# Insper

Relatório de atividade da disciplina Desconstruindo a Matéria

LB3 - Estudo de Casos: Polímeros

Arthur Carvalho, Eiki Yamashiro
Professora Joice Miagava

São Paulo Maio/2020

# Sumário

Introdução	1
Revisão bibliográfica	1
Módulo de Elasticidade	1
Limite de Escoamento	1
Resistência Mecânica	1
Densidade	1
Rigidez	2
Tensão	2
Procedimentos	1
Espectroscopia no Infravermelho	1
Técnica experimental 2	2
Resultados e discussão	2
Técnica experimental 1	2
Técnica experimental 2	2
Conclusões	3
Referências	3

# 1 Introdução

A atividade do estudo de caso de polímeros propõe ao grupo a tarefa de identificar dois polímeros diferentes de uma variedade de seis opções possíveis a partir de técnicas de análise de polímeros. As técnicas abordadas para essa atividade são o ensaio de tração em polímeros e a espectroscopia no infravermelho.

Feitas as análises das duas amostras, terão de ser tiradas as conclusões sobre qual material se refere cada amostra e caracterizar as mesmas, descrevendo suas propriedades. Por fim, essas terão de ser comparadas entre si, diferenciando cada amostra a partir dos resultados das análises feitas.

# 2 Revisão bibliográfica

#### 2.1 Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade ou módulo de Young é uma propriedade mecânica que permite a medida da rigidez de um material.

#### 2.2 Limite de Escoamento

O limite de escoamento é a tensão máxima que o material suporta no regime da deformação elástica, ou seja, define o ponto em que a deformação passa de elástica para plástica.

# 2.3 Resistência Mecânica

A resistência mecânica está atrelada à deformação plástica, ou seja, maior força necessária para iniciar a deformação plástica.

#### 2.4 Densidade

A densidade é uma propriedade que permite a medição do grau de concentração de massa em um determinado volume.

## 2.5 Rigidez

A rigidez está atrelada à deformação elástica, ou seja, maior força necessária para deformar a peça em um  $\Delta x$  elasticamente.

#### 2.6 Tensão

A tensão pode ser definida como a razão da força pela área. Ou seja, representa o valor de uma força que age em uma determinada área.

#### 2.7 Absorbância

Absorbância pode ser definida como a capacidade de um material de absorver radiação em uma frequência específica.

#### 3 Procedimentos

## 3.1 Espectroscopia no Infravermelho

Foi proposto como primeira etapa da atividade de identificação e caracterização de polímeros a identificação dos meros do polímero por espectroscopia no infravermelho, um procedimento de caracterização de materiais orgânicos. É possível identificar os meros do polímero por esse procedimento por que a radiação absorvida ocorre nas frequências de ressonância, ou seja, a frequência da radiação absorvida é igual à frequência de vibração da amostra.

O aparelho usado para conduzir esse procedimento foi o espectrômetro no infravermelho, o qual é usado para a identificação de frequências de vibração de ligações dos grupos funcionais presentes nesses materiais orgânicos. Especificamente para os experimentos conduzidos para a confecção deste relatório, foi utilizado o aparelho Nicolet iS50.

No espectrômetro, três componentes são importantes para o entendimento do funcionamento do aparelho: um cristal de diamante, uma fonte de luz infravermelha e um detector de luz infravermelha. Nele, o cristal de diamante serve como apoio à peça colocada, a fonte produz um feixe de luz infravermelho e o detector serve para colher os dados de absorção da amostra sobre diferentes frequências.

O processo de ensaio de espectroscopia no infravermelho começa com o posicionamento da peça do material a ser analisado na máquina, logo abaixo do cristal de diamante. Em seguida, o diamante penetra o corpo da amostra em determinados instantes, e o feixe de luz faz as ligações químicas da amostra vibrarem em uma frequência determinada com ondas entre 4000 cm<sup>-1</sup> e 600 cm<sup>-1</sup>. Por fim, a absorbância da amostra são guardados em um arquivo .csv, junto com o número de onda correspondente ao mesmo.

