

## ESTUDO DO OCTADECILAMINA (ODA) INCORPORADO EM BLENDA DE POLI(METACRILATO DE METILA) E POLIESTIRENO PARA APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA AEROESPACIAL

*Jacqueline Sousa<sup>1\*</sup>, Kátia Aparecida<sup>2</sup>, Renata Santos<sup>3</sup>*

1. Programa de Pós-graduação em Engenharia Aeroespacial, UFPE. E-mail: [jacqueline.ssousa@ufpe.com](mailto:jacqueline.ssousa@ufpe.com)
2. Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Energia Nuclear, Laboratório de Polímeros e Nanoestruturas. E-mail: [aquino@ufpe.br](mailto:aquino@ufpe.br)
3. Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Energia Nuclear, Laboratório de Polímeros e Nanoestruturas. E-mail: [renata.francisca@ufpe.br](mailto:renata.francisca@ufpe.br)

*Recebido: Março 2023; Aceptado: Abril 2023*

### RESUMO

Blendas poliméricas são misturas de polímeros para obtenção de novas propriedades para determinados fins. A fim de se obter materiais com características aprimoradas, blendas de Poli(metacrilato de metila)/Poliestireno (PMMA/PS) nas composições 95/05 e 90/10, com e sem o surfactante octadecilamina (ODA) foram sintetizadas com sucesso. A miscibilidade das blendas PMMA/PS, com e sem ODA, foi estudada através das técnicas: espectrofotometria na região do ultravioleta e visível (UV-Vis), índice de refração (IR), espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), análise viscosimétrica e calorimetria diferencial de varredura (DSC). Os resultados de UV-vis comprovaram que a adição do ODA às blendas, interferiu na cor dos filmes, tornando-os mais opacos e a blenda 90/10 com ODA foi a que apresentou menor valor de transmitância. Contudo, desvios no comprimento de onda da máxima absorção sugerem interações eletrônicas entre os elétrons da ligação pi dos grupos aromáticos do PS com os elétrons livres do grupo amina do ODA. Por outro lado, todas as técnicas avaliadas mostraram que as composições de blendas estudadas, com e sem ODA, formam uma mistura imiscível. Entretanto, foi observada diminuição da Tg, do módulo de elasticidade e tensão na força máxima dos sistemas com ODA. Além disso, o ODA também contribuiu para o aumento do índice de refração das blendas nas proporções estudadas. Diante dos resultados obtidos foi possível preparar um material polimérico com características aprimoradas para ser base na recepção de partículas semicondutoras com potencial na produção de novos materiais na área de células solares, células combustível e eletrônica flexível para possíveis aplicações na indústria aeroespacial.

**Palavras-chave:** blenda polimérica, surfactante, novo material.

### ABSTRACT

Polymeric blends are mixtures of polymers to obtain new properties for specific purposes. Blends of Poly(methyl methacrylate)/Polystyrene (PMMA/PS) in the compositions 95/05 and 90/10, with and without the surfactant octadecylamine (ODA) were successfully synthesized to obtain materials with improved characteristics. The miscibility of PMMA/PS blends, with and without ODA, was studied using the following techniques: spectrophotometry in the ultraviolet and visible region (UV-Vis), refractive index (RI), spectroscopy in the infrared region by Fourier transform (FTIR), viscosimetric analysis and differential scanning calorimetry (DSC). The UV-vis results proved that the addition of ODA to the blends interfered with the color of the films, making them more opaque, and the blend 90/10 with ODA was the one that presented the lowest transmittance value. However, deviations in the wavelength of maximum absorption suggest electronic interactions between the pi bond electrons of the PS aromatic groups and the free electrons of the ODA amine group. On the other hand, all evaluated techniques showed that the studied blend compositions, with and without ODA, form an immiscible mixture. However, a decrease in Tg, modulus of elasticity, and tension at maximum strength were observed of systems with ODA. In addition, ODA also contributed to the increase in the refractive index of the blends in the proportions studied. Given the results obtained, it was possible to prepare a polymeric material with improved characteristics to be the basis for the reception of semiconductor particles with potential in the production of new materials in the area of solar cells, fuel cells, and flexible electronics for possible applications in the aerospace industry.

**Keywords:** Polymer blend, Surfactant, New material.

## 1. INTRODUÇÃO

As matrizes poliméricas termoplásticas apresentam propriedades térmicas, óticas, elétricas ou mecânicas satisfatórias para substituir as matrizes poliméricas termofixas em aplicações estruturais de aeronaves [1]. O desenvolvimento de novos materiais com características úteis no setor aeroespacial pode ser alcançado por meio de blendas poliméricas, que são misturas físicas entre polímeros [2].

Por essa razão, materiais poliméricos têm atraído muita atenção na engenharia aeroespacial, sendo utilizados tanto para aplicações estruturais quanto para componentes, em todas as aeronaves e espaçonaves [3]. Uma das principais vantagens dos polímeros sobre outros materiais é ser leve, ao mesmo tempo que fornece resistência específica para diferentes componentes aeroespaciais, podendo reduzir o peso total em até 40% e, por consequência, diminuir o consumo de combustível, que é significativamente alto [4].

O Poli(metacrilato de metila), PMMA, um polímero termoplástico transparente, tem atraído muita atenção em virtude de sua alta resistência ao impacto, boa resistência à abrasão, dureza, rigidez, baixa densidade e uma excelente estabilidade dimensional. Essas vantagens tornam o PMMA um dos polímeros mais estudados na obtenção de novos materiais híbridos [5]. As blendas poliméricas também são promissoras como materiais ópticos. Ajustar o índice de refração de materiais transparentes, como o PMMA, é essencial para aplicações em optoeletrônica, por exemplo. Podendo ser ajustado pela mistura do PMMA com diferentes concentrações de outro polímero. Assim, o índice de refração do PMMA pode ser ajustado pela preparação ideal de uma blanda polimérica [6].

