

## **Caracterização de filmes de poliéster modificados por plasma de O<sub>2</sub> a baixa pressão**

COSTA, T.H.C.<sup>1</sup>; FEITOR, M.C.<sup>1</sup>; ALVES JUNIOR, C.<sup>1</sup>; BEZERRA, C.M.<sup>II</sup>

<sup>1</sup> Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – CCET – UFRN  
e-mail: [thercioc@gmail.com](mailto:thercioc@gmail.com), [michelle\\_feitor@hotmail.com](mailto:michelle_feitor@hotmail.com), [clodomiro@dem.ufrn.br](mailto:clodomiro@dem.ufrn.br)

<sup>II</sup> Departamento de Engenharia Têxtil – CT - UFRN  
Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal, RN – CEP 59072-970  
e-mail: [clovis@ct.ufrn.br](mailto:clovis@ct.ufrn.br)

---

### **RESUMO**

Filmes de poliéster possuem um vasto campo de aplicação, devido algumas propriedades que são inerentes desse tipo de material, tais como boa resistência mecânica, resistência química a ácidos e bases e baixo custo de produção. Entretanto possuem limitações, como baixa tensão superficial, baixa rugosa, pouca afinidade com corantes, e pouca adesão, que impedem o uso dos mesmos para algumas finalidades principalmente quando esse uso requer que o material possua uma boa molhabilidade. Dentre as varias técnicas existentes para aumentar a tensão superficial, as técnicas que utilizam o plasma, como fonte energética, são as mais promissoras pela versatilidade e por não apresentar agentes nocivos ao meio. Então, tendo em vista a boa aceitabilidade do uso do plasma em materiais poliméricos, trataram-se filmes de poliéster usando plasma com atmosfera gasosa de oxigênio variando-se o tempo de tratamento de 10 - 60 min com incremento de 10 min a cada tratamento subsequente. Após o tratamento por plasma as amostras foram caracterizadas por medidas de ângulo de contato, tensão superficial, espectroscopia Raman, Espectroscopia de infravermelho de reflexão total atenuada (IR-ATR), e microscopia de força atômica (AFM), onde foi caracterizado o aumento na molhabilidade dos filmes tratados por plasma bem como as variáveis que contribuíram para tal efeito. A técnica de plasma mostrou-se bastante eficiente na modificação de filmes de poliéster, uma vez que se obteve aumento na molhabilidade de todos os filmes tratados e sem nenhuma variação significativa com relação ao tempo de exposição das amostras pelo plasma, o que leva a propor que o tratamento por plasma tanto contribuiu para o aumento da molhabilidade através da implementação de grupos funcionais na superfície dos mesmos como com a criação de rugosidade superficial nas amostras.

**Palavras chaves:** Tensão superficial, plasma, molhabilidade, ângulo de contato, poliéster.

---

## **Characterization of polyester films by low pressure O<sub>2</sub> plasma**

### **ABSTRACT**

A polyester film has a vast application field, due some properties that are inherent of this kind of material such as, good mechanical resistance, chemical resistance to acids and bases and low production cost. However, this material has some limitations as low superficial tension, flat surface, low affinity to dyers, and poor adhesion which impede the use of the same ones for some finality as good wettability. Among the existent techniques to increase the superficial tension, plasma as energy source is the more promising technique, because of their versatility and for not polluting the environment. Then, due to its good acceptance, polyester films were treated with oxygen plasma varying the treatment time from 10 to 60 min with an increase of 10 min to each subsequent treatment. After plasma treatment the samples were characterized by contact angle, surface tension, Raman spectroscopy, Infrared attenuated total reflection (IR-ATR) and atomic force microscopy, with the aim to study the wettability increase of treated polyester films as its variables. The plasma technique is very efficient in modifying polyester films, and this is true because all treated films showed a wettability increase and none significant variation was observed at ageing time plasma treated samples. So, plasma treatment contributed for wettability increase through surface functional groups implantation as through creation of roughness at the surface plasma treated samples.

**Keywords:** Surface tension, plasma, wettability, contact angle, polyester.

## 1 INTRODUÇÃO

Devido a grande importância da adesão entre um polímero e qualquer tipo de matriz, têm-se influenciado as pesquisas para o desenvolvimento de novas técnicas que visam aumentar essa adesão por diferentes caminhos. O aumento da força de adesão entre a interface polímero – polímero é feita através de uma ligação covalente primária [1]. Vários mecanismos, modelados a partir da termodinâmica e cinética molecular, são considerados na literatura para interpretar o fenômeno da adesão. Isso permite examinar a estrutura e as propriedades da superfície dos polímeros na resistência da junção adesiva [1-5]. A principal conclusão encontrada afirma que as características da adesão são afetadas por duas propriedades dos polímeros, simultaneamente nomeadas de energia superficial e mobilidade molecular. Contudo, a mobilidade e a habilidade difusiva das cadeias macromoleculares através do aumento da força de adesão entre materiais poliméricos, e a existência da difusão depende do estado físico do polímero [4].

A molhabilidade que pode ser também considerada como um fenômeno cinético, contribui a uma boa difusão, pois é favorecida pelo contato das macromoléculas durante a migração de líquidos da superfície de um polímero para seu interior. Além disso, a molhabilidade de um polímero é também necessária, na verdade, essencial para um bom mecanismo de adsorção, levando a formação de interações moleculares como interações de Van de Waals, interações ácido-base, e ligações de hidrogênio interfacial [6].

Para se aumentar a molhabilidade de um polímero pode-se usar dois possíveis métodos. O primeiro desses envolve o aumento da energia superficial dos polímeros através da incorporação de grupos polares na sua estrutura. O segundo método envolve o princípio da minimização da barreira de energia, através do aumento de rugosidade do material, o que gera um conseqüente aumento a resistência adesiva. Esses dois métodos são complementares e um melhor entendimento dos resultados experimentais é obtido quando eles são combinados [7].

