDI) e do diisocianato de 4,4 difenilmetano (MDI). Porém os sistemas a base de MDI, ainda necessitam de menores concentrações de polioliol reforçado.

2.6 Grafeno

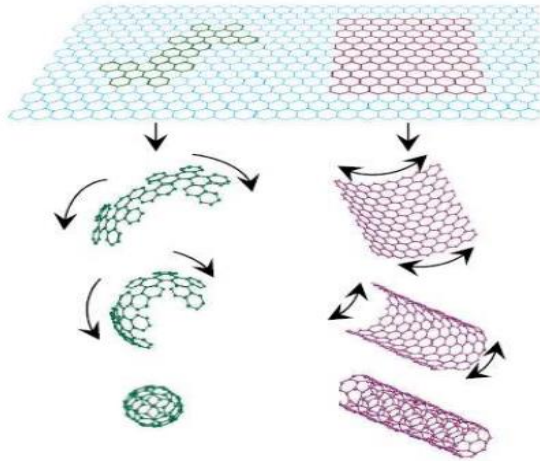
Em 1987 foi usada pela primeira vez o termo “grafeno”, mas foi reconhecido oficialmente em 1994 pela International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC).

Os pesquisadores no ano de 2004, conseguiram isolar uma pequena quantidade fragmentos a partir de grafite, onde foram estudados o grafite e por meio da técnica de esfoliação e após análises de caracterização verificaram que se tratava de uma única estrutura de camada de átomos de carbono, sendo assim, o grafeno é uma das maiores descobertas no campo da ciência e tecnologias devido às suas excelentes características e grande potencial de aplicação no ramo da indústria.

O grafeno é uma forma alotrópica do carbono, tendo uma estrutura bidimensional de átomos de carbono compactados e com a espessura de apenas um átomo. Sua estrutura é hexagonal, formada por ligações sp^2 dos átomos de carbono, representando uma monocamada isolada do grafite, sendo então que a partir do grafeno é possível construir materiais com várias dimensionalidades (SOUZA, 2017).

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

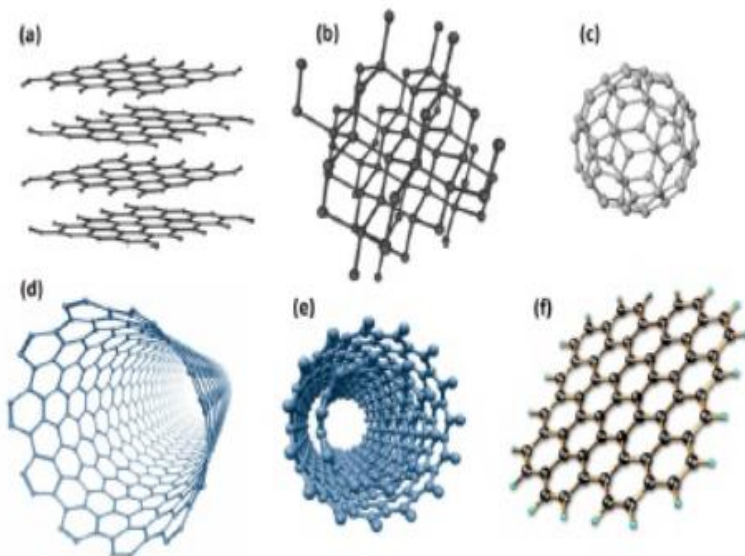
Figura 4: Construção de materiais com outras dimensionalidades a partir de uma folha de Grafeno



Fonte: SOUZA, (2017).

A figura 5 ilustra algumas das estruturas de carbono.

Figura 5: Representação esquemática de diferentes alótropos de carbono: a) grafite; b) diamante; c) fulereno; d) nanotubo de carbono de paredes simples; e) nanotubo de carbono de parede múltipla; f) grafeno.



CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

2.7 Síntese de Óxido de Grafeno (OG)

Em 1859 foi sintetizado pela primeira vez o óxido de grafite, pelo químico britânico Brodie tendo a mistura de grafite composta por clorato de potássio, nítrico e ácido. Com passar do tempo o pesquisador Staudenmaier Hummers desenvolveram diferentes métodos para fabricar OG. Embora o grafeno apresenta uma gama alta em suas aplicações, em diversos campos, principalmente na indústria para produção de condutores, sensores, recobrimento de materiais, nanocompósitos etc. Pequenas quantidades de grafeno (de 0,01% até 5%) podem aumentar sua condutividade em materiais poliméricos, tendo excelente propriedades térmicas, resistência mecânica e química, vem sendo usado em eletrônica purificação e descontaminação de água, biossensores e supercapacitores (PEREIRA, 2022).