Outro exemplo de polímero termoplástico importante para diversas aplicações é o Poliestireno (PS). Das propriedades gerais do PS, sabe-se que ele é um material transparente, possui boas propriedades mecânicas, térmicas, boa resistência a ácidos, bases, oxidantes e agentes redutores é facilmente atacado por muitos solventes orgânicos, resistente ao calor e ao impacto e possui boa resistência elétrica, além disso é fácil de ser fabricado. As principais aplicações do PS, são em ABS, espumas, componentes óticos, embalagens e recipientes, brinquedos e equipamentos recreativos, isolamento, recipientes descartáveis para alimentos, elétrica e eletrônica, utilidades domésticas e em partes de eletrodomésticos [7].

Em vista disso, pretende-se preparar blendas poliméricas de PMMA e PS, com propriedades superiores. Sabe-se que as propriedades de uma blanda são determinadas principalmente pela miscibilidade de seus componentes. Contudo, poucas blendas poliméricas são miscíveis devido ao fato das interações moleculares dependerem de vários fatores, dentre eles: estrutura química, massa molar, heterogeneidade molecular dos polímeros, condições de processamento, bem como da proporção entre os componentes da mistura [8]. Ainda assim, existem substâncias que facilitam a

miscibilidade de blendas como por exemplo os surfactantes, tal como o octadecilamina (ODA). Portanto, o presente trabalho visa estudar a incorporação do ODA em blendas de PMMA e PS (PMMA/PS), a fim de obter um novo material base com características aprimoradas para recepção de partículas semicondutoras que possa, então, ser aplicado na indústria aeroespacial.

## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

**2.1. Materias e Métodos.** Os materiais poliméricos estudados foram o PMMA comercial cedido pela empresa Acrigel® e o PS cedido pela indústria Poliestireno.

Os filmes puros de PMMA (na forma de pó) e os de PS (em pellets) foram obtidos a partir de soluções com 1,8g do polímero/30 mL do solvente de Metil-Etil-etona (MEC) e em duplicata. Após agitação magnética de 48h sem aquecimento das misturas, as soluções foram preparadas e depositadas em placas petri e levadas a um armário fechado com desumidificador para completa evaporação do solvente (método casting).

As blendas de PMMA/PS foram preparadas nas proporções de 95/05 e 90/10 com e sem um surfactante muito comum em pesquisas, o octadecilamina (ODA) também em duplicata. As blendas na proporção 95/5 foram obtidas com 1,52 gramas de PMMA e 0,08 gramas de PS. Para as blendas 95/05 com ODA foi utilizada a mesma quantidade de gramas dos polímeros puros com a adição de 0,08 g de ODA. Já as blendas de PMMA/PS na proporção 90/10 foram obtidas com 1,44 gramas de PMMA e 0,16 gramas de PS. Para as blendas 90/10 com ODA, além da mesma massa dos polímeros foi adicionado 0,08g de ODA ao sistema. As soluções de blendas foram preparadas usando a metodologia já descrita para os filmes dos polímeros puros. Todos os filmes das blendas também foram obtidos via o método casting. A espessura de todos os filmes prontos foi obtida utilizando paquímetro digital Mitutoyo.

Para fins de identificação das blendas foi utilizada a seguinte legenda: 95/05 e 90/10 para as blendas PMMA/PS sem ODA, respectivamente. Já as blendas PMMA/PS com o ODA receberam as identificações 95/05 ODA e 90/10 ODA.

**2.2. Espectrofotometria na Região do Ultravioleta e Visível (UV-vis).** Para obtenção dos espectros de UV-vis, utilizou-se um espectrofotômetro UV-Vis Jasco, modelo V-730, disponível no Laboratório de Polímeros e Nanoestruturas, do Departamento de Energia Nuclear da UFPE, numa faixa de absorção de 200 a 800 nm. O cálculo da transmitância (T) foi realizado a partir dos dados de absorbância (A) através da fórmula  $T = 10^{-A}$  [9].

**2.3. Estudo da miscibilidade das blendas: Índice de refração.** Os índices de refração dos filmes de PMMA, de PS e das blendas PMMA/PS foram determinados por meio de um refratômetro de bancada

digital ABBe, em luz ambiente, à temperatura de 230C. Foi utilizada uma solução de 1-bromonaftaleno a 97% para promover a melhor adesão dos filmes ao refratômetro.

**2.4. Análise espectroscópica no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR).** As análises de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR) foram realizadas por meio de um espectrômetro FT-IR, modelo 4600 da Jasco, na resolução de 4 cm<sup>-1</sup>, com 32 scans, em um intervalo de frequência de 4000 a 400 cm<sup>-1</sup>, utilizando a técnica de reflectância total atenuada (ATR, do inglês Attenuated total reflection) disponível no Laboratório de Polímeros e Nanoestruturas, do Departamento de Energia Nuclear da UFPE.

**2.5. Viscosimetria.** Para a obtenção das viscosidades dos filmes de PMMA e PS (puros) e das blendas de PMMA/PS foi utilizado o viscosímetro de Ostwald em banho térmico disponível no Laboratório de Polímeros e Nanoestruturas do Departamento de Energia Nuclear da UFPE. Foram obtidos os valores dos tempos de efluxo da solução e do solvente à temperatura de 25 0C. As viscosidades relativa ( $\eta_{rel}$ ), específica ( $\eta_{esp}$ ) e reduzida ( $\eta_{red}$ ) foram obtidas utilizando as equações descritas na Tabela 4.