Técnicas para modificar as superfícies poliméricas envolvem tratamentos com solventes, soluções ácidas ou básicas, abrasão mecânica e ativação química [8]. A maioria dessas técnicas apresenta certas desvantagens, como por exemplo, a produção de efluentes industriais, degradação excessiva do polímero, alto custo de produção, agregação de aspectos indesejáveis nas propriedades do polímero, etc.

Nos últimos anos a aplicação de descarga luminosa por plasma tem se expandido rapidamente, isso é devido entre outros aspectos, a grande possibilidade de variação das espécies químicas presentes no plasma, que pode se dar através da simples modificação da atmosfera gasosa, isso gera uma larga liberdade química fornecida pelos plasmas de não equilíbrio térmico [4-8].

Em geral, a modificação superficial a plasma é a que gera os melhores resultados e ainda apresenta-se como uma técnica inofensiva ao sistema ambiental. O plasma a baixa temperatura é uma técnica bem conhecida na modificação superficial de polímeros, pois preserva as propriedades intrínsecas do material. O tratamento a plasma altera somente a natureza química e morfológica da superfície das amostras. A natureza das mudanças depende, sobretudo, da composição do meio gasoso e dos parâmetros do processo [9].

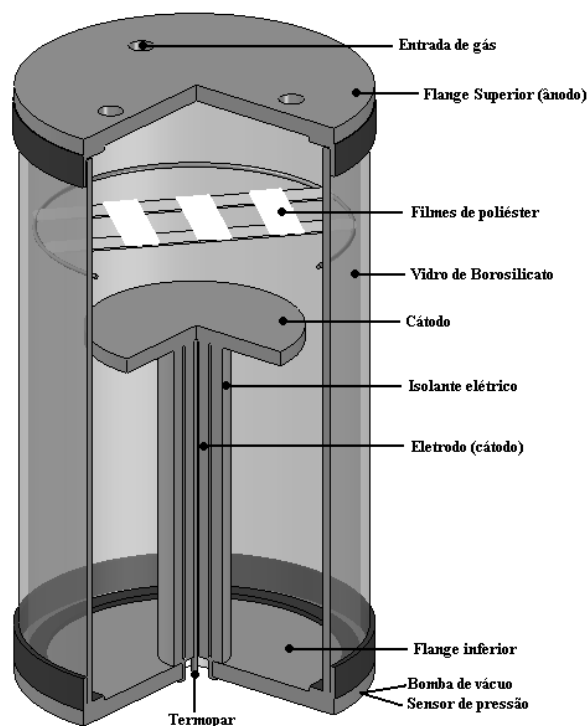
O presente trabalho tem como objetivo estudar o efeito do plasma, produzido em atmosfera de oxigênio, na modificação de superfícies de poliéster. O plasma foi produzido por uma descarga de tensão contínua, onde filmes de poliéster eram imersos. Para plasma de oxigênio puro foram utilizados tempos de tratamento de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 min. Avaliaram-se o efeito sobre a molhabilidade, topografia e composição química da superfície. A molhabilidade foi avaliada através de medidas do ângulo de contato e da tensão superficial obtidas num aparato desenvolvido no LabPlasma. A topografia foi observada através de um microscópio de força atômica. Medidas por infravermelho e espectroscopia Raman forneceram a composição química das superfícies modificadas das amostras tratadas com plasma em comparação com aquelas não tratadas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se como material de partida filmes de Poliéster, fabricados pela empresa Dupon, com espessura de 48µm. Eles foram cortados em pedaços de 60 mm de largura e 100 mm de comprimento.

Antes de submeter essas amostras ao tratamento por plasma, as mesmas foram limpas por 5 min em um banho com acetona no ultra-som e depois foram secas no ar, tendo como objetivo remover impurezas superficiais.

O equipamento utilizado para tratar os filmes de poliéster foi desenvolvido no laboratório de processamento de materiais por plasma da UFRN e encontra-se ilustrado esquematicamente na figura 1 [10].



**Figura 1:** Desenho esquemático do reator de plasma usado no tratamento dos filmes de poliéster. [10]

O sistema consiste de uma fonte de corrente contínua, e sistema de vácuo ( $10^{-3}$  mbar) e sistema de distribuição de gases. A fonte de tensão contínua possui uma potência de 1 kW, com voltagem de saída máxima de 900 V e está acoplada capacitivamente ao reator.

O reator consiste de um tubo cilíndrico de vidro de borossilicato, com 180 mm x 300 mm (diâmetro x altura), de aproximadamente cinco litros, fechada por dois flanges de aço inox, onde o superior encontra-se aterrada e o inferior, está livre de polarização assumindo a condição de potencial flutuante durante o processo. Um eletrodo polarizado negativamente, é fixo por um orifício no centro do flange inferior e o mesmo funciona como cátodo e em alguns processos como porta amostra.

No flange inferior encontra-se acoplado ao reator instrumentos como bomba mecânica, termopar, e manômetro. Na parte superior encontram-se as entradas de gases.

Uma bomba mecânica é usada para evacuar o sistema a aproximadamente 0,7 Pa. A pressão da câmara de reação é medida por um barômetro do tipo membrana capacitiva. A temperatura do experimento é medida utilizando um termopar do tipo alumel-cromel, que está localizado por dentro do eletrodo e conseqüentemente faz medidas térmicas do catodo. O fluxo de gases é regulado por um controlador de fluxo e introduzido no reator por furos passantes situados no flange superior.

Na tabela 1 se encontram os parâmetros do tratamento à plasma utilizados na modificação das amostras de poliéster sob a atmosfera de oxigênio.