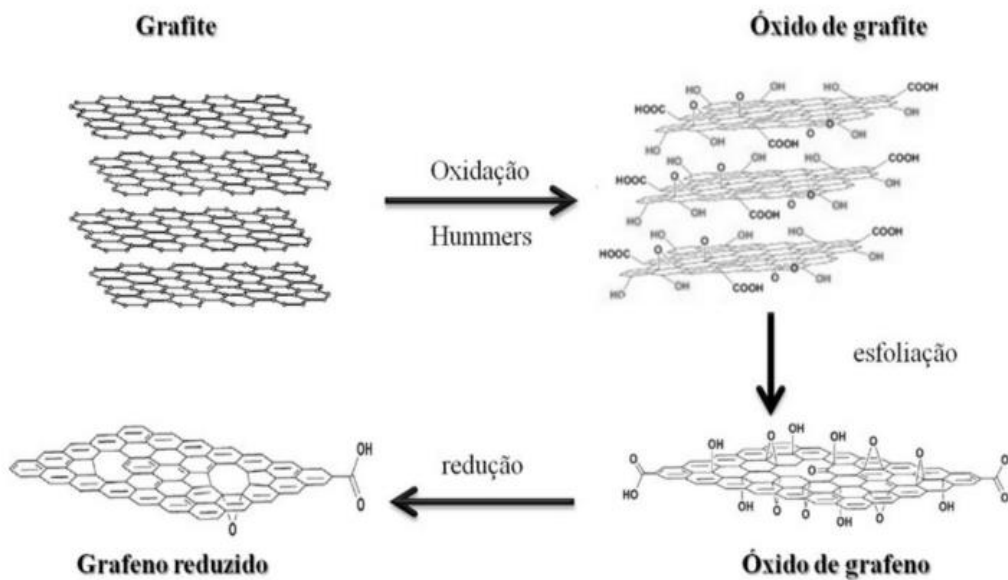
O óxido de grafeno está sendo mais usado para a fabricação de nanocompósitos poliméricos a base de grafeno devido ao seu baixo custo e alto custo rendimento de produção, na sua matriz polimérica o óxido de grafeno pode ser disperso usando técnicas de mistura de solução, mistura de fusão ou polimerização.

O grafeno pode ser dividido em dois tipos: A primeira parte de átomos simples de carbono para a formação da estrutura de hexagonal e a segunda parte do grafite onde o material forma camadas de átomos de carbono ligados entre si formando hexágonos, onde se esfolia as camadas para obter apenas uma, o grafeno (SOUZA, 2017).

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

A figura 6, ilustra algumas das estruturas de carbono.

Figura 6: Esquema do processo de obtenção do óxido de grafeno reduzido



3 MATERIAIS

Os materiais utilizados para a síntese das espumas com grafeno foram: Grafeno tipo nanoplateletes funcionalizado em suspensão de 0,5% (DGD Grphtek Soy), 4,4-diisocianato de difenilmetano (MDI) da empresa Redelease e mistura de polióis da empresa Redelease.

3.1 Metodologia

O procedimento experimental adotado pode ser observado Tabela 1, no qual foi adaptado (ALVES, *et al.*, 2023), que consiste no processo de síntese chamado *one-shot*. Para o preparo das amostras, foram pesados aproximadamente 2g de polioliol e adicionou-se a quantidade desejada de grafeno por meio de uma micropipeta. Agitou-se o polioliol com grafeno e posteriormente pesou-se 2g de isocianatos no mesmo recipiente, e por fim agitou-se vigorosamente até a formação e expansão da espuma, que indica o início da reação.

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

Tabela 1. Procedimento experimental para a síntese das espumas com grafeno.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Razão mássica (NCO/OH)	1:1	1:1	1:2	1:2
Quantidade de grafeno (mL)	1	2	1	2

Fonte: Autor

Dessa forma, obtiveram-se 4 espumas com características distintas, mais a espuma controle na razão 1:1 de isocianato e poliols, e a razão 1:2 de isocianato e poliols, como pode ser observado na Figura 4. Assim, foi realizado um planejamento fatorial de 2^2 que resulta em 4 experimentos de modo a analisar a influência das duas variáveis, nesse caso a quantidade de grafeno e a razão de isocianatos em relação ao poliols nas propriedades finais da espuma, tais como sua morfologia e composição química.

Figura 7. Espumas obtidas com grafeno.



Fonte: Autor.

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

3.2 Caracterizações

3.2.1 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Os materiais foram caracterizados por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier, com refletância total atenuada no espectrofotômetro (Perkin Elmer Spectrum 65). O comprimento de onda medido foi de 4.000 a 500 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} .