As concentrações utilizadas para as soluções tanto para os polímeros PMMA e PS puros quanto para as blendas de PMMA/PS com e sem ODA foram 0,6; 0,8 e 1,2 g/dL. Foram produzidas triplicadas de soluções para cada concentração em estudo. A declividade da reta obtida pelo gráfico  $\eta_{redm} \times C$  foi o parâmetro de miscibilidade experimental da mistura ( $b_m^{exp}$ ). O parâmetro de miscibilidade ideal obtido para cada método escolhido nesse estudo ( $b_m^{id}$ ) foi comparado com o parâmetro  $b_{exp}$ , para análise da miscibilidade das blendas.

Para o uso do método de Krigbaum e Wall (1950) [10],  $b_m^{id}$  foi obtido utilizando a Equação 1.

$$b_m^{id} = b_A w_A^2 + b_B w_B^2 + 2b_{AB} w_A w_B \quad (\text{Eq. 1})$$

Já para o método de Garcia e colaboradores (1999) [11],  $b_m^{id'}$  foi obtido utilizando a Equação 2.

$$b_m^{id'} = b_A w_A^2 + b_B w_B^2 \quad (\text{Eq. 2})$$

Os dois referidos métodos foram escolhidos porque são tradicionalmente os mais utilizados para análise de miscibilidade de blendas poliméricas. O método de Krigbaum e Wall é um procedimento clássico e o de Garcia e colaboradores é uma abordagem atualizada da metodologia de Krigbaum e Wall.

**2.6. Ensaio térmico.** A análise térmica de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC, do inglês Differential Scanning Calorimetry) foi realizada no Instituto Nacional de Tecnologia de Materiais (INTM) no Laboratório de Análises Térmicas (LABAT). O DSC foi realizado em um fluxo de gás de

50 mL/min, em atmosfera de nitrogênio, na taxa de 100C/min no intervalo de temperatura de 25 à 500 °C.

**2.7. Análise das propriedades mecânicas.** As propriedades mecânicas das amostras foram analisadas por ensaio de tração, para obtenção das propriedades: tensão na força máxima (MPa), módulo de elasticidade (MPa) e deformação na ruptura (mm). Essas grandezas foram avaliadas de acordo com a norma ASTM D 822 em uma máquina universal EMIC, linha DL, força máxima de 500N de velocidade das garras iguais a 2 mm/s. As dimensões dos filmes foram 7,7 x 2,5 cm. O ensaio de tração foi realizado no Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Pernambuco - IFPE, campus Recife.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

**3.1. Filmes de PMMA, PS e blendas PMMA/OS.** Na Figura 1 são mostrados os filmes obtidos para os polímeros e blendas deste estudo. Os filmes de PMMA, PS e das blendas PMMA/PS foram obtidos com sucesso pelo método “casting”, apresentaram-se macroscopicamente homogêneos e sem fissuras.

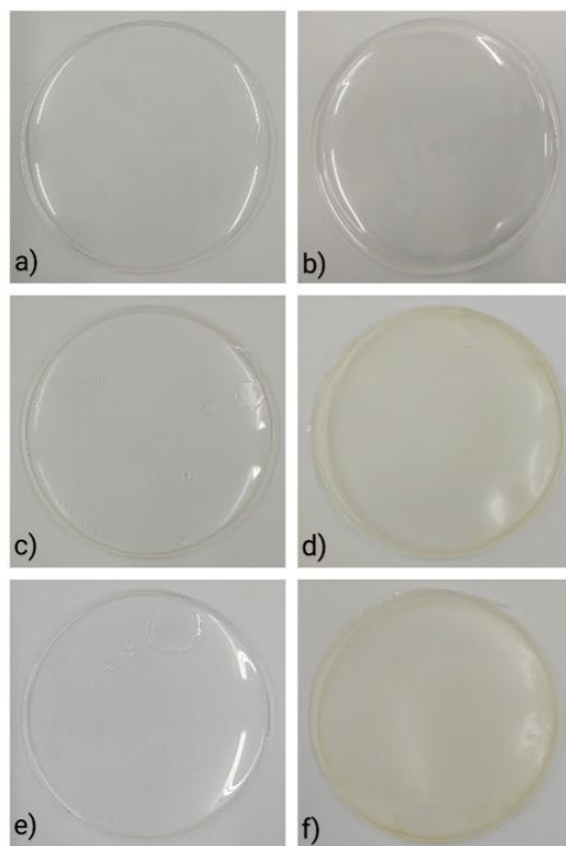


Figura 1: Filmes poliméricos: a) PMMA, b) PS, c) PMMA/PS 95/5, d) PMMA/PS 95/5 ODA, e) PMMA/PS 90/10 e f) PMMA/PS 90/10 ODA.

A espessura média dos filmes foi de 0,2 mm, sem alterações significativas para as blendas e nem com a adição do ODA. Verificou-se ainda a presença de algumas bolhas em todos os filmes das blendas. No entanto, não houve formação de bolhas nos filmes dos polímeros individuais. Além disso, os filmes de PMMA e PS foram os que mostraram o aspecto mais transparente e em segundo lugar os filmes das blendas sem o ODA. As blendas com ODA apresentaram filmes mais opacos.

A Figura 2 apresenta os espectros de absorção para os filmes de PMMA, PS, para as blendas de PMMA/PS com e sem ODA e para o próprio ODA. Pode-se observar que os sistemas apresentam diferentes absorções sendo a menor a do ODA e a maior a da blenda 90/10 ODA.