**Tabela 1:** Tempos de tratamentos por plasma dos filmes de poliéster para a atmosfera gasosa de oxigênio.

Condição	Tempo de Tratamento	Gás (10cm <sup>3</sup> /min)
		Oxigênio
O <sub>2</sub> <sup>100</sup> – 60 min	60 min	100%
O <sub>2</sub> <sup>100</sup> – 50 min	50 min	100%
O <sub>2</sub> <sup>100</sup> – 40 min	40 min	100%
O <sub>2</sub> <sup>100</sup> – 30 min	30 min	100%
O <sub>2</sub> <sup>100</sup> – 20 min	20 min	100%
O <sub>2</sub> <sup>100</sup> – 10 min	10 min	100%

Os demais parâmetros da modificação superficial por plasma, como pressão, temperatura, corrente e tensão, foram mantidos constantes. Os valores dessas grandezas estão apresentados na tabela 2.

**Tabela 2:** Parâmetros que se mantiveram fixos durante a imersão em plasma.

Pressão (mBar)	Corrente (mA)	Tensão (V)	Temperatura (°C)
1,359	0,08	430	90

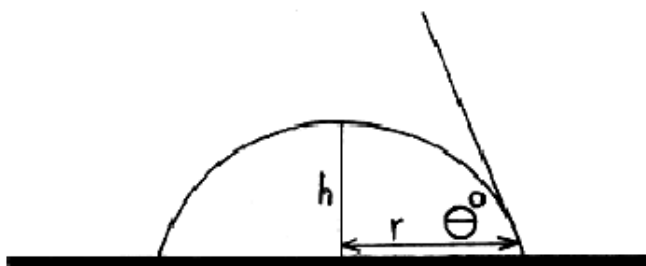
Para o tratamento em plasma, as amostras foram colocadas a uma distância de 70 mm do cátodo. Essa distância foi adotada para que a modificação superficial fosse realizada a temperatura próxima da ambiente e para que as amostras não sofressem variações que pudessem ser atribuídas a alterações térmicas do material.

## 2.1 Caracterização

Os filmes de poliéster tratados e não tratados por plasma, foram caracterizados pelas técnicas descritas abaixo. As caracterizações das amostras não tratadas foram feitas para que as mesmas servissem de base para comparação e identificação das mudanças ocorridas nos filmes tratados.

### 2.1.1 Ângulo de contato e tensão superficial

As medidas de ângulo de contato, baseadas na técnica de gota séssil, foram realizadas em um aparato desenvolvido no LabPlasma, o qual se baseia na determinação do ângulo de contato através das medidas do diâmetro da base da gota e da altura da mesma, como mostra a figura 2.



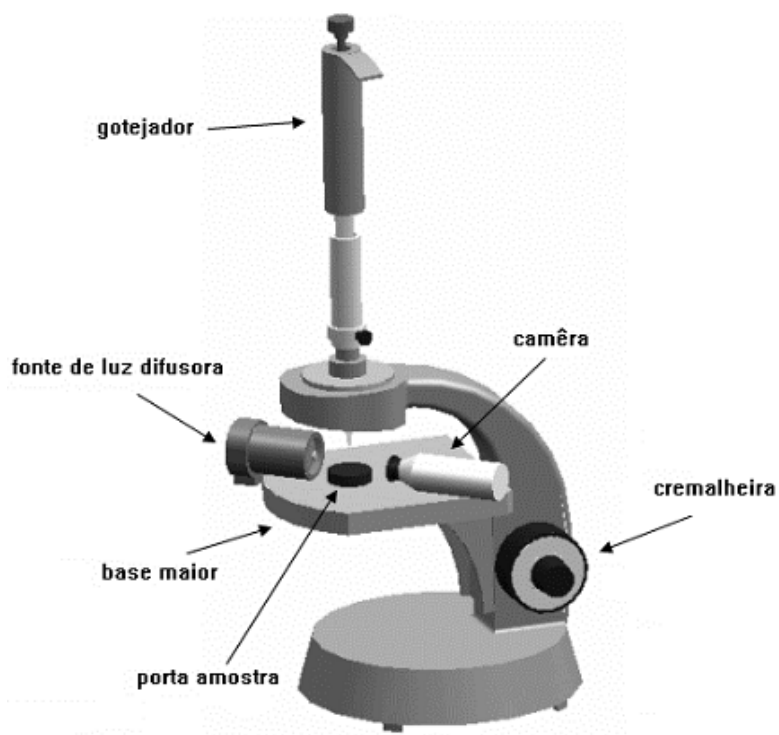
**Figura 2:** Método da gota séssil para calcular o ângulo de contato [11].

$$\theta = \text{sen}^{-1} \left[ \frac{2rh}{r^2 + h^2} \right] \quad (1)$$

onde:

*r* – raio da gota;  
*h* – altura da gota;  
*θ* – ângulo de contato.

O aparato usado para medida de ângulo de contato está ilustrado na figura 3, e o mesmo é composto de uma base móvel, com movimentos no sentido vertical, uma micro-câmera, uma pipeta de volume fixo 20 µl, e uma fonte de luz difusa. A luz é posicionada de frente para a câmera pra que dessa maneira se obtivesse contraste do liquido usado, uma vez que todos eram incolores. A altura do porta amostra foi determinada de tal maneira que a gota não sofresse deformação após colidir com a superfície da amostra. Todos esses cuidados levam a tentar minimizar os erros para a obtenção das imagens e assim proceder a uma medida confiável e com o menor erro possível.



**Figura 3:** Aparato usado para obter as imagens das gotas para cálculo do ângulo de contato e da tensão superficial.

Cada imagem teve a medida do ângulo de contato efetuada por dois operadores sendo cada um responsável por 10 repetições, com isso esperava-se minimizar qualquer margem de erro que gerasse dúvidas quanto à veracidade dos resultados desse trabalho.

