



DESENVOLVIMENTO DE SUPERFÍCIE HIDROFÓBICA EM POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE

Giovanna G. Fiorese³, Viviane T. de Moraes⁴, Susana M. G. Lebrão⁴, Guilherme W. Lebrão¹, Juliana R. Cordeiro²

1 – Departamento de Engenharia Mecânica - Instituto Mauá de Tecnologia. Praça Mauá, 1, São Caetano do Sul, CEP 09580-900, SP. guinet@maua.br

2 – Departamento de Engenharia Química – Instituto Mauá de Tecnologia

3 – Instituto Mauá de Tecnologia

4 – Departamento de Engenharia Mecânica – Instituto Mauá de Tecnologia

RESUMO

A possibilidade de ampliar a hidrofobicidade de um material é a base para a reprodução do aspecto físico presente nas folhas de lótus. As microrrugosidades presentes na folha, juntamente com a cera, resultam no Efeito Lótus de superhidrofobicidade. O trabalho realizado tem como objetivo mimetizar microrrugosidades em polietileno de baixa densidade (PEBD), de modo a elevar a hidrofobicidade do material. A reprodução do efeito físico foi realizada com auxílio de uma placa de inox contendo um padrão impresso a laser. A molhabilidade da superfície foi quantificada por meio da determinação do ângulo de contato entre a superfície impressa e uma gota de água, com auxílio de um tensiômetro. As impressões realizadas em prensa hidráulica nas condições de 85 °C, 3 toneladas e 10 minutos resultaram em maiores ângulos de contato. Observou-se aumento de 28 % no ângulo de contato da superfície nas condições citadas acima em relação ao material sem deformação. Dessa forma, o trabalho apresentou resultados satisfatórios, comprovando a viabilidade de reproduzir o Efeito Lótus com possível aplicação industrial.

Palavras-chave: *efeito lótus, hidrofobicidade, polietileno de baixa densidade e ângulo de contato*

INTRODUÇÃO

Superfícies superhidrofóbicas apresentam baixa interação com a água, isto é, gotas d'água, ao entrarem em contato com esse tipo de material, contraem-se em formato esférico e são removidas facilmente da superfície, o que pode resultar num efeito autolimpante ⁽¹⁾. Uma superfície é considerada hidrofóbica quando seu ângulo de contato é superior a 90°, e hidrofílica, quando inferior a esse valor. Classifica-se uma superfície como superhidrofóbica quando seu ângulo de contato é superior a 145°, caracterizando uma afinidade nula ou quase nula com a água ⁽³⁾. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo mimetizar as microrrugosidades presentes na folha de lótus em superfície de PEBD, visando a aumentar a hidrofobicidade do material.

MATERIAIS E MÉTODOS

Análise de ponto de fusão

Amostras de PEBD cedidas por uma empresa fabricante de embalagens foram analisadas até atingir ponto de amolecimento e fusão. Ajustaram-se as temperaturas de base (110 °C) e máxima (120 °C) de acordo com valores encontrados na literatura ⁽²⁾. Adotou-se gradiente de aumento de temperatura de 1 °C.min⁻¹.

Produção e análise da placa de inox

Para impressão do padrão de losangos, conhecido como padrão diamante, sobre a superfície de PEBD, utilizou-se placa de inox com o negativo do padrão gravado a laser de safira-titânio de pulso ultracurto produzido pelo colaborador Prof. Dr. Wagner de Rossi do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Universidade de São Paulo (IPEN – USP). A placa produzida foi analisada por microscopia óptica para verificação do padrão micrométrico gravado.

Impressão por prensa hidráulica

A impressão foi realizada em recortes de folhas de PEBD. A limpeza prévia das amostras foi realizada por meio de banho ultrassônico em água e surfactante por 20 minutos, seguido de limpeza das superfícies com etanol. Para a impressão do padrão, empregou-se prensa hidráulica em um sistema “sanduíche”, em que a amostra de PEBD foi prensada no equipamento, como mostra a Figura 1.

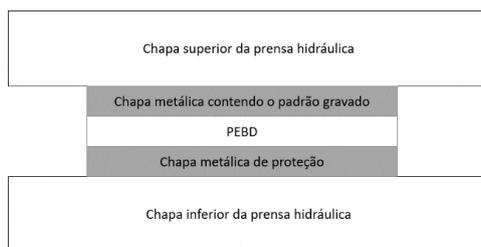


Figura 1 - Arranjo para impressão do padrão

Nas impressões, foram testadas diversas combinações de tempo, temperatura e pressão, buscando encontrar as condições ótimas de transferência do padrão. Realizaram-se ensaios com temperatura entre 60 °C e 100 °C, pressão entre 2 toneladas e 6 toneladas e tempo entre 5 min e 120 min. Um resumo dos ensaios realizados é apresentado na Figura 2.