3.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

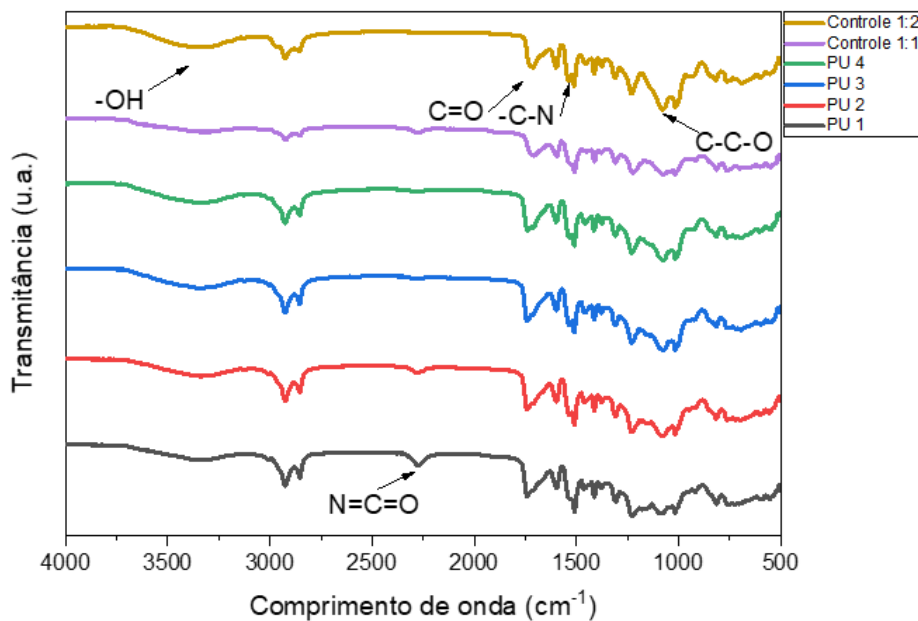
As amostras foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura, utilizando um microscópio Hitachi TM3000. Para o preparo das amostras a superfície da amostra esteja limpa e livre de partículas soltas e impurezas. Uma camada fina de carbono na superfície da amostra, onde permitindo o escoamento dos elétrons gerados no MEV e a formação de imagens nítidas. Envolveu um processo de redução de tamanho da espuma foi utilizado um estilete adequado para a porta amostras do MEV, foi utilizado uma pinça para manusear a amostra com cuidado, evitando danos à sua estrutura.

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Figura 5: Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) para as 4 amostras com grafeno mais a amostra controle.



Fonte: Autor.