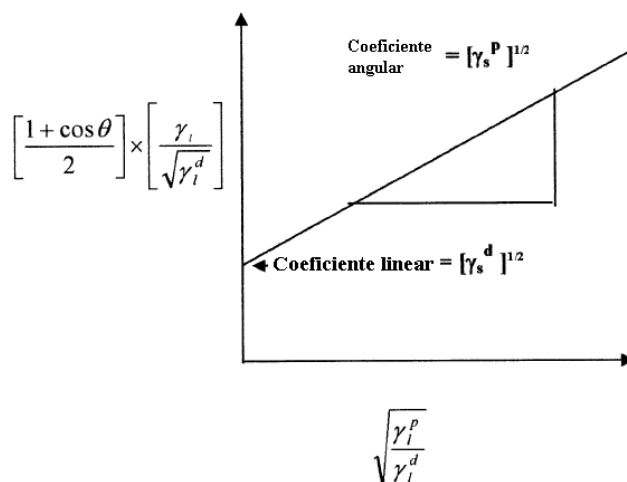
### 2.1.2 Determinação da tensão superficial

As medidas da tensão superficial das amostras basearam-se no método da média geométrica, desenvolvido por Fowkes [12]. Para o uso da técnica mencionada, faz-se necessário o uso de no mínimo dois líquidos com suas respectivas coordenadas, polar e dispersiva, conhecidas. Nesse trabalho, usaram-se três líquidos que estão listados na tabela 3 com suas coordenadas.

**Tabela 3:** Energia superficial dos líquidos usados.

Líquidos	$\gamma_l$ (mJ/m <sup>2</sup> )	$\gamma_l^p$ (mJ/m <sup>2</sup> )	$\gamma_l^d$ (mJ/m <sup>2</sup> )
Água	72.8	51.0	21.8
Formamida	58.2	18.7	39.5
Glicerol	63.4	26.2	37.2

A figura 4 ilustra que a equação de Fowkes [12] demonstra a existência de uma relação linear do ângulo  $\theta$ , com as coordenadas da tensão superficial desse líquido com ar e as coordenadas da tensão do substrato com o líquido.



**Figura 4:** Expressão gráfica da equação de Fowkes para determinar a tensão superficial [12].

Logo se torna fácil a determinação do valor da variável em estudo, pois como se observa, pode-se adotar a equação de uma reta para solucionar esse impasse. A equação (2), mostra claramente a relação linear do  $\cos(\theta)$  com as coordenadas polar e dispersiva da tensão superficial da amostra, que são representadas como o coeficiente angular e o coeficiente linear da reta, respectivamente.

$$\left[ \frac{1 + \cos \theta}{2} \right] \times \left[ \frac{\gamma_l}{\sqrt{\gamma_l^d}} \right] = \sqrt{\gamma_s^p} \times \sqrt{\frac{\gamma_l^p}{\gamma_l^d}} + \sqrt{\gamma_s^d} \quad (2)$$

Onde:

- $\gamma_l$  – tensão superficial total do líquido;
- $\gamma_l^d$  – coordenada dispersiva da tensão superficial do líquido;
- $\gamma_l^p$  – coordenada polar da tensão superficial do líquido;
- $\gamma_s^d$  – coordenada dispersiva da tensão superficial do sólido em análise;
- $\gamma_s^p$  – coordenada polar da tensão superficial do sólido em análise.

### 2.1.3 Análise por microscopia de força atômica

Todas as amostras foram analisadas por AFM, que buscou caracterizar a topografia das mesmas e identificar as mudanças que pudessem ser atribuídas ao tratamento a plasma. Imagens tanto em duas como em três dimensões foram capturadas e também foi realizada medida de rugosidades da superfície das mesmas.

### 2.1.4 Análise por infravermelho de Reflexão Total Atenuada (ATR).

Análises de infravermelho foram realizadas com o objetivo de identificar alterações químicas no material tratado, como o surgimento de novos grupos funcionais e/ou mudanças nas energias das ligações. A técnica de reflexão interna foi utilizada, pois se queria identificar alterações químicas nas amostras tratadas. Uma vez que as demais técnicas de infravermelho realizam a leitura de toda a dimensão da amostra, tornando-se assim desprezível a leitura que a mesma faz de uma camada superficial quando comparada com toda a área atingida na análise, estas também não foram utilizadas nesse trabalho.

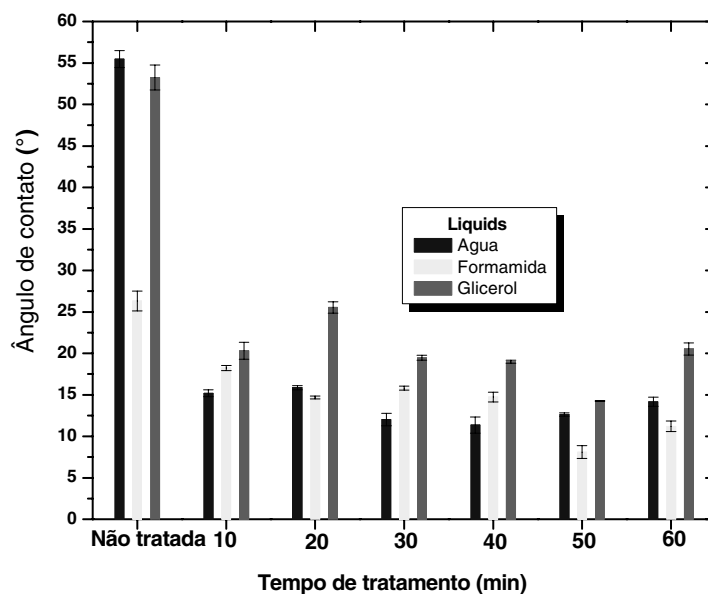
### 2.1.5 Análise por espectroscopia Raman

Assim como nas análises acima, quando se estudou os filmes de poliéster usando a espectroscopia Raman, buscou-se identificar alguma alteração significativa das amostras tratadas com relação à amostra sem tratamento.