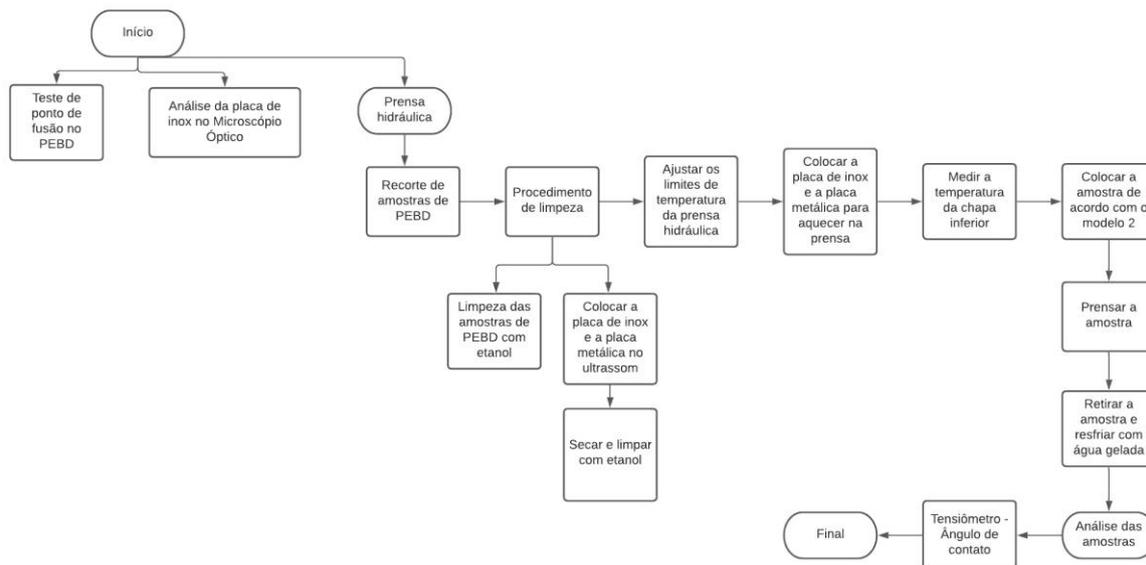


Figura 2 - Resumo do procedimento

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que as três amostras submetidas à análise por ponto de fusão amoleceram e fundiram entre 118 °C e 120 °C. Dessa forma, essa faixa de temperatura não foi atingida nos ensaios. A partir de análise por microscopia óptica, observou-se que o padrão diamante foi adequadamente gravado na placa de inox (Figura 3).

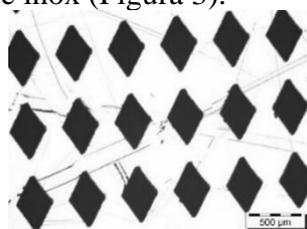


Figura 3 - Placa de inox com aumento de 200 x

Com auxílio de prensa hidráulica, o padrão da placa de inox foi impresso em folhas de PEBD sob condições variáveis de temperatura, pressão e tempo. Um exemplo de impressão é apresentado na Figura 4.



Figura 4 - Amostra 21 em condições de 3 toneladas, 90 minutos e 69 °C a 75 °C

Ao longo dos ensaios, foi possível notar que a temperatura influenciava significativamente no processo de impressão. Em baixas temperaturas, o polímero não sofria amolecimento mínimo necessário para a transferência completa do padrão. Por outro lado, em

altas temperaturas, a folha polimérica sofria deformação física mesmo antes da aplicação de pressão, ficando mais fina e possivelmente, tendo suas propriedades modificadas. Observou-se que o padrão foi melhor transferido em temperaturas de 69 °C a 75 °C. O tempo também se mostrou uma variável importante no processo de impressão, de maneira que, em temperaturas mais elevadas, foi possível transferir o padrão em menor tempo. Cabe destacar que, nas condições de trabalho, o parâmetro pressão não se mostrou determinante no processo de impressão. Foram realizados ensaios sob pressão de 2 ton e 6 ton e em todos os casos, os parâmetros tempo e temperatura mostraram-se mais importantes. Isso sugere que a pressão mínima de trabalho já é suficiente para a transferência, de maneira que o processo depende mais de tempo e temperatura mesmo em pressões superiores. De qualquer maneira, observa-se melhor desempenho das placas prensadas em pressão de 3 ton. Para obtenção dos ângulos de contato, as amostras de PEBD foram submetidas à análise de goniometria. Amostras do polímero sem impressão também foram estudadas para efeito de comparação. A Figura 5 mostra uma imagem registrada pelo tensiômetro, que revela a impressão do padrão.