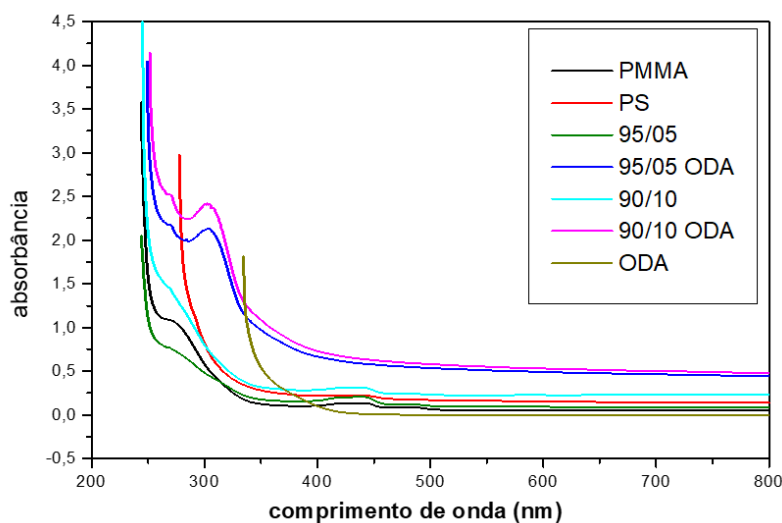


Figura 2: Espectros de absorção no UV-Vis para filmes de PMMA, PS puros e para as blendas de PMMA/PS 90/10 e 95/5 com e sem ODA.

A Tabela 1 apresenta os valores de absorbância obtidos através da análise da Figura 28. Todas as blendas apresentaram desvios no comprimento de onda da máxima absorbância quando comparados com o PMMA puro (maior quantidade nas blendas) e na absorbância. Entretanto observa-se um desvio menos significativo para as blendas sem ODA e um desvio maior para os sistemas com o surfactante. Uma possível explicação para o desvio no comprimento de onda mais significativo nas blendas com ODA está associada a fracas interações eletrônicas entre os componentes do sistema. Já o aumento na absorbância das blendas sem ODA está associado aos elétrons da ligação pi dos grupos aromáticos do PS.

Tabela 1: Valores de absorbância obtidos para os filmes dos homopolímeros e das blendas.

Amostra	Comprimento de onda (nm)	Absorbância
ODA	359,9	0,3940
PMMA	268,8	1,0901
PS	288,8	1,2245
PMMA/PS 95/05	249,7	1,1268
PMMA/PS 90/10	265,9	1,5054
PMMA/PS 95/05 ODA	303,1	2,1380
PMMA/PS 90/10 ODA	303,1	2,4189

A partir dos valores de absorbância obtidos na Tabela 1 foi realizado o cálculo da transmitância (T) cujos os resultados são apresentados na Figura 3. A amostra de PMMA apresentou um valor T superior a 0,8, ou seja, transmitância superior a 80% e a amostra de PS apresentou um valor T superior a 0,7. Entretanto, os filmes das blendas apresentaram uma leve mudança de coloração, com diminuição de T, com significativa diminuição para as blendas com ODA (menor que 40%). Tal diminuição de T pode ser decorrente da interação entre os homopolímeros na formação da blenda polimérica. No caso das blendas com ODA, os filmes apresentaram maiores valores de absorbância. Esse resultado corrobora com os resultados obtidos nas fotos dos filmes apresentadas na Figura 27 que mostra os filmes de blendas com ODA mais opacos. Além disso, é possível observar um valor de transmitância próximo de 1,0 para o ODA, ou seja, o surfactante é um líquido bem transparente e a cor promovida nos filmes pode ser fruto de interações intermoleculares, mesmo que fracas, no sistema. Esses resultados comprovam que a adição do ODA às blendas interfere significativamente na transmitância dos filmes das blendas.

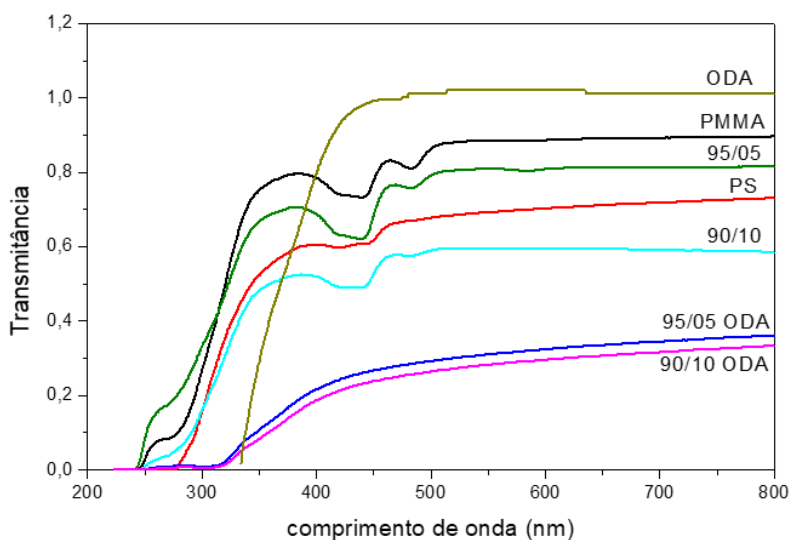


Figura 3: Espectros de transmitância no UV-Vis para filmes de PMMA, PS puros e para as blendas de PMMA/PS 90/10 e 95/5 com ODA e sem ODA.