O resultado de um ensaio de espectroscopia no infravermelho é revelado em um gráfico como o abaixo (figura x):

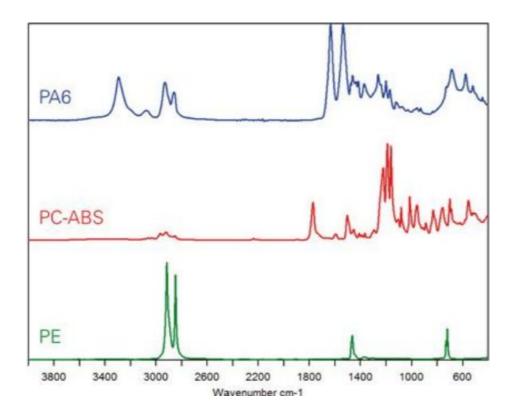


figura x - gráfico de espectroscopia no infravermelho

No eixo x vemos o número de onda da amostra, já no eixo y vemos a absorbância da mesma. Note como os "picos" observados nos espectros indicam os comprimentos de onda que foram absorvidos pelo material. Estes mesmos picos são disponíveis para análise na tabela x.2, figura que mostra as bandas de absorção de cada tipo de ligação:

Tipo de ligação	Número de onda (cm-1)
N-H	3500 - 3070
C-H de aromáticos	3030
C-H alifáticos	2960 - 2850
C≡N	2260 - 2200
C=O de ácidos carboxílicos	1760 - 1710
C=O de ésteres	1750 - 1740
C-F	1400 - 1000

tabela x.2 - Bandas de absorção de onda infravermelho

Assim, os resultados dos experimentos estão prontos a serem analisados.

## 3.2 Ensaio de tração

Os polímeros são macromoléculas formadas por meros e ligações covalentes. As cadeias não se arranjam de forma organizada (são "enroladas"). Assim, a deformação dos polímeros sob tração está relacionada com o desenrolar dessas cadeias.

O ensaio de tração consiste em fixar as duas extremidades do corpo de prova e aplicar uma determinada tensão. Um extensômetro é acoplado no corpo de prova, ele mede a deformação real da seção útil e permite obter dados mais precisos, entretanto é retirado quando a deformação atinge o valor de 0,8%. Aumenta-se o valor tensão até o momento em que ocorra o rompimento. A partir do ensaio de tração, é possível determinar o módulo de elasticidade e o limite de escoamento.

O grupo recebeu os dados do resultado do ensaio de tração dos dois polímeros que é representado em uma tabela no excel, com colunas que representam a força em newtons, a posição em milímetros, o tempo em minutos e a deformação em

porcentagem. Note que a coluna de deformação (Strain (%)) fornece dados obtidos através do extensômetro, até 0,8%.

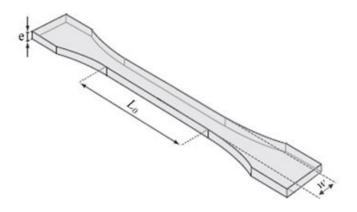
Sendo Lo o comprimento inicial do corpo de prova e Lf o comprimento final, após o ensaio de tração.

Com o intuito de determinar o módulo de elasticidade, o limite de escoamento e o limite de resistência, cria-se dois gráficos de tensão versus deformação. O primeiro é até a deformação de 0,8%, e o segundo mostra o ensaio completo (até o rompimento). Entretanto, é necessário criar uma nova coluna de Tensão, cujo os valores são obtidos através da seguinte equação:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

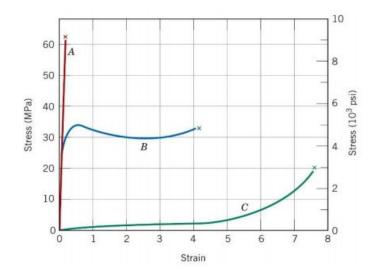
(Equação 1 - Cálculo da tensão)

Sendo F a força [N],  $\sigma$  a tensão [N/mm] e A a área da seção útil do corpo de prova [mm²] que é obtida através da multiplicação do comprimento (w) e da altura (e), a figura a seguir representa o corpo de prova e a que medidas se referem as variáveis e, w e Lo:



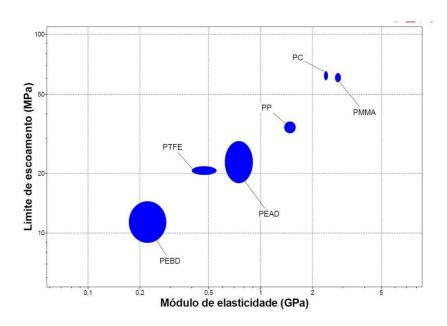
(Figura 1 - Medidas do corpo de Prova)

Dessa forma, um gráfico de deformação versus tensão é gerado com o intuito de se obter o módulo de elasticidade.



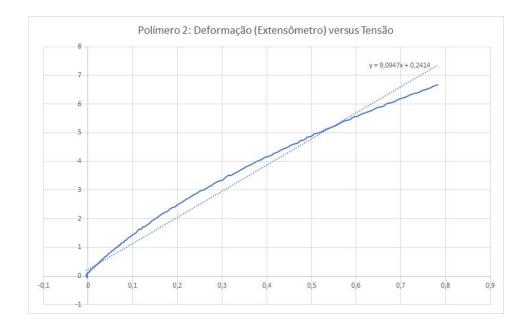
(Gráfico 3 - Tensão versus Deformação)

Para esse laboratório, foi feita apenas a análise de polímeros do tipo B. Note que a deformação (eixo y) está em MPa e a tensão está em porcentagem, portanto, para se obter o módulo de elasticidade em GPa, multiplica-se por 100 (porcentagem da tensão) e divide-se por 1000 (MPa para GPa). É importante obter-se o módulo de elasticidade em GPa pois o gráfico que serve como base para as diferenciar os seis polímeros diferentes apresenta GPa como a unidade de medida do módulo de elasticidade.



## (Gráfico 4 - Gráfico Base para comparações)

O módulo de elasticidade é o coeficiente angular da reta cuja lei é obtida através da aproximação linear, do pedaço da curva que representa a deformação elástica. Assim, utiliza-se os dados do extensômetro, pois, além de fornecer dados mais precisos, grande parte dos dados representam o pedaço da deformação elástica.



(Gráfico 5 - Deformação elástica versus Tensão com aproximação linear)

O limite de escoamento para os materiais do tipo B do gráfico 3 é determinado pelo valor do primeiro pico na curva. Entretanto, como dito anteriormente, a coluna de deformação (Strain (%)) fornece dados até o momento em que o extensômetro é retirado. Portanto, para obter-se o limite de escoamento, é necessário estimar o valor da deformação do ensaio completo.

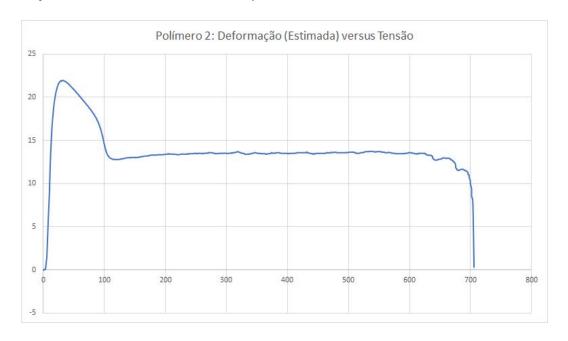
Para realizar a estimação da deformação do ensaio completo, cria-se uma nova coluna, a partir do cálculo equacionado pela seguinte relação matemática:

$$\varepsilon = \frac{P}{L_0}$$

# (Equação 2 - Cálculo da deformação a partir da posição)

Sendo  $\epsilon$  a deformação, P a posição [mm] e  $L_0$  o comprimento inicial (representado na figura 1). Dessa forma cria-se uma nova coluna que representa a deformação calculada:

A partir da coluna de deformação calculada, é possível gerar o gráfico de deformação versus tensão do ensaio completo:



(Gráfico 6 - Deformação versus Tensão do Ensaio Completo)

Portanto, é possível determinar o limite de escoamento, representado pelo primeiro pico do gráfico 6.