Figura 5 - Amostra de polímero com o padrão impresso

A Figura 6 mostra uma imagem, também registrada pelo equipamento, na ocasião da medida do ângulo de contato entre a gota e a superfície.

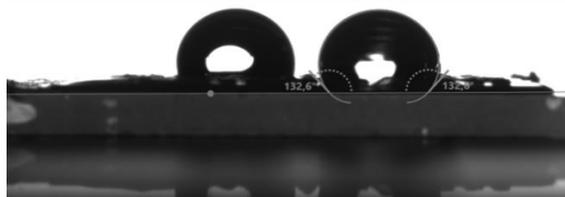


Figura 6 - Medida do ângulo de contato

A Tabela 1 apresenta os ângulos de contato obtidos para algumas amostras com impressão e para amostra referência, sem impressão (padrão PEBD). Nessa análise, foram dispensadas diversas gotas sobre posições diferentes da superfície, de maneira que a Tabela 1 traz o ângulo de contato médio e o maior ângulo obtidos.

Tabela 1 - Ângulos de contato obtidos

Amostra	Ângulo de contato médio (°)	Maior ângulo de contato (°)
Padrão PEBD	103,95	108,94
26	128,45	134,75
29	132,79	133,45
30	125,96	127,02
31	125,75	129,17
33	132,91	148,81

Os resultados de ângulo de contato apresentados na Tabela 1 foram selecionados uma vez que, além de reprodutíveis, consistem nos maiores ângulos de contato obtidos, isto é, maior hidrofobicidade. Observa-se, a partir dos resultados, que houve aumento do ângulo de contato de 21 % a 28 % em relação à superfície não tratada e ainda, para a amostra 33, foi alcançada a

superhidrofobicidade, uma vez que se registrou ângulo de contato superior a 145°. Cabe ressaltar, ainda, que em todas as amostras estudadas, foram registrados ângulos de contato maiores após o tratamento físico por prensa hidráulica em comparação às superfícies originais. A Tabela 2 apresenta as condições de impressão utilizadas nos ensaios das amostras 26, 29, 30, 31 e 33.

Tabela 2 - Condições de impressão

Amostra	Temperatura (°C)	Pressão (ton)	Tempo (min)
26	75	3	60
29	70	3	90
30	72	3	90
31	75	3	90
33	85	3	10

Como pode ser observado na Tabela 2, os maiores ângulos de contato foram obtidos a partir das amostras submetidas a 3 ton de pressão, em temperatura variável de 70 °C e 85 °C e em tempos variáveis de 10 min a 90 min. A superfície mais hidrofóbica, obtida a partir da amostra 33, é também aquela que foi prensada por menor tempo (10 min), o que pode ser interessante do ponto de vista de produção comercial de superfícies poliméricas hidrofóbicas. O tempo reduzido de impressão foi provavelmente compensando pela temperatura mais elevada de 85 °C. Cabe notar que, para tentar diminuir ainda mais o tempo de impressão, temperaturas superiores foram testadas, mas sem sucesso, uma vez que as folhas de PEBD sofriam deformação em temperaturas maiores mesmo antes de serem submetidas à pressão. A Figura 7 mostra os resultados obtidos a partir das amostras 26, 29, 30, 31 e 33, apresentados na Tabela 1.