O uso dessa técnica justifica-se pela tentativa de encontrar alterações relativas ao tipo de ligação química encontrada no material, podendo-se assim atribuir ao plasma qualquer alteração que venha a ocorrer no material.

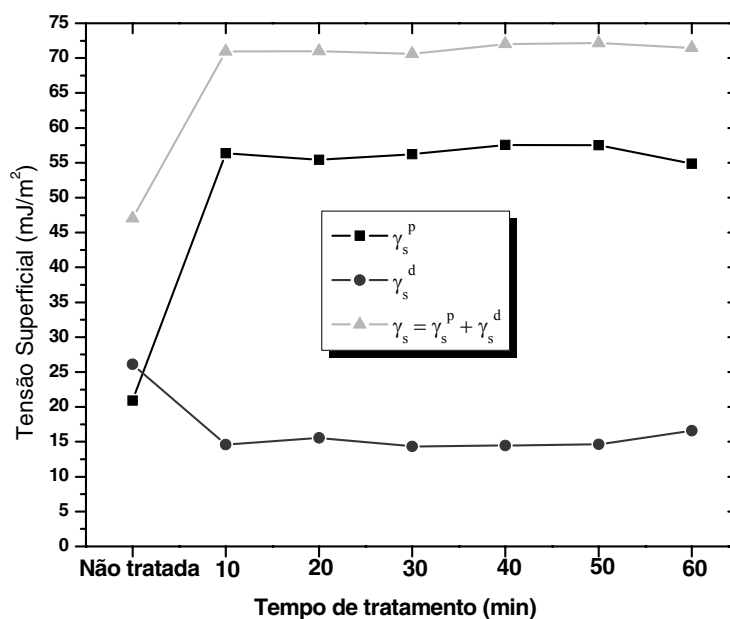
### 3 RESULTADOS

Os resultados das medidas do ângulo de contato e da tensão superficial das amostras tratadas por plasma de O<sub>2</sub> estão ilustrados nas figuras 5 e 6. Podem-se destacar, observando a figura 5, como resultado preliminar, diferenças superiores a 75% nos valores de ângulos de contato das amostras tratadas quando comparados com uma amostra do mesmo filme de poliéster que não foi modificada por plasma. Isto significa afirmar que os tratamentos por plasma, em qualquer uma das condições usadas nesse trabalho, aumentaram substancialmente a molhabilidade dos filmes de poliéster.



**Figura 5:** Gráfico dos valores de ângulo de contato, com seus respectivos desvios padrões, para amostra de filmes de poliéster tratados com plasma de oxigênio, e amostra não tratada.

Observando a figura 6, nota-se uma variação nos valores das coordenadas (polar e dispersiva) da tensão superficial de cada amostra tratada. Comparando-se as amostras não tratadas com aquelas tratadas, verifica-se que estas últimas duplicaram os valores da coordenadas polares enquanto as coordenadas dispersivas tiveram seus valores reduzidos à metade.

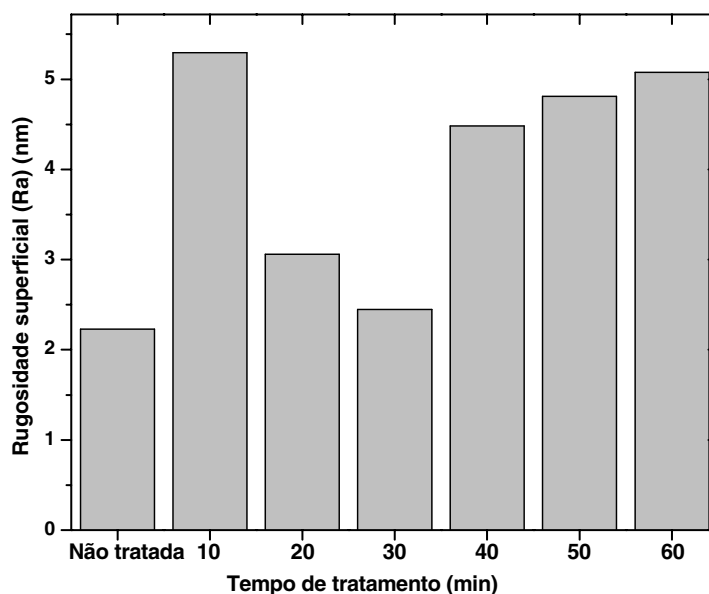


**Figura 6:** Gráfico da tensão superficial para amostras de filmes de poliéster tratados com plasma de oxigênio e para o filme não tratado.

Com isso justifica-se a elevada molhabilidade apresentada pelos filmes tratados por plasma, para líquidos polares. Pois uma vez que a componente polar da tensão superficial dessas amostras sofreu um grande aumento, torna-se mais fácil a interação de um líquido polar, como a água, com a superfície das mesmas.

Observando ainda os gráficos das figuras 5 e 6, fica evidente que a variação no tempo de tratamento dos filmes de poliéster, não apresenta mudanças significativas, ou seja, com um tratamento que dure apenas 10 min temos que os valores de ângulo de contato e tensão superficial se comportam de maneira análoga para um tratamento que leve 60 min para se realizar. Aqui se ressalta a economia do processo que pode ser decisiva principalmente quando se visualiza uma produção em escala industrial. Vale lembrar que esse resultado pode ser considerado ruim quando se deseja um efeito de durabilidade das propriedades atribuídas à superfície através do tratamento a plasma.