**3.2. Estudo da miscibilidade das blendas de PMMA e OS.** O estudo da miscibilidade das blendas de PMMA e PS foi realizado por meio de quatro técnicas: índice de refração, espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), análise viscosimétrica e análise térmica. As próximas subseções tratarão dos resultados do estudo da miscibilidade das blendas obtidos mediante as quatro técnicas citadas. Paralelamente à discussão de miscibilidade será realizada discussões sobre a caracterização dos filmes por meio das técnicas supracitadas.

**3.2.1 Índice de refração.** Para a utilização do índice de refração, uma blenda é considerada e miscível quando há uma linearidade entre os valores obtidos experimentalmente em função da composição da blenda [11]. A Figura 30 mostra claramente que a variação dos índices de refração em função de todas as composições da blenda PMMA/PS, com e sem ODA, não é linear, ou seja, os sistemas são imiscíveis segundo essa técnica. Isso significa que o sistema não é uma mistura monofásica, apresentando diferentes fases e, por conseguinte, diferentes índices de refração para cada uma das fases.

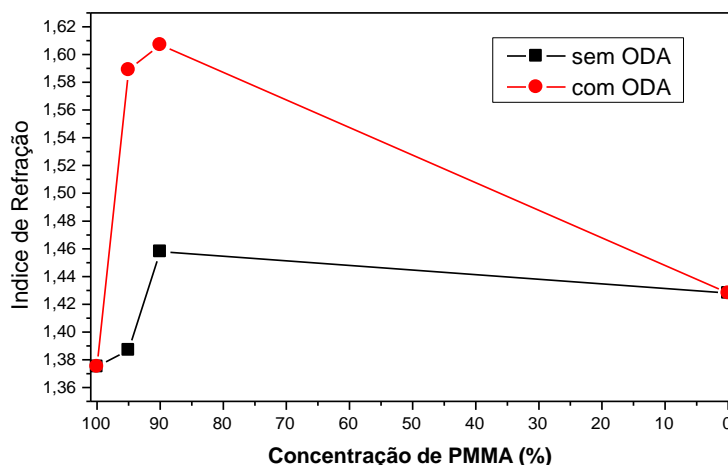


Figura 4: Variação do índice de refração em função de diferentes composições da blenda PMMA/PS.

Cabe salientar os altos índices de refração das blendas com ODA. Sistemas poliméricos com alto índice de refração e alta transparência estão em demanda atualmente devido aos avanços na indústria optoeletrônica como transmissão de dados ultrarrápidos, sensores avançados, dispositivos de exibição, microlentes para aplicações de imagem, aplicações biomédicas, aeroespacial, aeronáutica etc.



**3.3 Espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).** A Figura 5 apresenta os espectros, no modo de transmitância, dos filmes de PMMA, PS e das blendas.

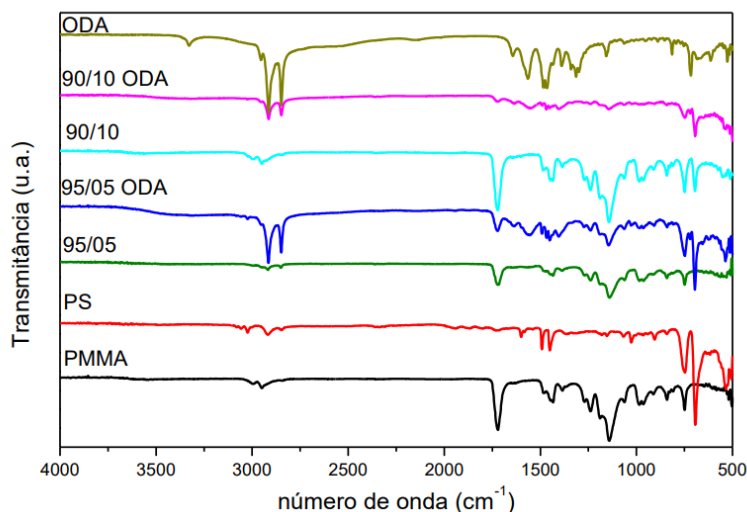


Figura 5: Espectros de FTIR dos filmes de PMMA, PS e das blendas 95/05 e 90/10 com e sem ODA.

O espectro de FTIR de uma blenda miscível é a superposição de três espectros: os espectros dos homopolímeros e um espectro que surge a partir da interação química ou física entre os homopolímeros, ou seja, com deslocamento de bandas [12]. Já uma blenda imiscível exibe um espectro de FTIR que é apenas a superposição dos dois espectros dos homopolímeros.

Analisando os espectros da Figura 5 é possível constatar que não há deslocamentos de bandas nos espectros das blendas, ou seja, não existe nenhum espectro de interação entre o PMMA e o PS nas proporções estudadas. O ODA não foi capaz de promover interações intermoleculares nos sistemas estudados. Logo, segundo os resultados de FTIR, blendas de PMMA e PS, mesmo com o surfactante ODA, são imiscíveis.

**3.4. Análises viscosimétricas.** A Figura 6 apresenta os gráficos de viscosidade reduzida em função da concentração para os filmes de PMMA, PS e as blendas PMMA/PS com e sem ODA. Cada ponto se refere aos dados de duas soluções. O gráfico apresenta um modelo matemático linear, cuja equação da reta fornece parâmetros importantes. Conforme já descrito, o parâmetro experimental ( $b_m^{exp}$ ), tanto para os homopolímeros quanto para as blendas, é obtido pela declividade da reta (coeficiente angular). Já o coeficiente linear da reta fornece a viscosidade intrínseca ( $[\eta]$ ). A equação da reta de cada sistema está apresentada para cada sistema na Figura 6.