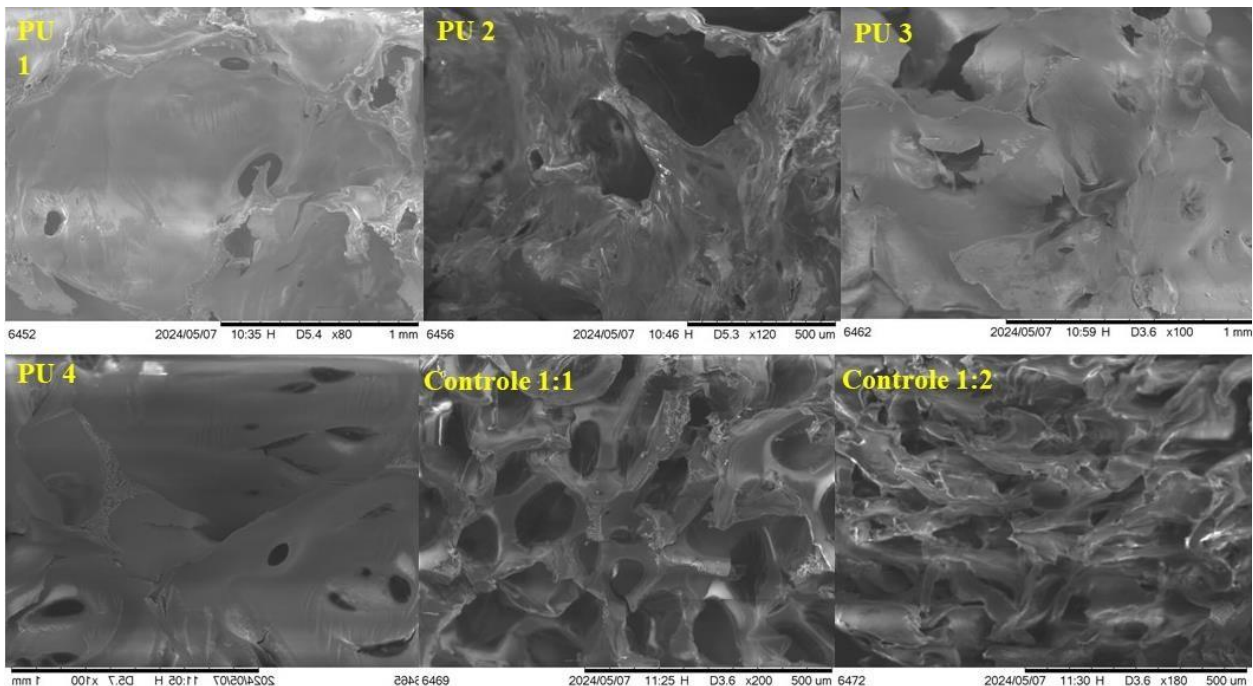
Ao observar o gráfico na figura 5 da Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), pode-se perceber que a reação do PU foi bem-sucedida, conforme o aparecimento das bandas de referências primárias. Em 3350 cm⁻¹, há alongamento dos grupos (-OH) residuais do polioliol que não participou da formação do uretano. Em 2930 cm⁻¹ e 2850 cm⁻¹, existem vibrações de alongamento do assimétricos, e grupos metileno simétricos, respectivamente. A presença da ligação carbonila é notável em 1713 cm⁻¹. A banda em 1594 cm⁻¹ origina-se dos anéis aromáticos presentes no isocianatos. Em 1511 cm⁻¹ dobrando vibrações decorrentes do uretano, são observáveis, além do estiramento vibração de C-N (amida II). Em 1412 cm⁻¹ a vibração de flexão da ligação (CH) é evidente em 1307 cm⁻¹ nos grupos (CH₃). Em 1084 cm⁻¹ há vibração de alongamento da ligação (C-C-O), enquanto a banda em 2272 cm⁻¹ está relacionada aos grupos isocianatos que permanecem da reação. Por fim, vale ressaltar que a adição do grafeno no PU não resultou em nenhuma alteração de

banda no gráfico.

4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As imagens das espumas com a adição de grafeno podem ser observadas na figura 6.

Figura 6. Morfologia das 4 amostras com grafeno mais a amostra controle.



Fonte: Autor.

As micrografias das espumas de poliuretano com nanoplateletes de grafeno revelam que a morfologia é significativamente influenciada pela razão mássica de isocianatos (NCO) para polioliol (OH) e pela quantidade de grafeno. Espumas com razão mássica 1:1 e menor quantidade de grafeno (PU 1 e PU 2) apresentam uma estrutura celular mais uniforme, enquanto aquelas com maior quantidade de grafeno (PU 2) exibem uma maior densidade e heterogeneidade devido à nucleação intensificada. Por outro lado, espumas com razão mássica 1:2 (PU 3 e PU 4) mostram poros mais irregulares e compactos, indicando que o excesso de polioliol torna a matriz mais densa e potencialmente mais flexível. Assim, a combinação de maior proporção de polioliol e maior quantidade de grafeno (PU 4) resulta na estrutura mais densa observada, refletindo a interação sinérgica entre o grafeno e os

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

componentes da espuma (Thiagu; Manjubala; Narendrakumar, 2021).

Nas amostras com razão mássica 1:1 (PU 1 e PU 2), a presença de grafeno aumenta a densidade e heterogeneidade da estrutura celular, especialmente em PU 2, onde a maior quantidade de grafeno leva a uma nucleação intensificada, resultando em poros menores e mais numerosos. Para as amostras com razão mássica 1:2 (PU 3 e PU 4), o grafeno também contribui para uma estrutura mais compacta e densa, particularmente em PU 4, que possui a maior quantidade de grafeno (YADAV, 2013).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos por FTIR, a reação de polimerização do poliuretano foi confirmada, evidenciando a formação da estrutura de uretano, entretanto não houve a formação de novas bandas após a adição de grafeno. A análise por MEV revelou variações na morfologia das espumas de poliuretano com grafeno, indicando a influência da quantidade de grafeno na estrutura celular e porosidade das espumas, bem como da proporção entre os reagentes na síntese. Por fim, não foi possível atingir a hipótese levantada, dado que não houve tempo para o ensaio de absorção em óleo da espuma, sendo cumprido apenas o objetivo específico de síntese e caracterização das espumas.

6 AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, a minha família pelo apoio durante esse tempo de estudos. A FATEC Sorocaba pelo ambiente de estudos e aos professores. Aos meus orientadores, Professora Maira L. Rezende, e Lucas Repecka Alves que ajudaram muito a desenvolver o trabalho, pelos conhecimentos e ensinamentos científicos transmitidos, pela confiança e paciência durante o trabalho de graduação.