Entretanto, verifica-se na figura 7 onde estão ilustrados os valores de rugosidade superficial das amostras tratadas com atmosfera 100% O<sub>2</sub> e com variação do tempo de tratamento. Que houve aumento na rugosidade das amostras tratadas com plasma, o que pôde contribuir para uma maior molhabilidade dos filmes tratados. E que por outro lado pode ter sido o responsável pelo aumento dessas molhabilidade do material quando foi avaliado com um líquido menos polar como no caso da formamida.

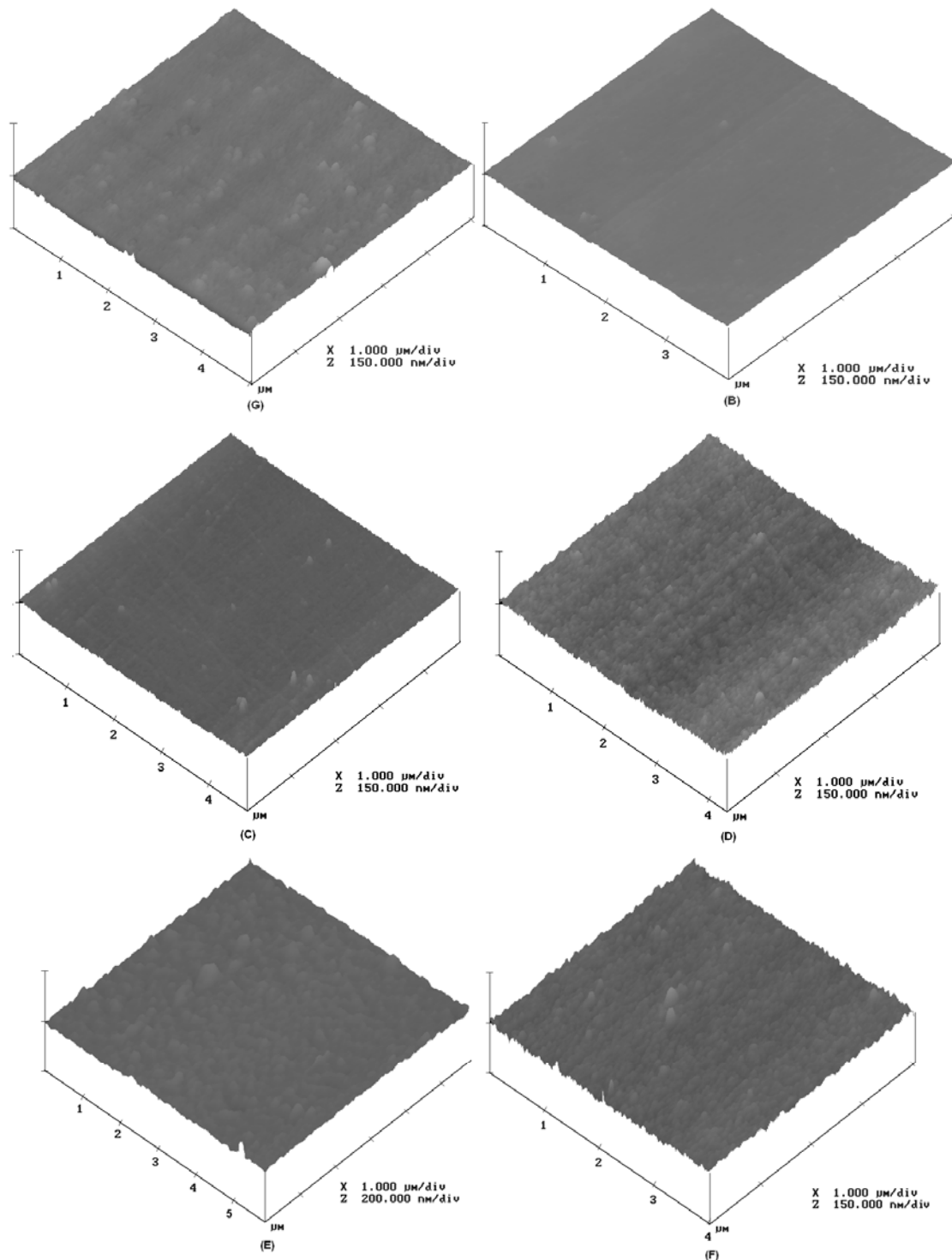


**Figura 7:** Medidas de rugosidade dos filmes de poliéster tratados por plasma e da amostra não tratada, obtidas através do AFM.

Outro resultado interessante é a uniformidade do ataque promovido pelo tratamento a plasma, e isso pode ser visualizado na figura 8, para o tratamento usando somente oxigênio. Pode-se visualizar que existe um ciclo no aumento da rugosidade, ou seja, para o tratamento de 10 min nota-se uma rugosidade superficial igual ao tratamento de 60 min, já para os tratamentos de 20 min e 30 min observa-se um decréscimo nessa grandeza, para nos tratamentos de 40 min e 50 min existe um aumento progressivo da rugosidade até chegar aos 60 min de tratamento.

Uma possível explicação para esse efeito é que para tempos de tratamentos de 10 min existe uma erosão das áreas amorfas da amostra, pois nessa região os átomos do material encontram-se ligados por uma energia mais baixa do que nas zonas cristalinas e semicristalinas, e conseqüentemente encontram-se menos empacotados. Por outro lado, quando o tempo de tratamento aumenta para 20 min e em seguida para 30 min, tem-se uma deposição de espécies do plasma nos filmes em tratamento, uma vez que não existe no plasma espécies com energia suficiente para promover a erosão de átomos do material nas áreas de maiores energias de ligação, e com isso tem-se a deposição de espécies polares na superfície do material e como conseqüência dessa deposição observa-se uma diminuição nos valores de rugosidade. Tornando a aumentar o tempo de tratamento para 40 min, 50 min, e 60 min, observa-se que a erosão de espécies localizadas nas áreas amorfas do material, ou seja, aquela ligada com menores energias, volta a ocorrer gradativamente.