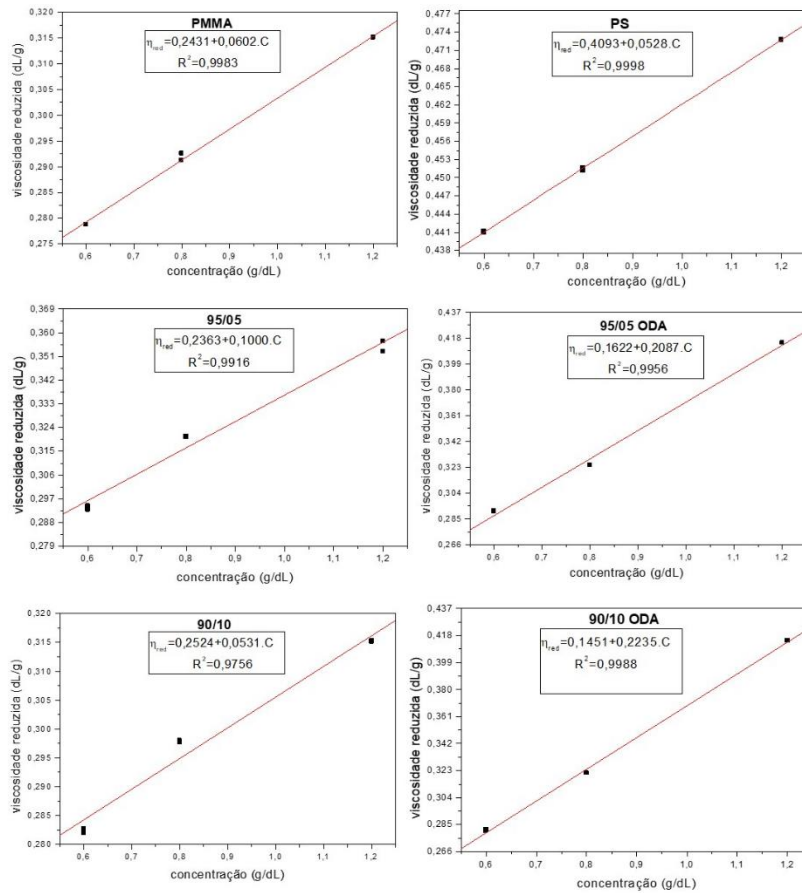


Figura 6: Viscosidade reduzida em função da concentração dos filmes dos homopolímeros e das blends.

A Tabela 3 mostra os parâmetros de miscibilidade das blends PMMA/PS nas proporções 95/05 e 90/10 com e sem o surfactante ODA calculados segundo Krigbaum-Wall (1950) e Garcia et al. (1999). Também são mostrados os coeficientes lineares ( $[\eta]$ ) e angular ( $b_m^{exp}$ ) das equações da reta mostradas na Figura 6.

Tabela 3: Comparação entre os parâmetros de viscosidade experimental e ideal das blends PMMA/OS.

Amostra	$[\eta]$ (dL/g)	$b_m^{exp}$	$b_m^{id}$	$\Delta b^{KW}$	Erro do $\Delta b^{KW}$	$b_m^{id'}$	$\Delta b^G$	Erro do $\Delta b^G$
PMMA	0,2431	0,0602	-	-	-	-	-	-
95/05	0,2363	0,1000	0,7368	<b>-0,6368</b>	0,0943	0,6926	<b>-0,5926</b>	0,0930
95/05 ODA	0,1622	0,2087	0,7368	<b>-0,5280</b>	0,0359	0,6926	<b>-0,4839</b>	0,0346
90/10	0,2524	0,0531	0,7075	<b>-0,6544</b>	0,0316	0,6238	<b>-0,5707</b>	0,0292
90/10 ODA	0,1451	0,2235	0,7075	<b>-0,4840</b>	0,0313	0,6238	<b>-0,4003</b>	0,0288
PS	0,4093	0,0528	-	-	-	-	-	-

De acordo com Krigbaum-Wall (1950), uma blenda polimérica é considerada miscível  $\Delta b^{kw} = b_m^{exp} - b_m^{id} \geq 0$  e imiscível se  $\Delta b^{kw} = b_m^{exp} - b_m^{id} < 0$ . Similarmente, segundo Garcia et al. (1999), o sistema

é miscível se  $\Delta b^G = b_m^{exp} - b_m^{id} \geq 0$  e para  $\Delta b^G = b_m^{exp} - b_m^{id} < 0$ , o sistema é imiscível. Desse modo, o valor do parâmetro  $\Delta b_m$  deve ser positivo e se encontrar fora do erro experimental [13].

Observando os dados da Tabela 3, verifica-se que para todas as blendas PMMA/PS, os parâmetros de miscibilidade, tanto para Krigbaum-Wall (1950) quanto para Garcia et al. (1999), apresentam valores negativos, indicando imiscibilidade nas proporções estudadas. Consta-se também que o ODA não contribuiu para a miscibilidade da mistura polimérica.

Ainda analisando os dados da Tabela 3 é possível observar o comportamento da viscosidade intrínseca que é relacionada ao volume hidrodinâmico das cadeias poliméricas em solução. A viscosidade intrínseca das blendas sem ODA estão muito próximas do valor obtido para o PMMA. Esse resultado é esperado uma vez que a quantidade de PMMA na blenda é majoritário. Contudo, as blendas com ODA apresentam uma diminuição significativa da viscosidade intrínseca. Esse resultado sugere que a molécula de ODA está promovendo uma contração no *coil* das cadeias poliméricas devido à falta de afinidade química entre as moléculas [14]. Isso pode explicar o motivo do ODA não conseguir promover a interação entre as moléculas de PMMA e PS e assim promover a miscibilidade das blendas nas proporções estudadas.