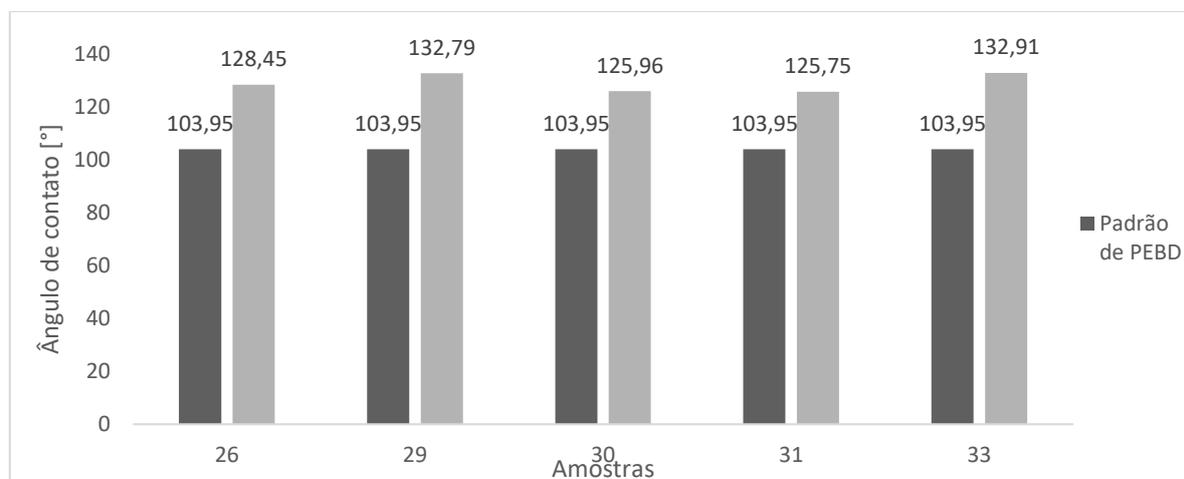


Figura 7 - Ângulos de contato médios das amostras impressas e do polímero sem impressão

Na Figura 7, observa-se que, nas superfícies estudadas, houve aumento do ângulo de contato a partir da transferência do padrão. A impressão que produziu o melhor resultado, do ponto de vista de hidrofobicidade, foi conduzida em 85 °C por 10 min e sob 3 toneladas.

CONCLUSÕES

O trabalho em questão descreve um procedimento de ampliação da hidrofobicidade de superfícies de PEBD a partir da impressão de um padrão micrométrico gravado a laser em uma

placa de inox. Por meio de medidas de ângulo de contato, registrou-se aumento na hidrofobicidade do material, uma vez que os ângulos obtidos aumentaram entre 21 % e 28 % em relação ao polímero não impresso, sob condições otimizadas. A partir das medidas de ângulo de contato, tem-se que a superfície impressa em temperatura de 85 °C e sob 3 toneladas por 15 minutos apresentou-se mais hidrofóbica, sendo classificada, a partir de seu ângulo de contato, como superhidrofóbica. O presente trabalho mostra-se útil para empresas de embalagens, uma vez que permite criar superfícies com maior poder de escoamento, o que pode significar menos perdas de produtos líquidos e pastosos por retenção em frascos e *bags* de armazenamento.

REFERÊNCIAS

- 1- DESCONHECIDO. CIT SENAI FIEMG pesquisa revestimentos hidrofóbicos. 2017. Disponível em: <https://www7.fiemg.com.br/cit/noticias/detalhe/cit-senai-fiemg-pesquisa-revestimentos-hidrofobicos->. Acesso em: 20 jun. 2022.
- 2 - GARY, B.C.; COSTA, A.M.; BRAGIL, A.F.; COSTA, W. Estudo Térmico do PEAD e PEBD através de Análise Térmica. Differential Scanning Calorimeter (DSC). Revista Acadêmica Oswaldo Cruz. V. 20, p. 1-11. 2018.
- 3 - LAW, K.Y. Definitions for Hydrophilicity, Hydrophobicity, and Superhydrophobicity: Getting the Basics Right. The Journal of Physical Chemistry Letters. V. 5, P. 686-688, 2014.

DEVELOPMENT OF A HYDROPHOBIC SURFACE ON LOW DENSITY POLYETHYLENE

ABSTRACT

In the possibility of amplifying the hydrophobicity of a material lies the base for reproducing the physical aspect present in the lotus flowers' leaves. The micro-roughness present in the leaf in conjunction with its natural wax, result in the Lotus Effect of Superhydrophobicity. This paper has the objective of miming micro-roughness in low density polyethylene (LDPE), in order to elevate the material's hydrophobicity. The physical effect's reproduction was done with the help of an inox plate laser-carved with a geometrical pattern. The surfaces' wetness was measured with a tensiometer. The samples done in a hydraulic press under the conditions of 85 °C, 3 tons and 10 minutes showed the highest contact angles. A 28 % increase was observed in the contact angle, under the previous conditions, without deformations. Furthermore, the current paper showed satisfactory results, proving the viability to reproduce the physical aspect of the Lotus Effect with possible industrial application.

Keywords: *lotus effect, hydrophobicity, low density polyethylene and contact angle*