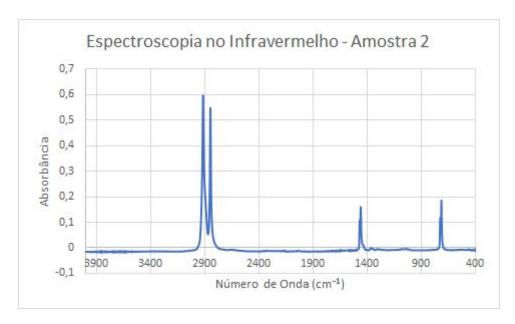
# 4 Resultados e discussão

## 4.1 Espectroscopia no Infravermelho

Como exposto anteriormente na seção 3.1, os resultados dos ensaios por espectroscopia no infravermelho são expostos em forma de gráficos de quantidade de luz refletida pelo número de onda, sendo as unidades de medida decimal e cm<sup>-1</sup>, respectivamente. Para o caso da unidade em decimal, esse é equivalente à proporção de ondas absorvidas para refletidas, ou seja, se no eixo y a quantidade absorvida for correspondente a 0.7, quer dizer que 70% da radiação foi absorvida e 30% refletida. Assim, veja os resultados das análises de ambos os polímeros abaixo.

## 4.1.1 Polímero 2

Veja o gráfico 7 abaixo mostrando os resultados da colheita de dados da amostra 2 no espectrômetro infravermelho:



(Gráfico 7 - Espectroscopia no infravermelho da amostra 2)

Como é possível ver a amostra tem um pico de absorção de luz intenso quando o número de onda está entre 2800 cm<sup>-1</sup> e 2900 cm<sup>-1</sup> e dois picos menores quando o número de onda aparece por volta de 700 cm<sup>-1</sup> e 1500 cm<sup>-1</sup>. Analisando novamente a tabela 4, tabela que mostra as bandas de absorção de cada mero polimérico, podemos relacionar o gráfico gerado com o tipo de mero provável a ser do material.

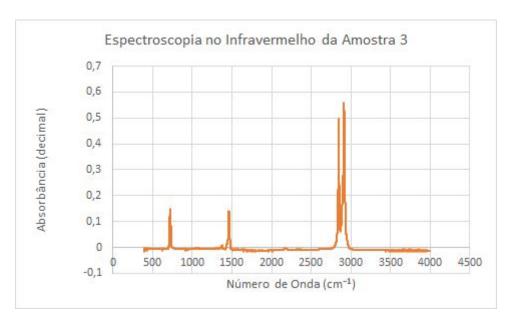
Tipo de ligação	Número de onda (cm-1)
N-H	3500 - 3070
C-H de aromáticos	3030
C-H alifáticos	2960 - 2850
C≡N	2260 - 2200
C=O de ácidos carboxílicos	1760 - 1710
C=O de ésteres	1750 - 1740
C-F	1400 - 1000

(Tabela 4 - Bandas de absorção de onda infravermelho)

Visto que o pico maior coincide com a faixa de número de onda de 2960 - 2850 cm<sup>-1</sup>, é possível inferir que o mero predominante no polímero analisado se trata de um composto alifático feito de C-H.

#### 4.1.2 Polímero 3

Veja o gráfico 8 abaixo mostrando os resultados da colheita de dados da amostra 3 no espectrômetro infravermelho:



(Gráfico 8 - Espectroscopia no infravermelho da amostra 3)