**3.5. Differential Scanning Calorimetry (DSC).** A miscibilidade de uma blenda polimérica pode ser analisada através do termograma de DSC pela observação de apenas uma temperatura de transição vítrea,  $T_g$ , intermediária aos valores característicos de cada polímero individualmente [9]. A Figura 7 mostra os termogramas dos filmes de PMMA, PS e as blendas com e sem ODA, cujos valores da  $T_g$  estão especificados na Tabela 4.

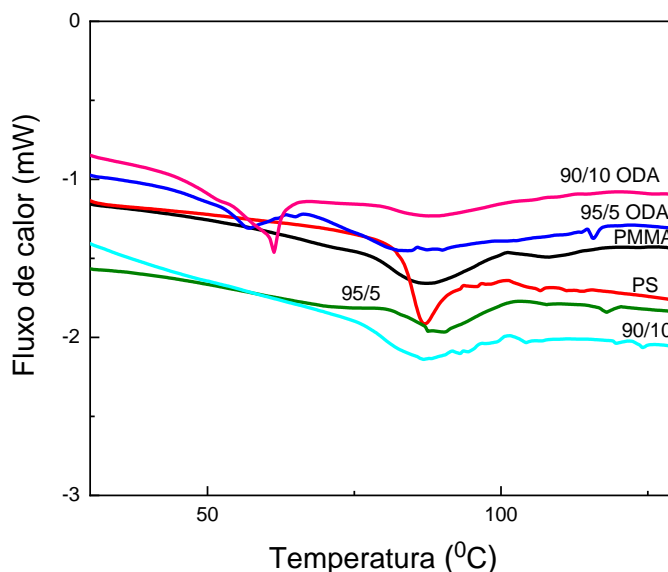


Figura 7: Termogramas dos filmes de PMMA, PS e das blendas PMMA/PS com e sem ODA.

Analisando os termogramas (Figura 7) e observando os valores específicos de Tg de cada amostra (Tabela 4), pode-se observar que os valores de Tg do PMMA e do PS são muito próximos. Então, ao analisar as blendas sem ODA, os resultados são inconclusivos, pois as temperaturas de transição vítrea são muito próximas. Sendo assim, não foi possível identificar valores intermediários, nem valores diferentes dos homopolímeros para esses sistemas polimérico o que torna a análise de miscibilidade inconclusiva.

Tabela 4: Valores da Tg para o PMMA, PS e as blendas PMMA/PS com e sem ODA.

<b>Amostra</b>	<b>Tg (°C)</b>
PMMA	88,50
PS	87,66
95/05	89,00
90/10	86,29
95/05 ODA	57,00
90/10 ODA	58,95

Por outro lado, a Tg das blendas com ODA diminuíram significativamente. A Tg é o valor médio da faixa de temperatura que, ao longo do aquecimento de um material polimérico, permite que as cadeias poliméricas da fase amorfa adquiram mobilidade; isto é, possam adquirir mudança de conformação (CALLISTER, 2002). Dessa maneira, o ODA diminui a Tg porque oferece mais mobilidade às cadeias poliméricas. Por fim, para as blendas PMMA/PS com ODA podemos concluir que são imiscíveis, pois os valores de Tg estão abaixo dos valores da Tg dos homopolímeros, mesmo apresentando um único valor.

**3.5. Ensaios mecânicos.** A Tabela 5 mostra os resultados das propriedades mecânicas obtidas para os polímeros puros e as blendas em estudo. Observa-se que o PMMA tem um maior valor de módulo de elasticidade e, conseqüentemente, maior valor de tensão na força máxima quando comparados com os valores obtidos para o PS. Esses resultados significam maior rigidez do PMMA.

Tabela 5: Propriedades mecânicas obtidas para os polímeros puros e para as blendas.

Amostra	Módulo de elasticidade (Mpa)	Tensão na força máxima (Mpa)	Alongamento na ruptura (mm)
PMMA	1269,50 ± 80,98	23,86 ± 4,58	2,45 ± 1,15
PS	1040,10 ± 19,32	14,82 ± 2,69	1,07 ± 0,38
95/05	1215,25 ± 99,72	22,06 ± 4,25	0,96 ± 0,20
90/10	1242,13 ± 87,97	17,59 ± 5,32	0,42 ± 0,07
95/05 ODA	974,49 ± 56,64	14,51 ± 1,19	0,84 ± 0,31
90/10 ODA	892,88 ± 57,54	12,37 ± 1,41	0,71 ± 0,27

Ao analisar os resultados obtidos para as blendas sem a presença do ODA, não é possível observar mudanças estatísticas nos valores das propriedades mecânicas estudadas. Este resultado significa que a adição de PS, nas proporções testadas neste estudo, não causa mudanças significativas nas propriedades mecânicas do PMMA. Entretanto, nas blendas com o ODA é possível observar uma tendência de diminuição nos valores do módulo de elasticidade e da tensão na força máxima. Com estes resultados é possível inferir que o ODA promove maior mobilidade das cadeias.

Cabe salientar que nenhuma amostra apresentou valores significativos para a propriedade de alongamento na ruptura. Isso significa que todas as amostras, apesar de adquirirem maior mobilidade com a adição de ODA, ainda não apresentaram deformação plástica. Duas considerações podem ser levantadas: i) a baixa concentração de ODA nas blendas e ii) a peculiaridade da realização de experimentos com as amostras na forma de filmes. Há possibilidade de, aumentando o percentual de ODA na matriz PMMA/PS, a blenda consiga se deformar plasticamente, apresentando-se como um material dúctil.