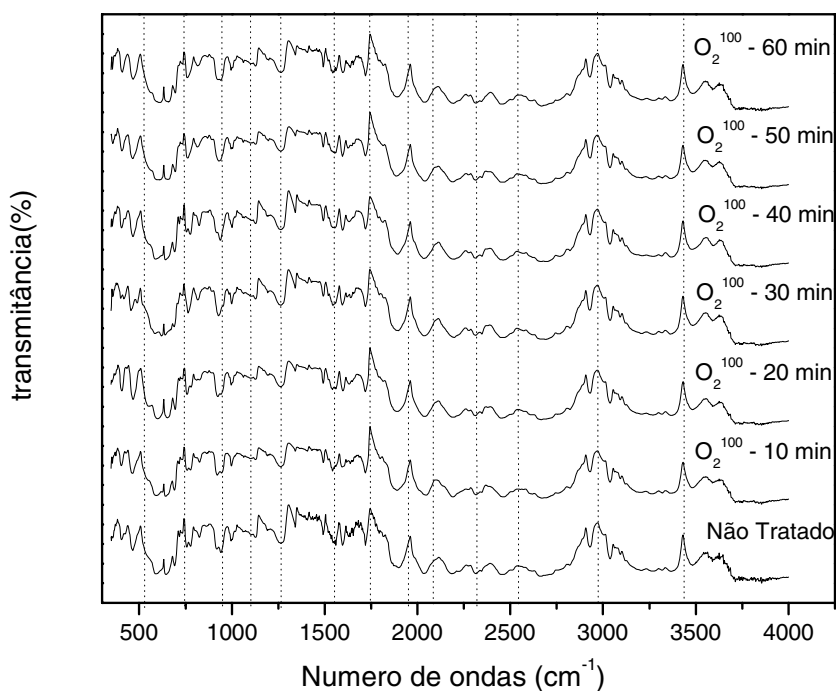




**Figura 8:** Micrografias superficiais obtidos pelo AFM dos filmes de poliéster tratados por plasma na condição (A) Não tratado; (B) O2100 – 20 min; (C) O2100 – 30 min; (D) O2100 – 40 min; (E) O2100 – 50 min; (F) O2100 – 60 min;

As análises de infravermelho ilustradas na figura 9 não apresentam mudanças para nenhuma das amostras tratadas por plasma quando comparadas com uma amostra não tratada. Contudo, afirmar que não ocorreram mudanças químicas na superfície dos filmes tratados pode ser precipitado, pois a técnica de infravermelho por refletância interna não mostra-se eficiente na detecção de alterações em camadas de ordem de grandeza nanométrica, uma vez que, para realizar a análise o feixe de luz infravermelho penetra a uma profundidade considerada grande para quando se deseja estudar variações na referida escala de profundidade.

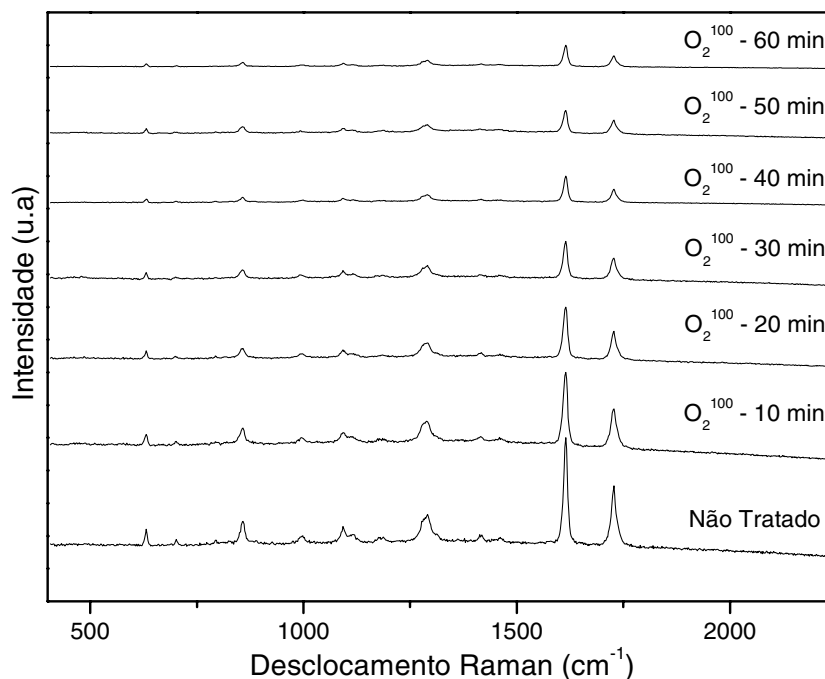
Entretanto no caso dos resultados ilustrados na figura 9, torna-se ainda mais impreciso o uso da técnica de ATR, pois como o poliéster é um polímero que já possui em sua estrutura o átomo de oxigênio, qualquer alteração que o tratamento com plasma de oxigênio viesse a ser responsável, seria uma medida muito difícil de detectar com essa análise devido à presença de oxigênio em camadas mais internas do material.



**Figura 9:** Espectros de infravermelho de refletância para os filmes de poliéster tratados por plasma de oxigênio com diferentes tempos de tratamentos e para a amostra não-tratada.

É importante salientar que mesmo que o tratamento a plasma tenha contribuído de para um aumento na molhabilidade dos filmes de poliéster, o mesmo não alterou a composição química do interior do polímero. Conseqüentemente pode-se afirmar que não houve alterações das propriedades inerentes a tal polímero, exceto as mudanças superficiais já relatadas.