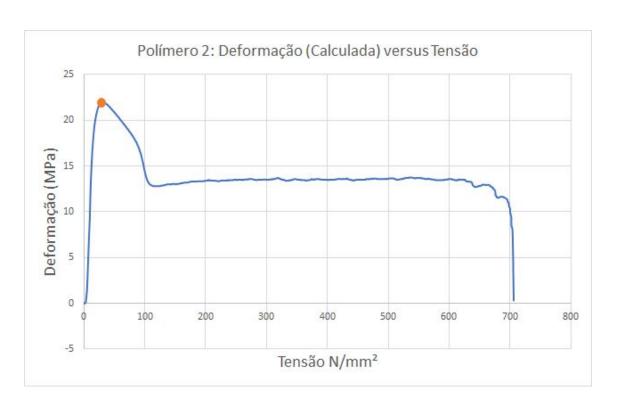
Como é possível ver, assim como a amostra 2, o pico de absorção de luz mais intenso também se encontra na faixa de 2800 cm<sup>-1</sup> e 2900 cm<sup>-1</sup> e os dois picos menores coincidem com o número de onda de 700 cm<sup>-1</sup> e 1500 cm<sup>-1</sup>, sendo que a única diferença aparente entre os dois polímeros é a quantidade absorvida: no pico mais alto a amostra 2 absorve por volta de 60% dos raios incididos e a amostra 3 absorve por volta de 55% dos raios incididos.

Assim, analisando novamente a tabela das bandas de absorção, é possível ver que o número de onda absorvido incide com a faixa dos C-H alifáticos, levando a crer que ambas as amostras analisadas devem ser de materiais parecidos ou iguais.

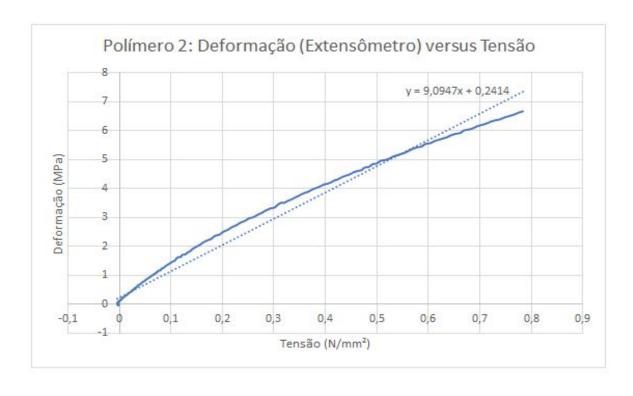
# 4.2 Ensaio de tração

Após o ensaio de tração e a análise dos dados do resultado, obteve-se os seguintes valores para o módulo de elasticidade e o limite de escoamento dos polímeros:

#### 4.2.1 Polímero 2:



(Gráfico 9 - Deformação versus Tensão Ensaio Completo)

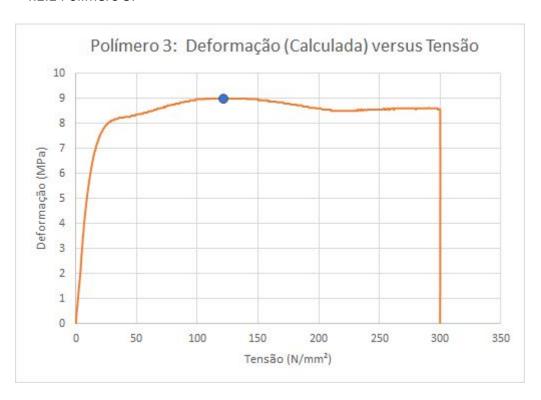


(Gráfico 10 - Deformação versus Tensão Dados do Extensômetro)

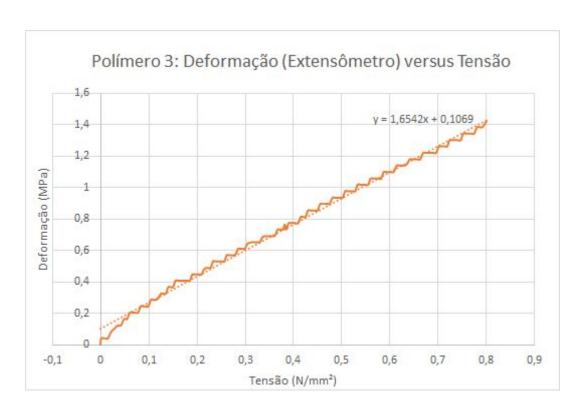
Módulo de Elasticidade	0,90947 GPa
Limite de Escoamento	21,94793799 MPa

(Tabela 1 - Resultados do Polímero 2)

# 4.2.2 Polímero 3:



(Gráfico 11 - Deformação versus Tensão Ensaio Completo)