#### 4. CONCLUSÕES

Neste estudo foram produzidas blendas de PMMA/PS nas proporções 95/05 e 90/10, com e sem a adição do surfactante ODA, na forma de filme. O método “casting” foi efetivo na preparação dos filmes dos homopolímeros e das blendas, os quais se apresentaram macroscopicamente homogêneos e sem fissuras.

As blendas de PMMA/PS se apresentaram imiscíveis, resultado este que foi demonstrado e corroborado por meio das técnicas de índice de refração, FTIR, análises viscosimétricas e DSC. Contudo, as blendas 95/05 ODA e 90/10 ODA apresentaram altos índices de refração.

A adição de PS em PMMA, nas proporções testadas neste estudo, não provocou mudanças significativas nas propriedades mecânicas do PMMA. Porém, observou-se uma diminuição nos valores das propriedades mecânicas das blendas com o ODA. Acreditamos que o ODA promove

maior mobilidade entre as cadeias poliméricas tornando os filmes mais flexíveis. Este resultado corrobora com os resultados obtidos pelo DSC, os quais mostram os menores valores de T<sub>g</sub> para as blendas com ODA.

Portanto, foi possível preparar uma blenda de PMMA/PS adicionada de 5% de um surfactante comum (ODA), com uma metodologia simples. Tal material, embora não apresente miscibilidade entre os homopolímeros nas proporções estudadas, possui propriedades ópticas, térmicas e mecânicas que pode ser utilizado como matriz para a adição de partículas condutoras e semicondutoras. A adição de tal partículas além de ter potencial para a promover a miscibilidade da blenda, torna-se potencial para que a blenda seja um material aplicável em células solares, células a combustível e/ou eletrônica flexível que são diretamente utilizadas na indústria aeroespacial. Em ambos casos, microfibras y microesferas, se midieron ángulos de contacto con el agua más altos que el de colofonia pura. En cuanto a la actividad de las nanopartículas, se determinó que las AgNPs presentan un efecto antimicrobiano, sin embargo, debido a la naturaleza de la colofonia y la baja cantidad de material depositado, la actividad antimicrobiana no pudo desarrollarse por completo.

## **5. AGRADECIMENTOS**

Esta pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE.

## **6. REFERÊNCIAS**

1. BARILE, Claudia et al. Tensile and shear behavior of plain weave fabric carbon fiber reinforced polymer at elevated temperatures. *Polymer Composites*, v. 43, n. 9, p. 6536-6547, 2022.
2. ABDERRAFI, Y.; DIOUF-LEWIS, A.; SOSA-REY, F.; FARAHANI, R.D.; PICCIRELLI, N.; LÉVESQUE, M.; THERRIAULT, D. Additive manufacturing and characterization of high temperature thermoplastic blends for potential aerospace applications. *Composites Science and Technology*, v. 231, n. 5, 2023.
3. NJUGUNA, James; PIELICHOWSKI, Krzysztof. Polymer nanocomposites for aerospace applications: properties. *Advanced Engineering Materials*, v. 5, n. 11, p. 769-778, 2003.
4. TOLDY, A.; SZOLNOKI, B.; MAROSI, Gy. Flame retardancy of fibre-reinforced epoxy resin composites for aerospace applications. *Polymer degradation and stability*, v. 96, n. 3, p. 371-376, 2011.
5. ALIHA, M.; SAMAREH-MOUSAVI, S.; MIRSAYAR, M.. Loading rate effect on mixed mode I/II brittle fracture behavior of PMMA using inclined cracked SBB specimen. *International Journal of Solids and Structures*, 2021.
6. OTHAYOTH, Anjana K. et al. Poly (methyl methacrylate)/polyphosphate blends with tunable refractive indices for optical applications. *Optical Materials*, v. 104, p. 109841, 2020.doi:10.1016/j.optmat.2020.109841.

7. Plástico. Poliestireno (PS): O que é e para que serve? Descubra os tipos, suas características e muito mais. Disponível em: <https://www.plastico.com.br/poliestireno-ps-o-que-e-e-para-que-serve-descubra-os-tipos-suas-caracteristicas-e-muito-mais/>
8. SCHRÖDER, E.; MÜLLER, G.; ARNDT, F. K., Polymer Characterization, 2 ed. New York: Hanser Publishers, 1989.
9. CANEVALORO JÚNIOR, Sebastião Vicente. Ciência dos Polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. rev. e aum. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2006.
10. KRIGBAUM, W. R, WALL, F. T. Viscosities of binary polymeric mixtures. Journal of Polymer Science, v.5, p. 505–514, 1950. doi:10.1002/pol.1950.120050408.
11. GARCIA, R.; MELAD, O.; GO´MEZ, C. M.; FIGUERUELO, J. E.; CAMPOS, A. VISCOMETRIC STUDY ON THE COMPATIBILITY OF POLYMER–POLYMER MIXTURES IN SOLUTION. European Polymer Journal, v. 35, p. 47-55, 1999. doi.org/10.1016/S0014-3057(98)00106-2
12. FEKETE, E.; FÖLDES, E.; PUKÄNSZKT, B. E. Effect of molecular interactions on the miscibility and structure of polymer blends. European Polymer Journal, v. 41, p. 727–736, 2005. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2004.10.038.
13. STEVENS, Malcolm P. Polymer chemistry. New York: Oxford university press, 1990.
14. CALLISTER, W. D.. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. John Wiley & Sons, Inc., 2002.