A figura 10 mostra os resultados de espectroscopia Raman para os filmes tratados por plasma e da amostra não tratada, para o tratamento só com oxigênio durante a imersão em plasma. Como se pode observar, não houve alterações na frequência atribuídas a nenhum dos tratamentos, mas observaram-se mudanças significativas nas intensidades de quase todos os picos da carta de resultados. Isto corrobora com a tese de que o tratamento por plasma induz mudanças químicas na superfície do material, que não haviam sido detectadas pela análise de infravermelho. Tais mudanças caracterizam-se pela variação na energia de ligação de certo grupos funcionais como é o caso principalmente das que ocorrem nas frequências de 1620  $\text{cm}^{-1}$  (C=C) e 1730  $\text{cm}^{-1}$  (C=O). Alterações na faixa de frequência de 500 – 1000  $\text{cm}^{-1}$  correspondem à mudança na energia de vibrações do grupo CH em anéis aromáticos [13].



**Figura 10:** Espectros de Raman para os filmes de poliéster tratados por plasma de oxigênio com diferentes tempos de tratamentos e para a amostra não-tratada.

É importante ressaltar que à medida que se aumenta o tempo de tratamento, é observada uma acentuada diminuição na intensidade dos picos, o que pode ser explicado pela taxa de erosão que o plasma de oxigênio faz da superfície do material, uma vez que essa diminuição de intensidade só foi observada para o tratamento com oxigênio.

#### 4 CONCLUSÕES

- A modificação de filmes de poliéster por plasma aumenta significativamente a tensão superficial das amostras devido tanto ao aumento da polaridade, ou seja, da criação de grupos polares na superfície do material tratado, quanto pelo aumento da rugosidade promovido nos filmes de poliéster tratados por plasma.
- O tratamento a plasma usando atmosfera gasosa composta somente de oxigênio mostrou-se uma técnica boa para quando se deseja incorporar grupos funcionais ricos em  $O_2$  à superfície do material. Para um tratamento que dure apenas 10 min tem-se que os valores de ângulo de contato e tensão superficial se comportam de maneira análoga ao tratamento que leve 60 min para se realizar. Aqui se ressalta a economia do processo que pode ser decisiva principalmente quando se visualiza uma produção em escala industrial. Vale lembrar que esse resultado pode ser considerado ruim quando se deseja um efeito de durabilidade das propriedades atribuídas à superfície através do tratamento a plasma.
- Os resultados de Espectroscopia Raman e de Infravermelho demonstraram que mesmo após o tratamento a plasma, as composições químicas internas do material não sofreram alterações, o que reforça a teoria de que as mudanças promovidas pelo plasma situam-se em camadas nanométrica da superfície do material, o que mantém todas as propriedades inerentes desse tipo de material.

## 5 BIBLIOGRAFIA

- [1] VAN KREVELEN, D.W., *Properties of polymers: their correlation with chemical structure; their numerical estimation and prediction from additive group contributions*, Amsterdam: Ed. Elsevier, 1997.
- [2] MASSINES F., *et al.*, “Luminescence of plasma-treated polymer surfaces: a tool for investigating surface modifications”, *Journal Physics D: applied Physics*, v. 26, pp. 493 – 495, 1993.
- [3] INAGAKI, N., NARUSHIMA, K., LIM, S. K. “Effects of Aromatic Groups in Polymer Chains on Plasma Surface Modification”, *Journal of Applied Polymer Science*, v. 89, pp. 96–103, 2003.
- [4] BEAKE, B.D., LING, J.S.G., LEGGETT, G.J. “Scanning force microscopy investigation of poly(ethylene terephthalate) modified by argon plasma treatment”, *Journal of Materials Chemistry*, Manchester, v. 8, p. 1735–1742, 1998.
- [5] JAHAGIRDAR, C.J., TIWARI, L.B., “Study of Plasma Polymerization of Dichloromethane on Cotton and Polyester Fabrics”, *Journal of Applied Polymer Science*, v. 94, pp. 2014–2021, 2004
- [6] GRANT, J.L., DUNN, D.S., MCCLURE, D.J., “Argon and oxygen sputter etching of polystyrene, polypropylene, and poly(ethylene terephthalate) thin films”, *Journal Vacuum Science Technology A*, v. 6, pp. 2213 – 2220, 1988.
- [7] DORAI, R., KUSHNER, M.J., “A model for plasma modification of polypropylene using atmospheric pressure discharges”, *Journal Physics D: applied Physics*, v. 36, pp. 666 – 685, 2003.
- [8] SHENTON, M.J., LOVELL-HOARE, M.C., STEVENS, G.C., “Adhesion enhancement of polymer surfaces by atmospheric plasma treatment”, *Journal Physics D: applied Physics*, v. 34, pp. 1754–2760, 2001.
- [9] NITSCHKE, M., MEICHSNER, J., “Low-pressure plasma polymer modification from the FTIR point of view”, *Journal of Applied Polymer Science*, v. 65, pp. 381–390, 1997.
- [10] COSTA, T.H.C., FEITOR, M.C., ALVES JR., C., FREIRE, P.B., BEZERRA, C.M., “Effects of gás composition during plasma modification of polyester fabrics”. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 173, pp. 40–43, 2006.
- [11] DESHMUKH, R.R., BHAT, N.V., “The mechanism of adhesion and printability of plasma processed PET films”, *Materials Research Innovat*, v. 7 pp. 283–290, 2003.
- [12] FOWKES, F.M., “Additivity of intermolecular forces at interfaces. I. Determinations of the contribution to surface and interfacial tensions of dispersion forces in various liquids”, *Journal Physics Chemistry*, v. 66, pp. 1863–1866, 1962.
- [13] BRAME JR, E.G., GRASSELLI, J.G., *Infrared and Raman Spectroscopy: Part C*, New York: Ed. Marcel Dekker, Inc., 1977.