7 REFERÊNCIAS

ALVES, Lucas Repecka et al. **A utilização de óleos vegetais como fonte de polióis para a síntese de poliuretano: uma revisão.** *Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas*, v. 22, n. 1, p. 99-118, 2021.

ALVES, Lucas Repecka. **Preparação, caracterização e aplicação de tinta bicomponente de poliuretano à base de óleo de mamona.** 2024.

Alves, L. R., Carriello, G. M., Pegoraro, G. M., Lopes, H. S. M., Janolla, T. D. A., Dias, A. N. C., ... & Menezes, A. J. D. (2023). **Synthesis and characterization of polyurethane and samarium (III) oxide and holmium (III) oxide composites.** *Polímeros*, 33(4), e20230039.

BORTOLUZZI, Odete Roseli dos Santos. **A poluição dos solos e águas pelos resíduos de óleo de cozinha.** 2011.

CANEVAROLO JR, Sebastião V. **Ciência dos polímeros.** Artiber editora, São Paulo, v. 24, 2002.

CANGEMI, José Marcelo; SANTOS, AM dos; CLARO, N. S. **Poliuretano: de travesseiros a preservativos, um polímero versátil.** *Química Nova na Escola*, v. 31, n. 3, p. 159-164, 2009.

CASTRO, M. O. **Síntese de grafeno pelo método CVD.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará, 2011.

CANGEMI, J.M.; SANTOS, A.M. e CLARO NETO, S. **Biodegradação: uma alternativa para minimizar os impactos decorrentes dos resíduos plásticos.** *Química Nova na Escola*, n. 22, 2005.

CANGEMI, J.M. **Biodegradação de poliuretano derivado do óleo de mamona.** 2006. 132 f. Tese (Doutorado)- Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

FENNER, Bruna Rossi. **Desenvolvimento de espumas de poliuretano revestidas com formas alotrópicas de carbono para utilização como solvente de petróleo e outras substâncias orgânicas.** 2017.

LEANDRO, Ingrid Schneider. **Síntese de polióis de fonte renovável para a produção de espumas flexíveis de poliuretano.** 2021.

LIMA, Viviane de. **Estudo de catalisadores organometálicos na síntese de poliuretanos.** 2007. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

PEREIRA, Eric Luiz. **Compósitos de óxido de grafeno e polianilina obtidos “in situ” por via eletroquímica.** 2022.

ROCHA, Keslei Rosendo da. **Modificações em espumas de poliuretano pós-comercializadas para sorção de óleos derramados em água do mar.** 2024.

SILVA, Fábio Pinto da. **Usinagem de espumas de poliuretano e digitalização tridimensional para fabricação de assentos personalizados para pessoas com deficiência.** 2011.

SAVIOLI, Mayara Quagliato. **Síntese e caracterização de um pré polímero de uretano fundido confeccionado com poliols de origem vegetal e avaliação das propriedades mecânicas.** 2022.

SOUZA, Diego Cardoso de. **Desenvolvimento de nano-esponja de grafeno e sua aplicação em vazamentos de petróleo.** 2017.

SOARES, Márcio Steinmetz. **Síntese e caracterização de espumas de poliuretano para imobilização de células íntegras e aplicação na síntese de biodiesel.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.



CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM POLÍMEROS

SANTOS, Felipe Prado Alexandrino dos. **Caracterização de blocos flutuantes de espuma de poliuretano**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

THIYAGU, C.; MANJUBALA, I.; NARENDRAKUMAR, U. **Thermal and morphological study of graphene based polyurethane composites**. *Materials Today: Proceedings*, v. 45, p. 3982-3985, 2021.

VILAR, W. D. **Química e tecnologia dos poliuretanos**. Rio de Janeiro: Vilar consultoria, 1998.

VILAR, W. **Livro química e tecnologia dos poliuretanos**. Rhodia Solvay Group. TPU. Cap 6.5-7.0, 8f, 2023. Disponível em: <http://www.poliuretanos.com.br/>.

ZARBIN, Aldo JG; OLIVEIRA, Marcela M. **Nanoestruturas de carbono (nanotubos, grafeno): Quo Vadis?** *Química Nova*, v. 36, p. 1533-1539, 2013.

YADAV, Santosh Kumar; CHO, Jae Whan. **Functionalized graphene nanoplatelets for enhanced mechanical and thermal properties of polyurethane nanocomposites**. *Applied Surface Science*, v. 266, p. 360-367, 2013.