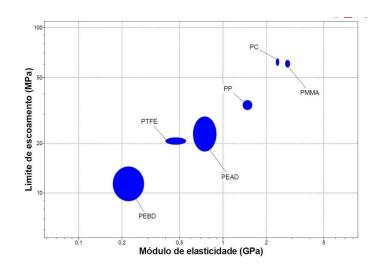


(Gráfico 12 - Deformação versus Tensão Dados do Extensômetro)

Módulo de Elasticidade	0,16542 GPa
Limite de Escoamento	9,008789063 MPa

(Tabela 2 - Resultados do Polímero 3)

# 4.2.3 Tabela Base:



(Gráfico 4 - Gráfico Base para Comparações)

## 4.2.4 Resultados do Ensaio de Tração:

Analisando os resultados do ensaio de tração, nota-se evidências de que o polímero 2 seja o polietileno de alta densidade (PEAD) e de que o polímero 3 seja o polietileno de baixa densidade (PEBD).

## 5 Conclusões

Após os dois procedimentos (Espectroscopia no Infravermelho e Ensaio de Tração), e o estudo dos resultados dos dois polímeros, ambos os ensaio apresentaram evidências de que o polímero 2 seja o polietileno de alta densidade (PEAD) e de que o polímero 3 seja o polietileno de baixa densidade (PEBD).

Começando pelo ensaio de espectroscopia no infravermelho, foi possível levar a conclusão de que a estrutura química predominante em ambas as amostras era a do C-H alifático. Esta mesma estrutura é a responsável pela constituição dos meros de etileno, meros responsáveis pela constituição do PEAD e do PEBD.

O PEAD, por possuir alta densidade, apresenta o módulo de elasticidade maior, visto que possui mais cadeias "enroladas", e a deformação elástica está relacionada com o desenrolar dessas cadeias, enquanto o PEBD, por possuir baixa densidade, apresenta o módulo de elasticidade menor.

Assim como, o limite de escoamento, o PEBD por ter uma baixa densidade, possui maior facilidade para deformar plasticamente, ou seja, é necessário uma menor tensão para ocorrer uma deformação plástica, quando comparado com o PEAD, que necessita de uma tensão maior para ocorrer a deformação plástica. Portanto, o PEAD é mais resistente do que o PEBD.

# 6 Referências Bibliográficas

MIAGAVA, Joice. Insper - Desconstruindo a Matéria - Espectroscopia no Infravermelho.

Disponível

em:

<a href="https://www.youtube.com/watch?v=7ZgPTV-YwdE&feature=youtu.be">https://www.youtube.com/watch?v=7ZgPTV-YwdE&feature=youtu.be</a>>. Acesso em: 14/05/2020.

MIAGAVA, Joice. Insper - Desconstruindo a Matéria - LB3 Estudo de caso:

Polímeros. Disponível em:

<a href="https://www.youtube.com/watch?v=R-2tUy2DFag&feature=youtu.be">https://www.youtube.com/watch?v=R-2tUy2DFag&feature=youtu.be</a>>. Acesso em: 14/05/2020

MIAGAVA, Joice. Insper - Desconstruindo a Matéria - LB3 Estudo de caso:

Polímeros. Disponível em:

<a href="https://www.youtube.com/watch?v=J0gLXSkLXJA&feature=youtu.be">https://www.youtube.com/watch?v=J0gLXSkLXJA&feature=youtu.be</a>>. Acesso em: 14/05/2020

MIAGAVA, Joice. Insper - Desconstruindo a Matéria - LB3 Estudo de caso:

Polímeros. Disponível em:

<a href="https://www.youtube.com/watch?v=uXealmClqEs&feature=youtu.be">https://www.youtube.com/watch?v=uXealmClqEs&feature=youtu.be</a>>. Acesso em: 14/05/2020

MIAGAVA, Joice. Insper - Desconstruindo a Matéria - Tutorial: traçar espectro no IR. Disponível em: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=IRY0x8Asj-s&feature=youtu.be">https://www.youtube.com/watch?v=IRY0x8Asj-s&feature=youtu.be</a>>. Acesso em: 30/05/2020